

ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES



Том 48, № 4



ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

2021. Том 48, № 4

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

Заместитель главного редактора

Е.А. Стрябова, 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 (Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Выпускающий редактор Л.П. Котенко. Корректура, компьютерная верстка и оригинал-макет Ю.В. Ивахненко. Гарнитура Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Уч.-изд. л. 23,3. Дата выхода 30.12.2021. Оригинал-макет подготовлен отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

- 625 **Горочная В.В.**
Акселерация комплексообразования, сетевизации и кластеризации в морехозяйственной сфере: диагностика и алгоритмы государственного содействия

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

- 641 **Иноземцева А.А.**
Влияние университетов на повышение уровня инновационного потенциала региона
- 650 **Лавриненко Е.А., Бондарева Я.Ю.**
Формирование оптимального инвестиционного портфеля высокотехнологичных проектов в рамках научно-образовательного центра мирового уровня
- 663 **Любименко Д.А., Вайсман Е.Д.**
Методический подход к оценке эффективности инжиниринговых проектов внедрения киберфизических систем в деятельность промышленных предприятий
- 679 **Павлова И.Г.**
Исследование финансовых институтов инновационной инфраструктуры

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

- 688 **Грабчак Е.П., Логинов Е.Л.**
Применение информационно-вычислительных технологий для решения задач мониторинга и управления состоянием энергетического оборудования в ЕЭС России
- 697 **Жилинкова К.Б.**
Проблемы фальсификации молочной продукции и их влияние на рынок молока и состояние молочной отрасли
- 707 **Климова Т.Б., Богомазова И.В., Рахимбекова Ж.С.**
Airbnb: обзор для будущих исследований
- 717 **Романович М.А., Хоссеин Мохсени, Романович Л.Г., Кузнецова И.А.**
Актуальные вопросы и анализ рынка образовательных услуг в постпандемийный период

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

- 726 **Олейви Хуссейн Забун**
Анализ макроэкономической динамики развития банковского сектора Ирака

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 735 **Асадуллаев Р.Г., Афонин А.Н., Щетинина Е.С.**
Распознавание паттернов двигательной активности нейронной сетью по непрерывным данным оптической томографии fNIRS
- 747 **Голиков В.С., Черноморец Д.А.**
Субполосные свойства фрагментов изображений морской поверхности
- 764 **Воробьев А.В., Распопин Д.И.**
Использование технологии гиперпоточности в целях повышения скорости обработки ML-алгоритмов

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

- 771 **Брусков А.А.**
Оценивание надежности спутников в зависимости от типа орбиты
- 784 **Абдалов А.В., Гришаков В.Г., Логинов И.В.**
Метод адаптивного управления развитием инфокоммуникационных инфраструктур
- 794 **Скрипина И.И., Зайцева Т.В., Путивцева Н.П., Скрипин А.А.**
О применении нейросетевых моделей при планировании производства ЛКМ
- 802 **Боева Л.М., Коврижных О.А.**
Оперативная корректировка производственных планов с использованием технологий и алгоритмов гибких производственных систем

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 810 **Клочков Д.А., Каднова А.М., Басов О.О.**
Учёт параметров качества речи при биометрической аутентификации пользователя в неблагоприятных акустических условиях
- 822 **Урсол Д.В.**
О помехоустойчивости сигнально-кодовых конструкций для систем Интернет вещей
- 831 **Ба Хала Ашраф Мохаммед Али**
Об обнаружении пожаров на изображениях земной поверхности в цветовой модели LAB

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES**2021. Volume 48, No. 4**

Until 2020, the magazine 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, Head of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Institute of Engineering and Digital Technologies (BSU, Belgorod, Russia)

Deputy editor-in-chief

E.A. 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 (State Research Institute of Military Medicine of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia)

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

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

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

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

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

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

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

A.S. Molchan, Doctor of Economic Sciences, Professor, 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 (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)

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

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

Publication frequency: 4 /year

Commissioning Editor L.P. Kotenko. Pag Proofreading, computer imposition, page layout by Y.V. Ivakhnenko. Typeface Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Publisher's signature 23,3. Date of publishing 30.12.2021. The layout was pre-pared by the Department of the joint editorial Board of scientific journals of NRU "BelSU". Address: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia

CONTENTS

REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

- 625 **Gorochnaya V.V.**
Acceleration of complex formation, networking and clustering in the maritime sector: diagnostics and algorithms of state assistance

INVESTMENT AND INNOVATIONS

- 641 **Inozemceva A.A.**
Influence of Universities on Raising the Level of an Innovative Region
- 650 **Lavrinenko E.A., Bondareva Ya.Yu.**
Formation of an optimal investment portfolio of high-tech projects within the framework of a world-class scientific and educational center
- 663 **Lyubimenko D.A, Vaisman E.D.**
Methodological approach to assessing the effectiveness of engineering projects for the implementation of cyber-physical systems in the activities of industrial enterprises
- 679 **Pavlova I.G.**
Research of financial institutions of innovative infrastructure. Economics. Information technologies

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

- 688 **Grabchak E.P., Loginov E.L.**
Application of information and computing technologies for solving problems of monitoring and managing the state of power equipment in the UES of Russia
- 697 **Zhilinkova K.B.**
Problems of counterfeiting dairy products and their impact on the milk market and the state of the dairy industry
- 707 **Klimova T.B., Bogomazova I.V., Rakhimbekova Zh.S.**
Airbnb: an overview for future research
- 717 **Romanovich M.A., Hossein Mohseni, Romanovich L.G., Kuznetsova I.A.**
Current issues and analysis of the educational services market in the post-pandemic period

PUBLIC AND BUSINESS FINANCE

- 726 **Olewi Hussein Zaboon**
Analysis of Macroeconomic Dynamics of the Iraqi Banking Sector Development

COMPUTER SIMULATION HISTORY

- 735 **Asadullaev R.G., Afonin A.N., Shchetinina E.S.**
Recognition of patterns of motor activity by a neural network based on continuous optical tomography fNIRS data
- 747 **Golikov V.S., Chernomorets D.A.**
The subband properties of the sea surface image fragments
- 764 **Vorobyev A.V., Raspopin D.I.**
Using hyperthreading technology to improve the processing speed of ML algorithms

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

- 771 **Bruskov A.A.**
Evaluation of the reliability of satellites depending on the type of orbit
- 784 **Abdalov A.V., Grishakov V. G., Loginov I. V.**
The method of adaptive management of the development of information and communication infrastructures
- 794 **Skripina I.I., Zaitseva T.V., Putivtseva N.P., Skripin A.A.**
On the application of neural network models in the planning of paint production
- 802 **Boeva L.M., Kovrizhnykh O.A.**
Operational adjustment of production plans using technologies and algorithms of flexible production systems

INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

- 810 **Klochkov D.A., Kadnova A.M., Basov O.O.**
Accounting for speech quality parameters for biometric user authentication in adverse acoustic conditions
- 822 **Ursol D.V.**
About noiseimmunity of signal-code structures for internet of things
- 831 **Ba Hala Ashraf Mohammed Ali**
Fire detection on earth's surface images in the LAB color model

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

УДК 332.1

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-625-640

Акселерация комплексообразования, сетевизации и кластеризации в морехозяйственной сфере: диагностика и алгоритмы государственного содействия

Горочная В.В.

Южный федеральный университет,
Россия, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105
Ростовская государственная консерватория им. С.В. Рахманинова,
Россия, 344 002, г. Ростов-на-Дону, пр. Будёновский, 23
E-mail: tunduk@hotmail.com

Аннотация. Исследование направлено на решение актуальных проблем концептуализации и алгоритмизации государственного содействия развитию самоорганизационных форм интеграции деловой среды морехозяйственных отраслей в целях укрепления экономики приморских регионов современной России как стратегически важных ареалов стабилизации и поддержания внешнего контактного потенциала в условиях геоэкономической турбулентности. Несмотря на повышенное внимание к различным аспектам в изучении феномена морехозяйственного кластера в качестве относительно самостоятельной категории, в России на сегодняшний день ещё не выработан целостный и последовательный подход к содействию кластерной самоорганизации морехозяйства и управлению процессами развития соответствующих кластеров (в том числе с учётом их взаимоперехода в формат территориально-производственных комплексов и сетевых структур). Целью исследования является диагностика актуальных проблем деловой среды ключевых морехозяйственных отраслей, а также формирование концептуального подхода участия государства в инициировании её интеграционных процессов. На основе сравнительно-статистического анализа с использованием цепных темпов роста по показателям численности предприятий, производства и количества сформировавшихся и потенциальных кластеров производится диагностика наиболее кластерогенных секторов: рыбохозяйства, приморского туризма, портового хозяйства и морской логистики. На основе выявленных тенденций и проблем сформирован алгоритм государственной политики поддержки инициальной стадии самоорганизации деловой среды со спецификацией по опорным базам морехозяйственной активности России. Результаты исследования вносят вклад в развитие региональной экономики и менеджмента, а также могут быть использованы непосредственно в управленческой практике.

Ключевые слова: кластерный менеджмент, государственное регулирование, морехозяйственные кластеры, евразийское позиционирование России, региональная экономическая политика.

Благодарности: исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-18-00005 «Евразийские векторы морехозяйственной активности России: региональные экономические проекции»).

Для цитирования: Горочная В.В. 2021. Акселерация комплексообразования, сетевизации и кластеризации в морехозяйственной сфере: диагностика и алгоритмы государственного содействия. Экономика. Информатика. 48 (4): 625–640. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-625-640.

Acceleration of complex formation, networking and clustering in the maritime sector: diagnostics and algorithms of state assistance

Vasilisa V. Gorochnaya

South Federal University

105 Bolshaya Sadovaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russia;

Rostov State S. Rachmaninov Conservatoire

23 Budennovsky Av., Rostov-on-Don, 344002, Russia

E-mail: tunduk@hotmail.com

Abstract. The research is aimed at solving urgent problems of conceptualization and algorithm of state assistance to the development of self-organizational forms of business environment's integration in maritime industries. These issues are relevant in order to strengthen the economy of the Russian coastal regions, as they are strategically important areas of stabilization and maintenance of external cross-border contact potential in conditions of geo-economic turbulence. Despite the increased attention to various aspects in the study of the phenomenon of a maritime cluster as a relatively independent category, Russia has not yet developed a holistic and consistent approach to promoting maritime cluster self-organization and management of the development processes of the relevant clusters. Also such approach should take into account their mutual transition into the format of territorial production complexes and network structures. The purpose of the study is to diagnose the current problems of the business environment of key maritime industries, as well as to form a conceptual approach to the participation of the state in initiating its integration processes. The study gives the comparative statistical analysis using chain growth rates in terms of the number of enterprises, production and the number of formed and potential clusters. The research provides diagnostics of the most clusterogenic sectors which are: fisheries, seaside tourism, port facilities and marine logistics. Basing on the identified trends and problems, the author builds the algorithm of the state support policy for the initial stage of self-organization of the business environment with a specification for the reference bases of maritime economic activity in Russia. The results of the study contribute to the development of regional economics and management, and can also be used directly in management practice.

Keywords: cluster management, state regulation, marine clusters, Eurasian positioning of Russia, regional economic policy.

Acknowledgements: The study was supported by grant 19-18-00005 Russia's Eurasian Maritime Activities: Regional Economic Forecasting from the Russian Science Foundation.

For citation: Gorochnaya V.V. 2021. Acceleration of complex formation, networking and clustering in the maritime sector: diagnostics and algorithms of state assistance. Economics. Informatics. 48(4): 625–640 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-625-640.

Введение

Проблема поиска результативных инструментов и алгоритмов управления процессами интеграции и самоорганизации деловой среды в сфере морехозяйства является одной из актуальных в современном мире и в особенности в России, нуждающейся в дополнительном «ресурсе прочности» в условиях геоэкономической турбулентности, который может дать повышенная резистентность морехозяйства, обладающего естественными конкурентными преимуществами [Горочная, 2019a]. В настоящее время как в зарубежной, так и в российской науке намечается становление долгосрочного стратегического планирования и менеджмента морехозяйственной сферы в качестве относительно самостоятельной сферы научных исследований [Вицентий и др., 2017; Hu Y., 2020; Wang P., Mileski J., 2018], в том числе в направлении содействия морехозяйственной кластеризации [Горочная, 2021a]. Приморские зоны в силу повышенных темпов социально-экономического развития и накопления опыта международного взаимодействия рассматриваются как ареалы активного формирования кластеров (в том числе трансграничного, трансакваториального) [Дружинин, Горочная, 2016;

Михайлов и др., 2020; Приморские зоны, 2018], и шире – региональных инновационных систем [Михайлова, 2021]. Наряду с этим происходит концептуализация морехозяйственного кластера в качестве самостоятельной категории, объекта изучения и управления [Филиппова и др., 2014; Koliouisis I.G. et al., 2017; Li M., Luo M., 2020; Mei Z., 2020; Zhang W., Lam J.S.L., 2017].

В качестве методологических конструкторов и инструментария для изучения феномена морехозяйственного кластера в различных приморских регионах Европы, Азии, России применяются SWOT-анализ [Hu Y., 2020], типологизация кластеров [Koliouisis I.G. et al., 2017] и вычисления индекса их привлекательности [Lagoudis I. et al., 2019], ситуационный анализ и прогнозирование [Stavroulakis P.J., Papadimitriou S., 2017]. Кластерная интеграция организационной среды рассматривается во взаимосвязи с уровнем производства морехозяйственной продукции и услуг [Langen P. D., 2002; Qingmei L., Hong Z., 2021], симбиозом отраслей в процессе циклической динамики развития и формирования добавленной стоимости [Liao Q. et al., 2021; Mei Z., 2020]. Подвергается экономико-математическому моделированию эмерджентность, обуславливающая эффект кластерной синергии [Горочная В.В., 2019b], в том числе рассматриваются источники повышенной резистентности морехозяйственных кластеров в турбулентных условиях [Горочная, 2019a]. С использованием метода кейсов и опросов выявляются источники и условия конкурентоспособности кластеров в сфере морехозяйства [Stavroulakis P.J. et al., 2020; Meyer C. et al., 2020], в том числе с учётом факторов субъективной оценки [Stavroulakis P.J. et al., 2021].

Обладая собственной повышенной устойчивостью, резистентностью и потенциалом к конкурентоспособному развитию, морехозяйственные кластеры становятся и звеном в развитии региональной деловой среды в целом. В ряде исследований особо акцентируется роль портовой индустрии как «ядра притяжения», «центров производственной агломерации» (с учётом пространственной концентрации) и межотраслевой интеграции, ресурса сохранения территориально-производственных комплексов в условиях вынужденного временного распада кластерных структур при смене внешнеэкономических режимов и отсутствии возможности масштабного международного взаимодействия [Дружинин, Горочная, 2016; Li J. et al., 2021; Qingmei L., Hong Z., 2021; Zhang W., Lam J.S.L., 2017]. Другой сферой, обнаруживающей повышенную адаптивность к кластерной интеграции, выступает приморский туризм, как благодаря территориальной концентрации вокруг рекреационных центров, так и в силу потребности в реализации общей стратегии маркетинга территории. В том числе данная сфера может выступать в качестве источника положительного эффекта и кластерогенных импульсов, распространяющихся в другие сектора регионального хозяйства [Gorochnaya V.V. et al., 2020; Kiseleva A.M., Gokova O.V., 2020; Liu W., Cao Z., 2018]. Специфика управления данной сферой также ставит стратегические задачи [Mei Z., 2020].

Применительно к текущей российской геоэкономической ситуации морехозяйственная кластеризация актуализуется в качестве дополнительного инструмента активизации внешнеэкономического сотрудничества. Трансакваториальная кластеризация является важным фактором международного регионогенеза, ярким примером являются страны Балтийского региона. Евразийский вектор развития современной России предполагает как сохранение контактов с Европейский (и в особенности – балтийским) пространством [Приморские зоны, 2018; Studzieniecki T. et al., 2016], так и «разворот» морехозяйственной активности в сторону крупных рынков Китая [Samoylenko P.Y., 2019] и Азиатско-Тихоокеанского региона в целом с усилением роли дальневосточных центров морской активности [Samoylenko P.Y., 2018]. В Азово-Черноморском ареале стратегически важным остаётся российско-турецкое трансакваториальное взаимодействие, в том числе отвечающее тенденциям развития морехозяйственных кластеров в Причерноморье в целом [Demirel N., 2020; Karahan C. B., Kirval L., 2018]. Тем не менее имеющийся потенциал остаётся недоиспользованным, за последние годы фиксируются лишь единичные случаи

формирования трансграничных и трансакваториальных кластеров на базе объектов приморской экономики, несмотря на наличие стратегически значимых направлений партнёрства, которые могут обрести организационное оформление в рамках кластерных и сетевых проектов, опираясь на рыночную конкурентную среду и самоорганизацию предприятий [Горочная, 2021a]. В условиях санкционных ограничений и отсутствия масштабных возможностей трансграничного и трансакваториального сотрудничества требует дополнительных усилий развитие деловой среды и кластеризация в российских эксклавах и особенно – в регионах Крымского полуострова [Вольхин, 2017].

Соответственно, возникает проблема специфики и последовательных алгоритмов государственного содействия процессам кластеризации морехозяйственной сферы, что отвечает как стратегическим приоритетам развития соответствующих форм трансграничного сотрудничества, так и внутренним задачам национальной и региональной экономики по укреплению профильных отраслей, повышению конкурентоспособности и обретению ресурса устойчивости к внешним колебаниям. Целью настоящего исследования является формирование целостной концепции участия государства в акселерации процессов комплексобразования, сетевизации и кластеризации в морехозяйственной сфере.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступает комплекс процессов самоорганизации деловой среды морехозяйственных и смежных отраслей как основа для разработки пошаговых алгоритмов кластерного менеджмента и государственного содействия первичной стадии кластерогенеза. Решая соответствующие задачи, будем опираться на концепт опорных баз приморской активности России и их кластеров, разрабатываемый в работах А.Г. Дружинина [Дружинин, 2020; Дружинин, 2021], а также на результаты собственных предшествующих исследований в области моделей кластерной самоорганизации, задаваемых её начальными условиями – исходя из действия естественных рыночных конкурентных механизмов, дополняющих производственную кооперацию, что является гарантом жизнеспособности формирующихся в условиях господдержки структур [Горочная, 2008].

В качестве источников эмпирической информации данное исследование использует данные официальной государственной российской статистики [Росстат, 2021], а также официальных электронных ресурсов профильных отраслевых ассоциаций и ведомств [Ассоциация морских портов России, 2021; Федеральное агентство морского и речного транспорта, 2021], а также результаты статистического и качественного мониторинга кластеризации морехозяйства и смежных отраслей, отражённого в нашей предшествующей работе [Горочная, 2021b].

С целью анализа взаимосвязи между процессами кластеризации, потенциалом деловой среды и уровнем производства по ключевым морехозяйственным отраслям проведём сравнительно-статистический анализ, основанный на методике расчёта цепных коэффициентов роста и темпов прироста по динамическим рядам количества организаций, а также показателям производства. В связи с различиями в детализации отражения данных в официальной системе российской статистики (по регионам либо по морским бассейнам) для сопоставимости данных проведём расчёт в агрегированном виде (на основе среднегеометрического из региональных показателей за каждый рассматриваемый год). Анализу подвергаются данные за период 2015–2019 гг. (для показателей рыбохозяйственной отрасли и приморского туризма, что соответствует их развитию в условиях, не искажённых осложнённой эпидемиологической обстановкой с 2020 г.), а также за период 2016–2020 гг. (для показателей деятельности морских портов). Пятилетний период (четырёхлетний – для расчётных коэффициентов роста) позволяет отследить циклическую динамику, в том числе фазы Цикла Китчина. Количественные данные сопоставляются с качественной информацией по идентифицируемому и формирующемуся морехозяйственным кластерам. Для формирования концепции государственного содействия используется метод алгоритмизации,

основанный на концепте зависимости циклической динамики процессов кластеризации от их инициальной стадии [Горочная, 2008], а также модели возникновения резистентных свойств морехозяйственных кластеров в турбулентных условиях [Горочная, 2019а].

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим три наиболее склонные к кластерным и сетевым моделям самоорганизации отраслевых направления: приморский туризм, рыбохозяйство и припортовую логистику. Как показал опыт предшествующих исследований, добыча на шельфе, а также сектор судостроения и судоремонта в России в настоящее время в большей мере тяготеют к иным моделям развития: укрупнению предприятий, формированию вертикальных структур в условиях усиленного государственного контроля, «сворачиванию» конкурентного пространства на региональном уровне [Горочная, 2021b]. Численность предприятий, создающая условия для их концентрации, конкуренции и кооперации, является ключевым условием «критической массы» кластерной и сетевой самоорганизации предприятий. Как показывает сравнительный статистический анализ по состоянию на конец 2019 г., в целом предприятия туристической сферы в приморских регионах численно преобладают, что подтверждает склонность отрасли к кластеризации как таковую [Gorochnaya et al., 2020]. Однако организационная масса неравномерно распределена и по базам морской активности: если очевидным является рекреационная специализация Азово-Черноморского ареала, то обладающий существенным потенциалом Дальневосточный (Тихоокеанский) оказывается меньше развит в плане организационного потенциала, нежели Арктический. Напротив, он характеризуется выраженной рыбохозяйственной и портовой специализацией (см. табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Численное распределение морехозяйственных предприятий по отраслям и морским бассейнам, 2019 год*

Numerical distribution of maritime enterprises by industry and sea basin, 2019**

Бассейны	Туризм				Рыбохозяйство			Портовая логистика
	Турагентств	Коллективных средств размещения	Санаториев	Итого	Рыболовных предприятий	Рыбоводческих предприятий	Итого	Фирм-операторов морских портов
Азово-Черноморский	1 176	7 843	341	9 360	302	294	596	111
Балтийский	844	1 673	61	2 578	214	126	340	85
Арктический	838	1 370	68	2 276	618	163	781	77
Дальневосточный (Тихоокеанский)	522	1 034	40	1 596	2 321	202	2 523	149
Каспийский	188	509	23	720	187	129	316	24

* Составлено и рассчитано автором на основе: [Росстат, 2021; Ассоциация морских портов России, 2021].

** Compelled and calculated by author on the basis of: [Rosstat, 2021; Association of Seaports of Russia, 2021].

Динамика организационной массы рыбохозяйственных предприятий (с учётом рыболовства, рыбоводства и аквакультуры) [Росстат, 2021] демонстрирует кризисные

тенденции отрасли. Высокие темпы роста в условиях первичного импортозамещения в Азово-Черноморском и Дальневосточном ареалах, а также нестабильная динамика в пространстве Балтики за 2018–2019 гг. сменились отрицательными темпами прироста, усиливающимися в Каспийском и Азово-Черноморском бассейнах. Единственное исключение составляет пространство Арктики (см. рис. 1).

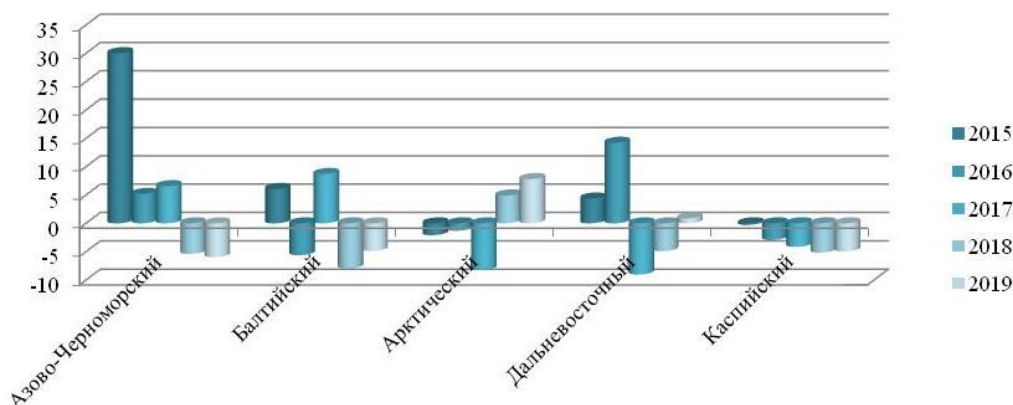


Рис. 1. Темпы прироста численности предприятий рыбохозяйственной сферы, %
 Fig. 1. The growth rate of the number of enterprises in the fisheries sector, %

Однако не везде «коллапс» организационной среды вследствие геоэкономической турбулентности и усиления конкуренции напрямую отразился на темпах роста производства, что видно на основе динамики улова морских биоресурсов [Росстат, 2021]. По отдельным бассейнам реакция на сокращение деловой среды произошла с лаговым эффектом, а для Балтики – практически не отразилась на производстве, объёмы которого продолжили расти (см. табл. 2).

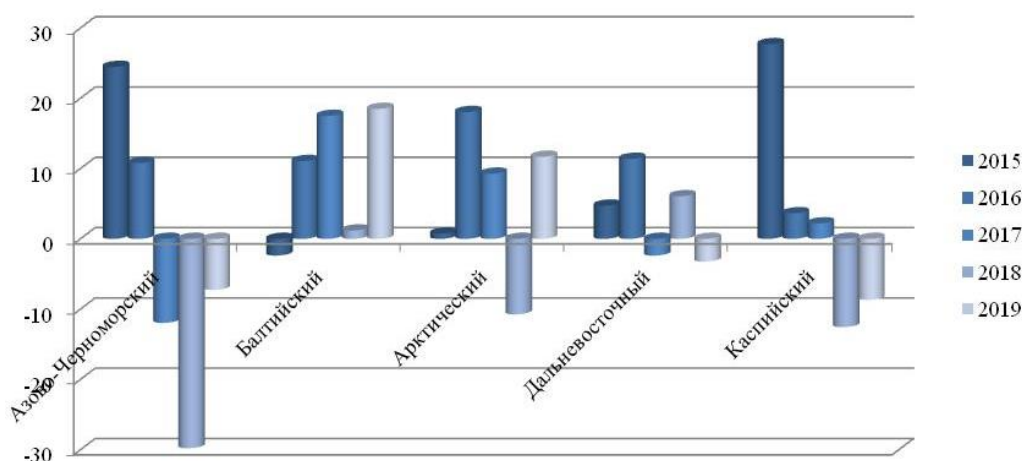


Рис. 2. Темпы прироста улова морских биоресурсов, %
 Fig. 2. Growth rates of catch of marine biological resources, %

Подобная тенденция говорит о качественных процессах, проходивших на фоне «сжатия» деловой среды. В связи с этим рассмотрим картину кластеризации отрасли по бассейнам, учитывая как сформировавшиеся рыбохозяйственные кластеры, так и формирующиеся и потенциальные (в том числе в качестве субкластеров более крупных образований) [Горочная, 2021b]. Более «оптимистичная» картина роста (либо регулярных циклических колебаний) производства в Арктическом бассейне может быть объяснена более активной кластеризацией, произошедшей раньше, нежели в регионах, относящихся к другим бассейнам. Аналогично более глубокое падение в Азово-Черноморском ареале может быть

следствием отсутствия кластеризации рыбохозяйства, которая остаётся лишь на уровне перспективных стратегических планов. При этом в таком регионе, как Ростовская область – на фоне активной и продолжительной кластеризации других сфер [Горочная, 2008] отсутствие рыбохозяйственных кластеров видится упущенной возможностью, равно как и в соседствующем Краснодарском крае, и регионах Крымского полуострова, имеющих опыт формирования надорганизационных структур (см. рис. 3). В Дальневосточном (Тихоокеанском) ареале большинство кластеров данной сферы уже на протяжении многих лет оказываются лишь в состоянии проектов, реализация которых тормозится недостатком местного инвестиционного и организационного потенциала.

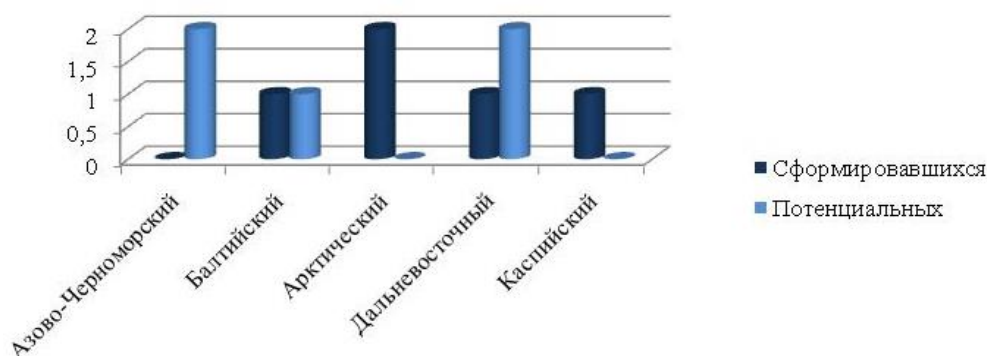


Рис. 3. Количество сформированных и потенциальных рыбохозяйственных кластеров
 Fig. 3. Number of established and potential fisheries clusters

Таким образом, можно диагностировать, что большинство рыбохозяйственных кластеров на своей инициальной стадии возникли в условиях повышенного рыночного давления, соответственно – могут быть отнесены к централизованному и децентрализованному (наиболее нестабильному) типам кластерной структуры в соответствии с особенностями складывающегося жизненного цикла.

Иную траекторию развития демонстрирует сфера приморского туризма (включая турагентства, коллективные средства размещения и санатории) [Росстат, 2021]. Здесь общий рост полностью «перекрывает» небольшое сокращение численности предприятий в отдельные годы (см. рис. 4), а объём производимых услуг (рассчитываемый в качестве среднегеометрического по темпам роста числа реализованных турпакетов, числа людей, отправленных в туры, числа мест и лиц, размещённых в коллективных средствах размещения и санаториях) отреагировал в большинстве случаев с двухлетним лагом, в большинстве приморских регионов производство возросло после 2017 г. (см. рис. 5).

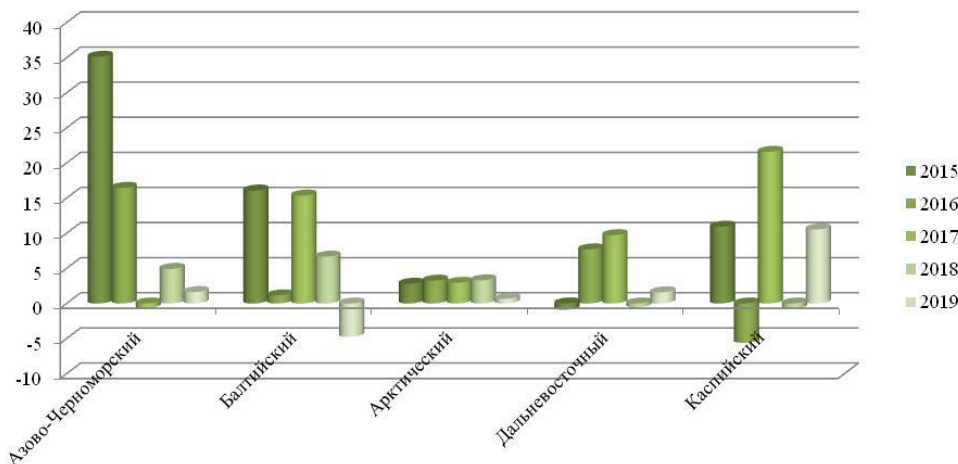


Рис. 4. Темпы прироста численности организаций туристической отрасли, %
 Fig. 4. The growth rate of the number of organizations in the tourism industry, %

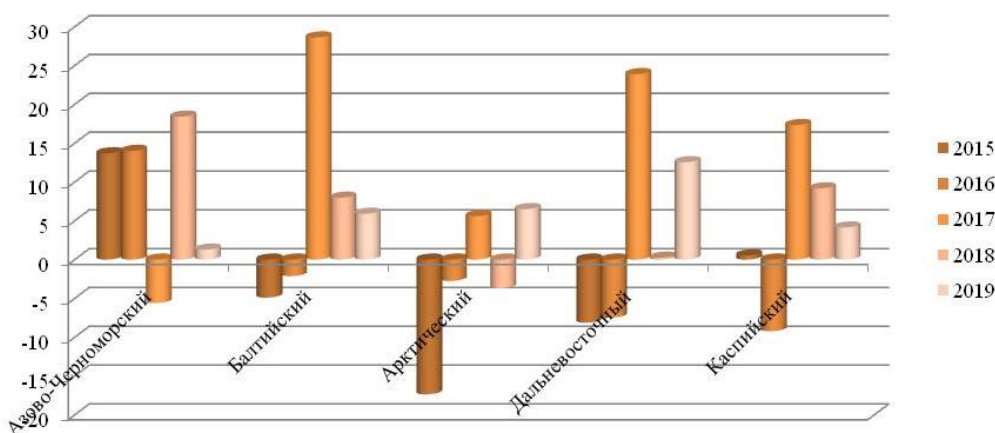


Рис. 5. Темпы прироста производства услуг туристической сферы, %
 Fig. 5. Growth rates of production of tourism services, %

Картина сформировавшихся туристических кластеров (в таких направлениях, как пляжный отдых, морские круизы, туристические маршруты по прибрежным и морским объектам и приморским городам [Горочная, 2021b]) в целом отражает распределение организационной массы по базам морехозяйственной активности с преобладающей ролью Азово-Черноморских баз и «запаздывающим» в развитии отрасль Дальневосточным ареалом, где большинство формируемых структур остаются на уровне проектов и инициатив. Исключение составляет сравнительно небольшой в абсолютном выражении численности туристических организаций Прикаспийский ареал (см. рис. 6).

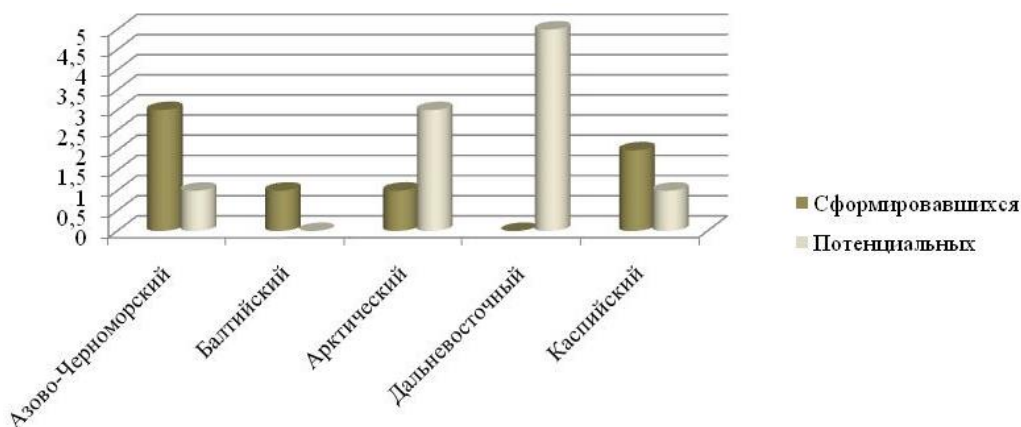


Рис. 6. Количество сформированных и потенциальных кластеров приморского туризма
 Fig. 6. The number of formed and potential clusters of seaside tourism

Сопоставление данных позволяет сделать вывод о том, что формирование туристических кластеров происходит преимущественно по модели «кластера – производственной цепочки»: основным источником кластерной синергии выступает совместное использование рекреационных объектов, возможность наращивания звеньев ЦДС и предоставления дополнительных услуг. Имеют место и кластеры по типу «производственной цепочки»: общий положительный эффект от взаимодействия в условиях сорасположенности и совместного маркетингового позиционирования (в том числе маркетинга территории). Инициальными стадиями кластеризации соответственно двум моделям являются как рост численности организаций (в особенности – в хорошо освоенных приморских зонах Причерноморья и Балтики), так и повышение интенсивности их взаимодействия (в меньшей степени, как правило – в рекреационных ареалах регионального и межрегионального значения, не пользующихся широкой известностью, такой тип кластера может быть приоритетным и для перспективы Дальневосточного и Арктического ареалов в целом).

В связи с тем, что количество морских портов и обслуживающих их операторов не столь велико и не подвергается существенным изменениям в ежегодной динамике, будем основываться на данных реестра морских портов по состоянию на текущий момент [Федеральное агентство морского и речного транспорта, 2021], сопоставив данные с динамикой их грузооборота [Ассоциация морских портов России, 2021], а также общей картиной кластеризации отрасли [Горочная, 2021b] по бассейнам (см. рис. 7, 8).

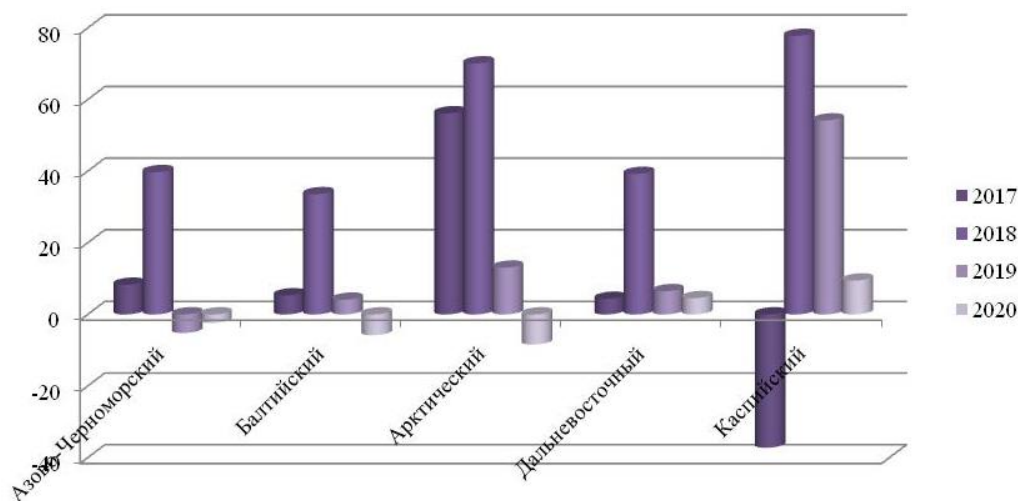


Рис. 7. Темпы прироста грузооборота морских портов, %
 Fig. 7. Growth rates of cargo turnover of seaports, %

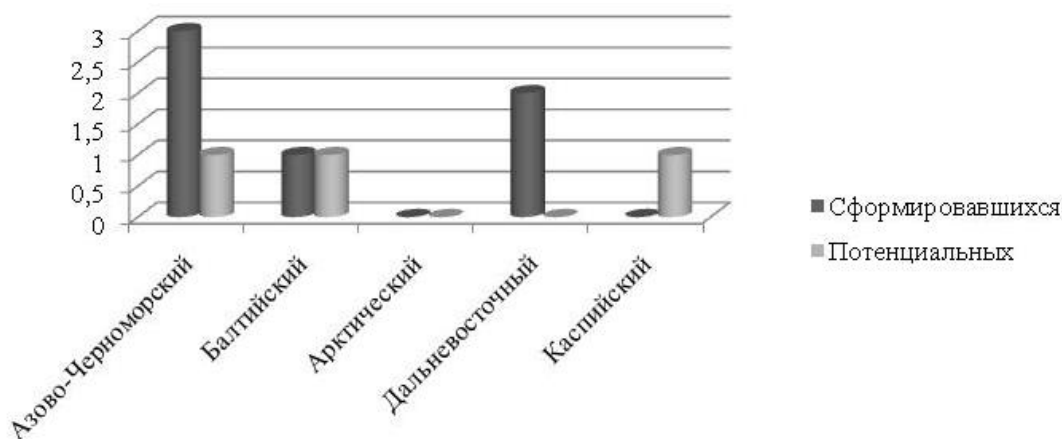


Рис. 8. Количество сформировавшихся и потенциальных кластеров припортовой логистики и морского транспорта
 Fig. 8. Number of established and potential clusters of port logistics and maritime transport

При относительной стабильности численности предприятий динамика грузооборота в большей мере отражает картину внешнеэкономических условий России в целом. «Разворот на восток» с сохранением существенной части европейских морских контактов, а также экспортоориентированная стратегия приморских регионов дали существенный прирост в период до 2018 г. Однако осложнение геоэкономической обстановки осложнило ситуацию за последние годы. Картина кластеризации по бассейнам неоднородна: если в Азово-Черноморском регионе ещё десятилетие назад произошло приращение организационной «критической массы» за счёт предприятий смежных отраслей в условиях многолетней межотраслевой кластерной кооперации (по принципу «производственной цепочки») и диверсификации [Горочная, 2021b], то в Тихоокеанском бассейне данные процессы были инициированы относительно недавно, в том числе потребностью в наращивании объёмов производства. Евразийский «разворот» российской экономики создал ситуацию перегруженности портов восточного направления и

недогруженности мощностей портов Балтики и Причерноморья [Заполнить контейнерные пустоты, 2021]. Обращает на себя внимание и тот факт, что в относительных масштабах более интенсивных рост грузооборота в Прикаспийском и Арктическом бассейнах не сопровождается кластеризацией, что вероятнее всего может быть обусловлено отсутствием достаточной «критической массы» и конкурентного поля. Соответственно, здесь интеграция бизнес-структур может пойти по модели «взаимосвязанного кластера» с учётом инициальной фазы и при наличии дополнительных стимулов.

Интеграция наукоёмких отраслей как формирует единичные самостоятельные морехозяйственные кластеры, так и в большей мере происходит по принципу взаимодействия с «морскими» и «приморскими» производствами как дополнительным рынком сбыта высокотехнологичного продукта. Формируются межотраслевые кластеры по типу «производственной цепочки». Однако при этом большая гибкость и диверсификация наукоёмких кластеров (главным образом, локализованных в Балтийском и Азово-Черноморском регионах) может быть выстроена не только по кластерной, но и по сетевой модели, как это происходит, в частности, в трансграничном Балтийском пространстве, где многочисленные проекты носят временный характер, однако оставляют после себя относительно устойчивые сетевые связи для реализации новых проектов другим составом участников. Развитие секторов судостроения и судоремонта, а также добычи ископаемых на шельфе в России в настоящее время идёт в большей мере по модели территориально-производственного комплекса, что имеет потенциал для расширения конкурентного потенциала и наращивания внешних связей в будущем, а также требует соответствующих стратегических решений на национальном уровне.

На основе проведённой диагностики сформируем концептуальный алгоритм государственного содействия морехозяйственной кластеризации с учётом стадий кластерного цикла разных типов (стадии цикла: М – рост орг. массы, Е – повышение эмерджентности межорг. взаимодействия, Т – рыночное стимулирование конкурентного давления); цветным градиентом в схеме выделена текущая фаза цикла (см. рис. 10).



Рис. 10. Концептуальный алгоритм государственного содействия морехозяйственной кластеризации* (начало)

Fig. 10. Conceptual algorithm of state assistance to maritime economic clustering** (the beginning)

*Сформировано автором **Generated by author



Рис. 10. Концептуальный алгоритм государственного содействия морехозяйственной кластеризации* (окончание)

Fig. 10. Conceptual algorithm of state assistance to maritime economic clustering** (the end)

*Сформировано автором **Generated by author

Заключение

Как можно заключить по итогам исследования, содействие кластеризации морехозяйства требует дифференцированных мер по отраслям и опорным базам морской активности России, однако с учётом универсальных циклических закономерностей развития кластеров различного типа, так как самоорганизующиеся процессы зависимы от начальных условий, первичного импульса, запустившего их. При этом требуют принятия стратегических решений о приоритетных формах интеграции бизнеса не только те морехозяйственные базы, где кластерогенные процессы ещё не были полноценно запущены, но и те сектора и регионы, где они были «свёрнуты» в силу довлеющей роли госзаказа и госконтроля (как, например, в сфере судостроения и судоремонта) либо вследствие структурных изменений и внешних ограничений (в особенности – в регионах Крымского полуострова).

Изначально свойственный приморским зонам взаимопереходящий характер кластеров и ТПК в текущих условиях может послужить для первоначальных масштабных инвестиций в развитие материально-технической базы и технико-технологического перевооружения производства и инфраструктуры, а также перспективного развития конкуренции. Недостаток организационного потенциала для кластеризации в регионах Арктики и отчасти в российских эксклавах может быть скомпенсирован сетевыми форматами взаимодействия, в том числе помогающими накопить необходимый опыт межорганизационного взаимодействия. Также важно учитывать, что во многих случаях (и в особенности – в Тихоокеанских базах морехозяйственной активности) в отсутствие фиксируемых объективных препятствий к интеграции предприятий реальной причиной является недостаток опыта, неразвитость бизнес-ассоциаций и аналогичных институтов, объектов финансовой, информационной и инновационной инфраструктуры, а также приоритет последовательно проработанных федеральных проектов перед региональными, что не даёт возможности проявления местным предприятиям собственной инициативы. В данной ситуации необходима поддержка межрегионального и трансграничного формата работы и обмена опытом.

Список источников

1. Заполнить контейнерные пустоты. Порт Ньюс. 2021, №2. URL: <https://portnews.ru/magazine/a178/> (09.07.2021).
2. Росстат. Официальный портал Федеральной службы государственной статистики. Электронный ресурс. URL: <https://www.gks.ru/> (даты обращения: 17.10.2021–31.10.2021).
3. Статистика. Ассоциация морских портов России. URL: <https://www.morport.com/rus/content/statistika> (даты обращения: 30.08.2021–09.09.2021).
4. Федеральное агентство морского и речного транспорта. URL: <http://morflot.gov.ru/> (даты обращения: 09.08.2021–13.09.2021).

Список литературы

1. Вицентий А.В., Шишаев М.Г., Ершова А.А., Гогоберидзе Г.Г. 2017. Концептуальная модель морехозяйственной деятельности в регионе как основа систем информационной поддержки морского пространственного планирования. Труды Кольского научного центра РАН, 3-8 (8): 77–88.
2. Вольхин Д.А. 2017. Экономическая кластеризация в приморских зонах Крыма: факторы, локализация и перспективы развития. Научная мысль Кавказа, 3 (91): 12–22.
3. Горочная В.В. 2021а. Государственное регулирование и приоритеты России в морехозяйственной сфере: проблемы активизации трансграничной экономической кластеризации. Научные труды Вольного экономического общества России. Т. 227, 1: 314–337.
4. Горочная В.В. 2021б. Кооперационные связи в системе морской экономики России: стратегические приоритеты в условиях глобальных изменений и текущее состояние кластеризации и

- комплексообразования. Многополярная глобализация и Россия. Материалы VIII Международной научно-практической конференции памяти А.Ю. Архипова. Ростов-на-Дону – Таганрог, 2021: 71–76.
5. Горочная В.В. 2008. Моделирование рынка и процесс региональной кластеризации на Юге России. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Общественные науки, 6 (148): 97–102.
 6. Горочная В.В. 2019а. Резистентность морехозяйственного комплекса западных регионов России в условиях геоэкономической турбулентности: факторы, механизмы, региональный опыт. Экономические науки, 180: 29–38.
 7. Горочная В.В. 2019б. Эмерджентность экономических кластеров: механизмы возникновения, специфика трансграничных и трансакваториальных ареалов, роль морехозяйственных отраслей. Региональная экономика и управление: электронный научный журнал, 4 (60): 9.
 8. Дружинин А.Г., Горочная В.В. 2016. Производственное комплексообразование и экономический кластерогенез: институциональная специфика приморских зон. Научная мысль Кавказа, 4 (88): 5–15.
 9. Дружинин А.Г. 2020. Опорные базы морского порубежья России: экономическая динамика в условиях геополитической турбулентности. Балтийский регион. Т. 12, 3: 89–104. doi: 10.5922/2079-8555-2020-3-6
 10. Дружинин А.Г. 2021. Типологическая поливариантность опорных баз морской активности России (теоретико-концептуальный аспект). Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки, 2: 23–34.
 11. Михайлов А.С., Горочная В.В., Михайлова А.А., Плотникова А.П., Вольхин Д.А. 2020. Кластеры приморских регионов европейской части России. Географический вестник, 4 (55): 81–96.
 12. Михайлова А.А. 2021. Жизненный цикл региональной инновационной системы приморского региона. Теоретическая и прикладная экономика, 1: 48–64.
 13. Приморские зоны России на Балтике: факторы, особенности, перспективы и стратегии трансграничной кластеризации. 2018. Под ред. А.Г. Дружинина. М., Сер. Научная мысль Балтийского федерального университета, 216 с.
 14. Филиппова С.В., Сааджан В.А., Глущенко В.Д. 2014. К вопросу формирования морехозяйственных кластеров. Экономика: реалии времени, 5 (15): 146–151.
 15. Demirel N. 2020. Turkey and Russia as Major Players in the Black Sea: Challenges and Opportunities. International Journal of Engineering Technologies and Management Research, 7 (2): 22–30.
 16. Gorochnaya V.V., Mikhailov A.S., Mikhailova A.A., Plotnikova A.P. 2020. Tourism Clusters and Innovation Security: Dialectics in the Western Border Regions of Russia. Geojournal of Tourism and Geosites. 28 (1): 127–139.
 17. Hu Y. 2020. A Study on the Long-term Mechanism of Marine Economic Development from SWOT Perspective. Journal of Coastal Research, 107(sp1): 249–252.
 18. Karahan C.B., Kirval L. 2018. Clustering potential of Istanbul maritime sector. Maritime Business Review, 3 (3): 314–336. <https://doi.org/10.1108/MABR-03-2018-0012>
 19. Kiseleva A.M., Gokova O.V. 2020. Marketing Strategies in the Formation of Tourism Clusters. In International Conference on Economics, Management and Technologies 2020 (ICEMT 2020) Atlantis Press: 592–597.
 20. Koliouisis I.G., Papadimitriou S., Riza E., Stavroulakis P. J., Tsioumas V. 2017. Strategy, policy, and the formulation of maritime cluster typologies. Marine Policy, 86: 31–38.
 21. Lagoudis I., Madentzoglou E.M., Theotokas I.N., Yip T.L. 2019. Maritime cluster attractiveness index. Maritime business review, 4 (2): 169–189. <https://doi.org/10.1108/MABR-11-2018-0044>
 22. Langen P.D. 2002. Clustering and performance: the case of maritime clustering in The Netherlands. Maritime Policy & Management, 29(3): 209–221.
 23. Liao Q., Zhen H., Zhou D. 2021. A study on the industrial symbiosis in maritime cluster considering value chain and life cycle—case of Dalian, China. Maritime Policy & Management: 1–16.
 24. Li M., Luo M. 2020. Review of existing studies on maritime clusters. Maritime Policy & Management: 1–16.
 25. Li J., Jiang Y., Guan W., Lu J. 2021. Agglomeration effects or port-related benefits? (Re)Location patterns of basic maritime industries: the case of Dalian City, China. Maritime Policy & Management: 1–17.



26. Liu W., Cao Z. 2018. Positive role of marine tourism on economic stimulus in coastal area. In: Liu Z.L., Mi C. (eds.), *Advances in Sustainable Port and Ocean Engineering*. Journal of Coastal Research, Special Issue, 83: 217–220.
27. Mei Z. 2020. Management System of Marine Tourism: A perspective of industry Integration. *Journal of Coastal Research*, 107(sp1): 101–104.
28. Meyer C., Philipp R., Gerlitz L. 2020. Reinforcing Innovation and Competitiveness of SMEs by New Maritime Clustering Initiatives in South Baltic Sea Region. In *International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication*. Springer, Cham: 633–648.
29. Samoylenko P.Y. 2018. Image of Vladivostok as seaport city and problems of Russian international cooperation in Asia-Pacific region. *Asia-Pacific Journal of Marine Science&Education*, 8 (2): 4–13.
30. Samoylenko P.Y. 2019. The Prospects of Russian-Chinese Maritime Cooperation in Northeast Asia. *Asia-Pacific Journal of Marine Science & Education*, 9 (1): 64–72.
31. Stavroulakis P.J., Papadimitriou S. 2017. Situation analysis forecasting: the case of European maritime clusters. *Maritime Policy & Management*, 44(6): 779–789.
32. Stavroulakis P.J., Papadimitriou S., Tsioumas V., Koliouisis I.G., Riza E., Kontolatou E.O. 2020. Strategic competitiveness in maritime clusters. *Case Studies on Transport Policy*, 8(2): 341–348.
33. Stavroulakis P.J., Papadimitriou S., Tsirikou F. 2021. Perceptions of competitiveness for maritime clusters. *Ocean & Coastal Management*, 205: 105546.
34. Studzieniecki T., Palmowski T., Korneevets V. 2016. The system of cross-border tourism in the Polish-Russian borderland. *Procedia Economics and Finance*, 39: 545–552.
35. Qingmei L., Hong Z. 2021. The effect of maritime cluster on port production efficiency. *Maritime Policy & Management*, 48(1): 61–74.
36. Wang P., Mileski J. 2018. Strategic maritime management as a new emerging field in maritime studies. *Maritime Business Review*, 3 (3): 290–313. <https://doi.org/10.1108/MABR-06-2018-0019>
37. Zhang W., Lam J.S.L. 2017. An empirical analysis of maritime cluster evolution from the port development perspective – Cases of London and Hong Kong. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 105: 219–232.

References

1. Vicentij A.V., Shishaev M.G., Ershova A.A., Gogoberidze G.G. 2017. Konceptual'naja model' morehozjajstvennoj dejatel'nosti v regione kak osnova sistem informacionnoj podderzhki morskogo prostranstvennogo planirovanija [A conceptual model of maritime economic activity in the region as the basis of information support systems for marine spatial planning]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 3–8 (8): 77–88.2.
2. Volhin D.A. 2017. Jekonomicheskaja klasterizacija v primorskih zonah Kryma: faktory, lokalizacija i perspektivy razvitija [Economic clustering in the coastal zones of Crimea: factors, localization and development prospects]. *Nauchnaja mysl' Kavkaza [Scientific thought of the Caucasus]*, 3 (91): 12–22.
3. Gorochnaya V.V. 2021. Gosudarstvennoe regulirovanie i priorityty Rossii v morehozjajstvennoj sfere: problemy aktivizacii transgranichnoj jekonomicheskoy klasterizacii [State regulation and priorities of Russia in the maritime sector: problems of activation of cross-border economic clustering]. *Nauchnye trudy Vol'nogo jekonomicheskogo obshhestva Rossii [Scientific works by the Free Economic Society of Russia]*. Vol. 227, 1: 314–337.
4. Gorochnaya V.V. 2021. Kooperacionnye svjazi v sisteme morskoy jekonomiki rossii: strategicheskie priorityty v uslovijah global'nyh izmenenij i tekushhee sostojanie klasterizacii i kompleksobrazovanija [Cooperative relations in the Russian maritime economy system: strategic priorities in the context of global changes and the current state of clustering and complex formation]. *Mnogopoljarnaja globalizacija i Rossija. Materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii pamjati A.Ju. Arhipova [Multipolar globalization and Russia. Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference in memory of A.Y. Arkhipov]*. Rostov-on-Don – Taganrog, 2021: 71–76.
5. Gorochnaya V.V. 2008. Modelirovanie rynka i process regional'noj klasterizacii na Juge Rossii [Market modeling and the process of regional clustering in the South of Russia]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Obshhestvennye nauki [News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Social sciences]*, 6 (148): 97–102.
6. Gorochnaya V.V. 2019. Rezistentnost' morehozjajstvennogo kompleksa zapadnyh regionov Rossii v uslovijah geojekonomicheskoy turbulencii: faktory, mehanizmy, regional'nyj opyt [Resistance of

the maritime complex of the western regions of Russia in the conditions of geo-economic turbulence: factors, mechanisms and regional experience]. *Jekonomicheskie nauki [Economic Sciences]*, 180: 29–38.

7. Gorochnaya V.V. 2019. Jemerdzhentnost' jekonomicheskikh klasterov: mehanizmy vozniknovenija, specifika transgranichnyh i transakvatorial'nyh arealov, rol' morehozjajstvennyh otraslej [Emergence of Economic Clusters: Mechanisms, Specifics of Cross-border and Cross-Aquatic Areas, the Role of Maritime industries]. *Regional'naja jekonomika i upravlenie: jelektronnyj nauchnyj zhurnal [Regional Economics and Management: electronic scientific journal]*, 4 (60): 9.

8. Druzhinin A.G., Gorochnaya V.V. 2016. Proizvodstvennoe kompleksoobrazovanie i jekonomicheskij klasterogenez: institucional'naja specifika primorskih zon [Industrial complex formation and economic clustering: institutional specifics of coastal zones]. *Nauchnaja mysl' Kavkaza [Scientific thought of the Caucasus]*, 4 (88): 5–15.

9. Druzhinin A.G. 2020. Opornye bazy morskogo porubezh'ja Rossii: jekonomicheskaja dinamika v uslovijah geopoliticheskoj turbulentnosti [Support bases of the Russian sea frontier: economic dynamics in conditions of geopolitical turbulence]. *Baltijskij region [Baltic Region]*. Vol. 12, 3: 89–104. doi: 10.5922/2079-8555-2020-3-6

10. Druzhinin A.G. 2021. Tipologicheskaja polivariantnost' opornyh baz morskoy aktivnosti rossii (teoretiko-konceptual'nyj aspekt) [Typological multivariance of the reference bases of maritime activity in Russia (theoretical and conceptual aspect)]. *Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Serija: Estestvennye i medicinskie nauki [Bulletin of the I. Kant Baltic Federal. Series: Natural and Medical Sciences]*, 2: 23–34.

11. Mikhaylov A.S., Gorochnaya V.V., Mikhaylova A.A., Plotnikova A.P., Volhin D.A. 2020. Klastery primorskih regionov evropejskoj chasti Rossii [Clusters of coastal regions of the European part of Russia]. *Geograficheskij vestnik [Geographical Bulletin]*, 4 (55): 81–96.

12. Mikhaylova A.A. 2021. Zhiznennyj cikl regional'noj innovacionnoj sistemy primorskogo regiona [The life cycle of the regional innovation system of a coastal region]. *Teoreticheskaja i prikladnaja jekonomika [Theoretical and Applied Economics]*, 1: 48–64.

13. Primorskie zony Rossii na Baltike: factory, osobennosti, perspektivy i strategii transgranichnoj klasterizacii [Coastal zones of Russia in the Baltic: factors, features, prospects and strategies of cross-border clustering]. 2018. Pod red. A.G. Druzhinina. M., Ser. Nauchnaja mysl' Baltijskogo federal'nogo universiteta [Series “Scientific thought of the Baltic Federal University”], 216 p.

14. Filippova S.V., Saadzhan V.A., Glushhenko V.D. 2014. K voprosu formirovanija morehozjajstvennyh klasterov [On the issue of the formation of maritime clusters]. *Jekonomika: realii vremeni [Economics: the realities of time]*, 5 (15): 146–151.

15. Demirel N. 2020. Turkey and Russia as Major Players in the Black Sea: Challenges and Opportunities. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, 7 (2): 22–30.

16. Gorochnaya V.V., Mikhailov A.S., Mikhailova A.A., Plotnikova A.P. 2020. Tourism Clusters and Innovation Security: Dialectics in the Western Border Regions of Russia. *Geojournal of Tourism and Geosites*. 28 (1): 127–139.

17. Hu Y. 2020. A Study on the Long-term Mechanism of Marine Economic Development from SWOT Perspective. *Journal of Coastal Research*, 107(sp1): 249–252.

18. Karahan C.B., Kirval L. 2018. Clustering potential of Istanbul maritime sector. *Maritime Business Review*, 3 (3): 314–336. <https://doi.org/10.1108/MABR-03-2018-0012>

19. Kiseleva A.M., Gokova O.V. 2020. Marketing Strategies in the Formation of Tourism Clusters. In *International Conference on Economics, Management and Technologies 2020 (ICEMT 2020) Atlantis Press*: 592–597.

20. Kolioussis I.G., Papadimitriou S., Riza E., Stavroulakis P. J., Tsioumas V. 2017. Strategy, policy, and the formulation of maritime cluster typologies. *Marine Policy*, 86: 31–38.

21. Lagoudis I., Madentzoglou E.M., Theotokas I.N., Yip T.L. 2019. Maritime cluster attractiveness index. *Maritime business review*, 4 (2): 169–189. <https://doi.org/10.1108/MABR-11-2018-0044>.

22. Langen P.D. 2002. Clustering and performance: the case of maritime clustering in The Netherlands. *Maritime Policy & Management*, 29(3): 209–221.

23. Liao Q., Zhen H., Zhou D. 2021. A study on the industrial symbiosis in maritime cluster considering value chain and life cycle—case of Dalian, China. *Maritime Policy & Management*: 1–16.

24. Li M., Luo M. 2020. Review of existing studies on maritime clusters. *Maritime Policy & Management*: 1–16.



25. Li J., Jiang Y., Guan W., Lu J. 2021. Agglomeration effects or port-related benefits? (Re)Location patterns of basic maritime industries: the case of Dalian City, China. *Maritime Policy & Management*: 1–17.
26. Liu W., Cao Z. 2018. Positive role of marine tourism on economic stimulus in coastal area. In: Liu Z.L., Mi C. (eds.), *Advances in Sustainable Port and Ocean Engineering*. Journal of Coastal Research, Special Issue, 83: 217–220.
27. Mei Z. 2020. Management System of Marine Tourism: A perspective of industry Integration. *Journal of Coastal Research*, 107(sp1): 101–104.
28. Meyer C., Philipp R., Gerlitz L. 2020. Reinforcing Innovation and Competitiveness of SMEs by New Maritime Clustering Initiatives in South Baltic Sea Region. In *International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication*. Springer, Cham: 633–648.
29. Samoylenko P.Y. 2018. Image of Vladivostok as seaport city and problems of Russian international cooperation in Asia-Pacific region. *Asia-Pacific Journal of Marine Science&Education*, 8 (2): 4–13.
30. Samoylenko P.Y. 2019. The Prospects of Russian-Chinese Maritime Cooperation in Northeast Asia. *Asia-Pacific Journal of Marine Science & Education*, 9 (1): 64–72.
31. Stavroulakis P.J., Papadimitriou S. 2017. Situation analysis forecasting: the case of European maritime clusters. *Maritime Policy & Management*, 44(6): 779–789.
32. Stavroulakis P.J., Papadimitriou S., Tsioumas V., Koliouisis I.G., Riza E., Kontolatou E.O. 2020. Strategic competitiveness in maritime clusters. *Case Studies on Transport Policy*, 8(2): 341–348.
33. Stavroulakis P.J., Papadimitriou S., Tsirikou F. 2021. Perceptions of competitiveness for maritime clusters. *Ocean & Coastal Management*, 205: 105546.
34. Studzieniecki T., Palmowski T., Korneevets V. 2016. The system of cross-border tourism in the Polish-Russian borderland. *Procedia Economics and Finance*, 39: 545–552.
35. Qingmei L., Hong Z. 2021. The effect of maritime cluster on port production efficiency. *Maritime Policy & Management*, 48(1): 61–74.
36. Wang P., Mileski J. 2018. Strategic maritime management as a new emerging field in maritime studies. *Maritime Business Review*, 3 (3): 290–313. <https://doi.org/10.1108/MABR-06-2018-0019>.
37. Zhang W., Lam J.S.L. 2017. An empirical analysis of maritime cluster evolution from the port development perspective – Cases of London and Hong Kong. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 105: 219–232.

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

Горочная Василиса Валерьевна, кандидат экономических наук, специалист по учебно-методической работе Академии психологии и педагогики Южного федерального университета; зав. научным отделом, доцент кафедры продюсерства исполнительских искусств Ростовской государственной консерватории им. С.В. Рахманинова, г. Ростов-на-Дону, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vasilisa V. Gorochnaya, PhD in Economics, Specialist on Educational and Methodic Work at the Academy of Psychology and Educational Sciences of the Southern Federal University; Head of Department for Science, Associate Professor at the Faculty of Producing of Performing Arts at the Rostov State S. Rachmaninov Conservatoire, Rostov-on-Don, Russia

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ INVESTMENT AND INNOVATIONS

УДК 332.1:378

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-641-649

Влияние университетов на повышение уровня инновационного потенциала региона

Иноземцева А.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
E-mail: 24233128@mail.ru

Аннотация. В настоящее время инновационное развитие является одним из приоритетных направлений в политике государства и, в частности, региона. Университеты выполняют важные традиционные функции, которые нацелены на повышение качества человеческого капитала, а также приобрели новые функции, направленные на их трансформацию в предпринимательский университет. Теоретическая база понятия «предпринимательский университет» была рассмотрена в модели тройной спирали инновационного развития, где именно вуз является «фундаментом» для первоначального создания инноваций и различных технических разработок, что способствует образованию синергии между акторами. Достаточно слабоизученной остаётся тема влияния университетов на инновационный потенциал региона и экономическое состояние в целом, учитывая, что на сегодняшний день ценность высшего образования постепенно снижается. Целью данного исследования является влияние университетов на уровень инновационного потенциала региона. В результате рассмотрения и авторского дополнения структурных компонент вклада университетов в формирование инновационного потенциала были выявлены основные проблемы при улучшении партнёрских отношений между государством, предпринимательством и вузом. На основании выявленных трудностей был разработан комплекс мероприятий, направленных на их устранение, а также для поддержания и наращивания уровня инновационного потенциала региона.

Ключевые слова: инновации, инновационный потенциал региона, акторы инновационной деятельности, университеты, модель тройной спирали инновационного развития.

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России (FZWN–2020-0016).

Для цитирования: Иноземцева А.А. Влияние университетов на повышение уровня инновационного потенциала региона. Экономика. Информатика. 48(4): 641–649. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-641-649.

Influence of universities on raising the level of an innovative region

Anastasia A. Inozemceva

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
45 Kostyukov St, Belgorod, 308012, Russia
E-mail: 24233128@mail.ru

Abstract. Currently, innovative development is one of the priority directions in the policy of the state and the region. Universities perform important traditional functions that are aimed at improving the quality of human capital and have also acquired new ones aimed at transforming them into an entrepreneurial university. The theoretical basis of the concept of "entrepreneurial university" was considered in the model of the triple helix of innovative development, where the university is the "foundation" for the initial creation of innovations and various technical developments, which contributes to the formation of synergy between actors. The topic of the influence of universities on the innovative potential of the region and the economic situation in general remains rather poorly studied, given that today the value of higher education is gradually



decreasing. The purpose of this study is the influence of universities on the level of innovation potential of the region. As a result of the review and the author's addition of the structural components of the contribution of universities to the formation of innovative potential, the main problems in establishing partnership relations between the state, entrepreneurship and the university were identified. Based on the identified difficulties, a set of measures was developed to eliminate them, as well as to maintain and increase the level of innovative potential of the region.

Keywords: innovations, innovative potential of the region, actors of innovative activity, universities, the model of the triple helix of innovative development.

Acknowledgments: the study was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia (FZWN-2020-0016).

For citation: Inozemceva A.A. 2021. Influence of Universities on Raising the Level of an Innovative Region. Economics. Information technologies. 48 (4): 641–649 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-641-649.

Введение

На современном этапе приоритетным направлением для всех стран мира является восстановление экономики после пандемии коронавируса, которая нанесла значительный ущерб как экономической, так и социальной сфере жизни. К основным проблемам можно отнести: экономический спад, снижение темпов производства во всех секторах экономики, значительное увеличение числа безработных, стремительное падение качества жизни населения, что может привести, в случае неэффективной политики государства по стабилизации сложившейся ситуации, к усилению социальной напряжённости в обществе [Фирсова, Челнокова, 2014]. Следует отметить, что ключевым направлением по выходу из сложившейся экономической ситуации в стране является инновационный путь развития по всем направлениям.

Внутренняя политика Российской Федерации уже несколько лет ориентирована на переход к инновационной модели экономики, что находит своё отражение во многих нормативно-правовых актах и государственных программах поддержки инновационной деятельности. Необходимость трансформации заключается, во-первых, в продолжительной сырьевой зависимости, которая оказывает негативное влияние на текущее экономическое состояние в стране, а, во-вторых, в достаточно низком уровне конкурентоспособности производимой продукции и предлагаемых услуг, поскольку многие страны-лидеры успешно совершили переход к экономике знаний и тем самым идеи и технологии становятся приоритетными в их развитии [Курбатова, Каган, 2017].

Региональные системы занимают главенствующее значение, поскольку от их уровня развития зависит формирование системы, направленной на создание и внедрение инновационных проектов, которые необходимы для удовлетворения возникающих потребностей экономики и нацелены на её качественную трансформацию для усиления состояния государства и его конкурентных преимуществ [Фирсова, Новоселова, Перфильева, 2018]. В свою очередь, регионы должны создать и в последующем непрерывно поддерживать высокий уровень инновационного потенциала, с помощью которого будет возможно обеспечить на всей территории внедрение инноваций.

Успешность создания эффективной инновационной системы в зарубежных странах основана на своевременном практическом применении теории «тройной спирали», что привело эти государства к лидирующим позициям и высокому уровню конкурентоспособности продукции на мировом уровне. В подтверждение, приведем динамику значений глобального индекса инноваций за период 2015–2020 гг. стран-лидеров и РФ, представленную в таблице 1. Сущность данной теории заключается в формировании партнёрских отношений между тремя главными акторами: наукой, бизнесом и властью, активное взаимодействие которых приводит к эффективной инновационной деятельности в регионе, что способствует образованию большого инновационного цикла [Ицковиц, 2010]. Нельзя не отметить, что фундаментальное значение среди выше представленных акторов имеют предпринимательские университеты.

Таблица 1
Table 1Динамика значений глобального индекса инноваций топ-10 стран
и Российской Федерации [Global Innovation Index – 2020]
Dynamics of values of the global innovation index of the top 10 countries
and the Russian Federation [Global Innovation Index – 2020]

Место	Страна	Значение ГИИ					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020
1.	Швейцария	68,3	66,3	67,7	68,4	67,2	66,1
2.	Швеция	62,4	63,6	63,8	63,1	63,7	62,5
3.	США	60,1	61,4	61,4	59,8	61,7	60,6
4.	Великобритания	62,4	61,9	60,9	60,1	61,3	59,8
5.	Нидерланды	61,6	58,3	63,4	63,3	61,4	58,8
6.	Дания	57,7	58,5	58,7	58,4	58,4	57,5
7.	Финляндия	60	59,9	58,5	59,6	59,8	57
8.	Сингапур	59,4	59,2	58,7	59,8	58,4	56,6
9.	Германия	57,1	57,9	58,4	58	58,2	56,5
10.	Южная Корея	56,3	57,1	57,7	56,6	56,6	56,1
47.	Российская Федерация	39,3	38,5	38,8	37,9	37,6	35,6

Поскольку в мировой экономической ситуации произошли кардинальные изменения, связанные с основополагающими факторами повышения уровня конкурентоспособности – знаниями, трансформирующимися в инновации, приоритетность поддержки и развития университетов становятся первостепенной задачей для региональных властей [Фирсова, Нархова, 2014; Абанкина, 2013]. Университеты имеют стратегическую важность для регионального инновационного развития, способных определить оптимальные характеристики инновационных проектов, необходимых для повышения экономического и социального состояния.

Следует обратить особое внимание, что современные университеты помимо своих главных функций – обучения высококвалифицированных специалистов и исследовательской деятельности в различных направлениях науки, – также приобрели ряд актуальных на сегодняшний день функций, к ним можно отнести [Перфильева, 2014; Безгодков, Беляева, 2016]:

- интеграцию и трансфер знаний и технологий;
- образование новых видов деятельности, которые преобразуются в полноценный бизнес;
- обеспечение условий для эффективного функционирования малых инновационных предприятий на базе вузов;
- поддержание стабильного положения в обществе с помощью создания партнёрских отношений между предпринимательством и университетами в регионе.

Основываясь на вышепредставленных новых функциях университетов, можно сказать, что должно обеспечиваться стабильное инновационное и экономическое региональное развитие. Следует отметить, что научная новизна исследования заключается в разработке комплекса теоретических мероприятий по наращиванию уровня инновационного потенциала региона посредством вклада предпринимательских университетов. В случае их реализации будет повышаться социальная активность, что приведёт к повышению востребованности высшего образования и трансфера технологий, это положительно скажется как на студенческом обществе, так и на региональном бизнесе, а также местных властях.



Объекты и методы исследования

Объектом исследования является роль университетов в условиях инновационного развития региона. Изучаются на основе модели тройной спирали главные составные элементы вклада университетов в инновационное развитие. Теоретическая база исследования основана на научных трудах зарубежных и отечественных учёных, которые занимаются разработкой проблемы инноватики, в частности, инновационного потенциала субъектов страны. Методологический аппарат составляют общие формально-логические методы, к которым можно отнести: дедукции, индукции, метод статистического анализа, метод сравнения, обобщения.

Результаты и их обсуждение

Исходя из определения инновационного потенциала региона, разработанном Масайкиным Е.П. и Арцер Т.В., характеризующих его как «возможность и способность региона по созданию и активному использованию ресурсов, необходимых для инновационных процессов, которые реализуются на всей территории субъекта», прослеживается неоспоримость роли университетов для экономического развития и наращивания инновационного потенциала [Масайкин, Арцер, 2009]. Поэтому следует более детально проанализировать структурные компоненты вклада университета в формирование инновационного потенциала для дальнейшего составления комплекса рекомендательных мероприятий по его наращиванию.

Технологическую компоненту можно охарактеризовать как количество прогрессивных разработок и различных технических модернизаций, разработанных на базе вуза, и которые в дальнейшем применяются в деятельности предприятий на территории региона [Бобров, Гусев, Смирнов, 2012]. Такие разработки вузов способствуют повышению уровня технической оснащённости производства, а также отражаются на степени новизны производимой продукции или оказания услуг, что потенциально влияет на изменение сложившегося технологического уклада в субъекте РФ.

Информационная компонента находит своё отражение в создании условий, необходимых для непрерывного потока информации между региональными акторами инновационного развития – университетами, предприятиями, государством [Балмасова, 2015]. Вклад университетов заключается в ускорении получения информации о прогрессивных технологиях актантами, которая координирует внутри университета и должна получить большее распространение.

Одной из самых показательных компонент считается экономическая, так как на основе социальных и экономических показателей за определённый промежуток времени можно проконтролировать степень взаимодействия главных акторов [Балмасова, 2016]. Соответственно, если наблюдается тенденция повышения уровня валового регионального продукта, значит одной из причин может быть создание синергетической связи между участниками региональной инновационной системы, что доказывает непосредственное влияние университетов на других участников.

Кадровую компоненту можно рассмотреть с двух сторон. В первом случае университет является поставщиком высококвалифицированных специалистов в различных областях на рынок труда, которые способны проводить работу по внедрению инновационных проектов. А во втором случае рассматривается внутренняя организация, то есть уровень компетенции персонала, который отражается в качестве преподавательской деятельности и научно-исследовательской работе. Влияние кадровой компоненты на уровень инновационного потенциала достаточно велик, поскольку за её счёт происходит наращивание уровня человеческого капитала как в регионе, так и во всей стране, и отражается на экономических и социальных показателях [Аветисян, Геворкян, 2020].

Как правило, инновационная компонента имеет прямую взаимосвязь с кадровой компонентой, так как именно от научных специалистов зависит степень разработанности определённых инновационных проектов и разработок, открытий и полезных моделей, которые в будущем могут быть применены для улучшения инновационного климата региона, тем самым наращивая инновационный потенциал субъекта РФ.

Относительно новой является компонента цифровизации, которая получила свою актуальность и необходимость во время карантинных мер, так как именно от уровня цифровизации университета зависело дальнейшее обучение студентов. Следует отметить, что возможности обеспечения и стабильной работы технического оборудования внутри вуза послужили ключевым фактором в обеспечении учебного процесса. Ключевым моментом является обеспечение стабильной работы сети Интернет на всей территории региона, что находится во введении муниципального управления. В качестве примера взаимосвязи университетов и государства можно рассмотреть оперативное решение по вопросу некачественного интернет-соединения, информация о котором исходила от студентов вуза.

В настоящее время становится более актуальной модель четырёхзвенной спирали, которая помимо привычных акторов – государства, предприятий и университетов – включает в себя гражданское общество. Главными системообразующими элементами являются человеческий капитал и ресурс знаний. Такие ключевые факторы объясняются тем, что в силу постоянного повышения спроса со стороны общества на инновации происходит активация ускорения потока знаний, которые формируются в технологии и новшества [Караяннис, Григорулис, 2016].

Связующим звеном между университетом и бизнесом являются малые инновационные предприятия на базе вуза. Цель их формирования заключается в адаптации исследовательских результатов и различных разработок для удовлетворения возникающих в обществе потребностей, которые в дальнейшем будут активно реализовываться на рынке [Доленко, 2021]. Малые инновационные предприятия являются ярким примером взаимодействия акторов в регионе. Так, государством были внесены изменения в Федеральный закон, позволяющие создавать бюджетным научным и образовательным учреждениям хозяйственные общества в целях практического применения результатов интеллектуальной деятельности. Таким образом, их открытие поспособствовало налаживанию эффективных механизмов взаимодействия между научно-образовательной и производственной сферой.

При всей теоретической изученности синергии акторов инновационной деятельности в регионе, на практике наблюдаются многочисленные проблемы при реализации их взаимодействия, что в итоге сказывается на экономических показателях региона [Капогузов, 2015; Коява, Новгородов, Смирнов, 2018]. Фактически, ни в одном регионе России нет «чистой» синергии между университетами, бизнесом и государством, можно отметить только регионы, которые занимают лидирующие позиции по уровню инновационного развития, что объясняется достаточно высоким уровнем предприятий инновационной направленности, которые стимулируются со стороны государства и большим количеством научно-образовательных учреждений.

Аргументируя свою точку зрения, приведем анализ позиций России в глобальном инновационном индексе по элементам за 2019–2020 гг., который демонстрирует сложившуюся в стране негативную ситуацию, касаемую инновационного развития страны (рис. 1).

Выделим главные факторы, тормозящие реализацию теории тройной спирали и четырёхзвенной спирали. Ключевыми проблемами являются: различные бюрократические процедуры, связанные с налаживанием схемы взаимодействия акторов: недостаточная правовая и нормативная база, которая бы всесторонне регламентировала непрерывный процесс инновационной деятельности; в ряде некоторых регионов могут возникнуть трудности в связи с территориальными особенностями.

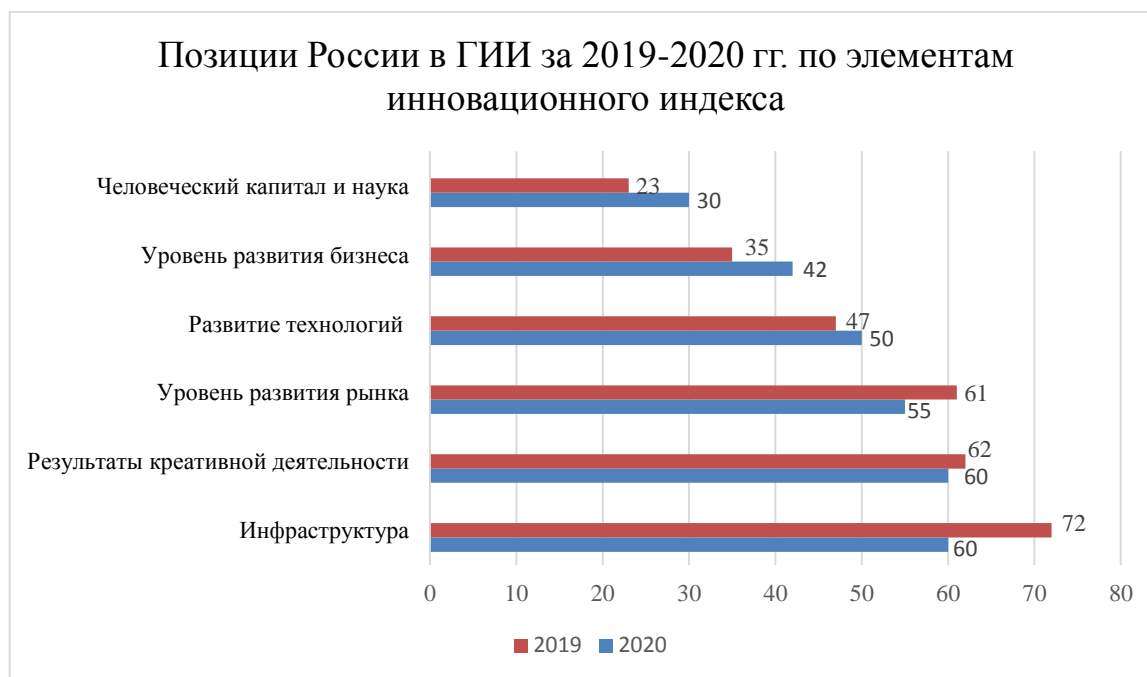


Рис.1. Позиции России в ГИИ за 2019–2020 гг. по элементам инновационного индекса [Global Innovation Index – 2020]

Fig. 1. Russia's positions in the GII for 2019–2020 on the elements of the innovation index [Global Innovation Index – 2020]

Для преодоления представленных выше проблем и налаживания системы механизмов по включению университетов в активное предпринимательское пространство был разработан ряд мероприятий [Миттельштрасс, 2013; Сотникова, 2020]:

— стимулирование со стороны государства инновационного сотрудничества, а также оказание мер по содействию взаимодействия акторов на различных уровнях;

— разработка чёткой схемы эффективного взаимодействия участников региональной инновационной системы, которая включает описание характеристик всех отражённых механизмов;

— для повышения уровня инвестиционной привлекательности региона необходимо увеличить количество технологических и инновационных площадок при содействии всех акторов;

— предоставление университетами высококвалифицированных потенциальных сотрудников по запросу региональных властей, которые обучались по определённому направлению подготовки для работы по приоритетным направлениям, необходимых для развития субъекта;

— введение научно-образовательных учреждений в сферу бизнеса посредством коммерциализации исследований и разработок, которые служат катализатором роста экономического и социального развития региона;

— привлечение в сферу науки и высшего образования большего количества высококвалифицированных кадров путём применения на государственном уровне стимулирующих мер по повышению их заработной платы;

— создание различных интернет-платформ, необходимых для обмена опытом, представления и дальнейшей реализации инновационных проектов, перерастающих в партнёрские программы по их внедрению участниками.

На данный момент времени ценность университетов в обществе стремительно снижается, что доказано многочисленными социальными опросами и подтверждается ежегодным уменьшением количества поступающих. Такую тенденцию необходимо остановить, поскольку это отразится как на уровнях экономических и социальных

показателей региона, так и может привести к деградации общества в целом, что существенно понизит уровень инновационного потенциала региона.

Заключение

Таким образом, вклад университетов в уровень инновационного потенциала региона является фундаментальным. Их активное влияние на региональную инновационную систему проявляется в получаемых экономических эффектах от реализации многих проектов, разработанных именно выпускниками вузов. Ключевым фактором является повышение качества человеческого капитала, которое отражается на показателях регионального развития как социально-экономического, так и инновационного характера. Университет также оказывает влияние на: потребности в высококвалифицированных кадрах, уровень экономического роста, занятость в регионе и социальную обстановку, состояние валового регионального продукта, сотрудничество государства, университетов и инновационных предприятий.

Список источников

1. Global Innovation Index – 2020. Режим доступа: <https://www.globalinnovation-index.org/Home> (дата обращения: 2 ноября 2021).

Список литературы

1. Абанкина И., Абанкина Т. 2013. Место вузов в новой экономике: стратегии и угрозы. Отечественные записки, 4: 171–180.
2. Аветисян П.С., Геворкян Н.М. 2020. Свободная образовательная среда – основа человеческого капитала и взаимосвязи основных социальных сфер. Экономика региона, 16, 2: 494–506.
3. Балмасова Т.А. 2016. «Третья миссия» университета – новый вектор развития? Высшее образование в России, 8–9: 48–55.
4. Балмасова Т.А. 2015. Третья миссия университета в условиях модернизации российского образования. Актуальные вопросы общественных наук: социология, политология, философия, история: сб. ст. по материалам V междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: СибАК: 36–41.
5. Безгодов Д.Н., Беляева О.И. 2016. Социокультурная миссия университета в контексте развития региона. Высшее образование в России, 6: 128–134.
6. Бобров Л.К., Гусев Ю.В., Смирнов С.А. 2012. НГУЭУ — экономический университет предпринимательского типа. Концепт развития. Сибирское Сколково: тройная спираль. Научно-образовательный симпозиум. Сборник экспертных материалов. Новосибирск, НГУЭУ: 95–113.
7. Доленко А.А. 2021. Проблемы управления инновационными предприятиями в условиях экономической нестабильности. Инновации и инвестиции, 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-upravleniya-innovatsionnymi-predpriyatiyami-v-usloviyah-ekonomicheskoy-nestabilnosti> (Дата обращения: 26.08.2021).
8. Ицковиц Г. 2010. Тройная спираль: университеты – предприятия – государство: инновации в действии. Государственная служба, 6: 58–59.
9. Капогузов Е.А. 2015. Трансформация роли субъектов производства общественного блага «высшее образование» в контексте российской реформы. Вестник Омского университета. Серия «Экономика», 2: 4–9.
10. Караяннис Э., Григорудис Э. 2016. Четырехзвенная спираль инноваций и «умная специализация»: производство знаний и национальная конкурентоспособность. Форсайт, 10, 1: 31–42.
11. Коява Л.В., Новгородов П.А., Смирнов С.А. 2018. Предпринимательский университет. Концепт. Современная конкуренция, 4–5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predprinimatelskiy-universitet-kontsept> (Дата обращения: 03.09.2021).
12. Кранзеева Е.А. 2017. Новые модели университетов: вклад в региональное развитие. Университетское управление: практика и анализ, 21, 5: 64–73.
13. Курбатова М.В., Каган Е.С. 2017. Роль университетов в формировании научно-технического потенциала и в развитии регионов Российской Федерации. Университетское



управление: практика и анализ, 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-universitetov-v-formirovanii-nauchno-tehnicheskogo-potentsiala-i-v-razvitiy-regionov-rossiyskoy-federatsii> (Дата обращения: 03.09.2021).

14. Маскайкин Е.П., Арцер Т.В. 2009. Инновационный потенциал региона: сущность, структура, методика оценки и направления развития. Вестник ЮУрГУ. Серия: Экономика и менеджмент, 21. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnyy-potentsial-regiona-suschnost-struktura-metodika-otsenki-i-napravleniya-razvitiya> (Дата обращения: 23.08.2021).

15. Миттельштрасс Ю. 2013. Будущее науки и настоящее университета. Логос, 1: 100–121.

16. Перфильева О.В. 2014. Университеты и региональное развитие: теоретический анализ и методология исследования. Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право, 14, 3: 479–488.

17. Сотникова А.А. 2020. Роль инновационного потенциала в реинтеграции региональных экономик Российской Федерации. Актуальные проблемы экономического развития: сб. докл. XI Междунар. заочной науч.-практ. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова: 127–130.

18. Фирсова А.А., Нархова А.А. 2014. Зарубежные подходы к оценке влияния университета на региональное развитие. Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право, 14, 2: 289–294.

19. Фирсова А.А., Новоселова М.А. Перфильева О.В. 2018. Роль университетов в инновационном развитии регионов: инструменты и методы оценки влияния. Саратов: Издательство Саратовского университета: 172.

20. Фирсова А.А., Челнокова О.Ю. 2014. Взаимодействие университета, бизнеса и государства как фактор развития региона в национальной инновационной системе. Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право, 14, 1: 26–31.

References

1. Abankina I. Abankina T. 2013. Mesto vuzov v novoy ekonomike: strategii i ugrozy [The place of universities in the new economy: strategies and threats]. Otechestvennyye zapiski, 4 (55): 171–180.

2. Avetisyan P.S. Gevorkyan N.M. 2020. Svobodnaya obrazovatel'naya sreda – osnova chelovecheskogo kapitala i vzaimosvyazi osnovnykh sotsialnykh sfer [A free educational environment is the basis of human capital and the interconnection of the main social spheres]. Ekonomika regiona, 16. 2: 494–506.

3. Balmasova T.A. 2016. «Tretia missiya» universiteta – novyy vektor razvitiya? [Is the university's "third mission" a new vector of development?]. Vyssheye obrazovaniye v Rossii. 8–9: 48–55.

4. Balmasova. T.A. 2015. Tretia missiya universiteta v usloviyakh modernizatsii rossiyskogo obrazovaniya [The third mission of the University in the context of modernization of Russian education]. Aktualnyye voprosy obshchestvennykh nauk: sotsiologiya. politologiya. filosofiya. istoriya: sb. st. po materialam V mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Novosibirsk : SibAK: 36–41.

5. Bezgodov D.N. Belyayeva O.I. 2016. Sotsiokulturnaya missiya universiteta v kontekste razvitiya regiona [Socio-cultural mission of the University in the context of regional development]. Vyssheye obrazovaniye v Rossii. 6: 128–134.

6. Bobrov L.K., Gusev Yu.V., Smirnov S.A. 2012. NGUEU — ekonomicheskii universitet predprinimatelskogo tipa. Kontsept razvitiya [NGUEU is an economic university of an entrepreneurial type. The concept of development. Siberian Skolkovo: Triple helix. Scientific and educational symposium]. Sibirskoye Skolkovo: troynaya spiral. Nauchno-obrazovatelnyy simpozium. Sbornik ekspertnykh materialov. Novosibirsk. NGUEU: 95–113.

7. Dolenko A.A. 2021. Problemy upravleniya innovatsionnymi predpriyatiyami v usloviyakh ekonomicheskoy nestabilnosti [Problems of management of innovative enterprises in conditions of economic instability]. Innovatsii i investitsii, 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-upravleniya-innovatsionnymi-predpriyatiyami-v-usloviyah-ekonomicheskoy-nestabilnosti> (26.08.2021).

8. Itskovits G. 2010. Troynaya spiral: universitety – predpriyatiya – gosudarstvo: innovatsii v deystvii [The triple helix: universities – enterprises – the state: innovations in action.] Tomsk: Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki: 238.

9. Kapoguzov. E. A. 2015. Transformatsiya roli subyektov proizvodstva obshchestvennogo blaga «vyssheye obrazovaniye» v kontekste rossiyskoy reform [Transformation of the role of subjects of the production of the public good "higher education" in the context of the Russian reform]. Vestnik Omskogo universiteta. Seriya «Ekonomika», 2: 4–9.

10. Karayannis E. Grigorudis E. 2016. Chetyrekhzvennaya spiral innovatsiy i «umnaya spetsializatsiya»: proizvodstvo znaniy i natsionalnaya konkurentosposobnost [The four-link spiral of innovation and "smart specialization": knowledge production and national competitiveness]. *Forsayt*, 10, 1: 31–42.
11. Koyava L.V. Novgorodov P.A. Smirnov S.A. 2018. Predprinimatelskiy universitet. Kontsept [Entrepreneurial University]. *Sovremennaya konkurentsya*, 4–5 (70–71). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predprinimatelskiy-universitet-kontsept> (03.09.2021). (in Russian)
12. Kranzeyeva E.A. 2017. Novyye modeli universitetov: vklad v regionalnoye razvitiye [New models of universities: contribution to regional development]. *Universitetskoye upravleniye: praktika i analiz*. 21, 5: 64–73. (in Russian)
13. Kurbatova. M.V., Kagan. E.S. 2017. Rol universitetov v formirovaniy nauchno-tehnicheskogo potentsiala i v razvitiy regionov rossiyskoy Federatsii [The role of universities in the formation of scientific and technical potential and in the development of the regions of the Russian Federation]. *Universitetskoye upravleniye: praktika i analiz*, 5 (111). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-universitetov-v-formirovaniy-nauchno-tehnicheskogo-potentsiala-i-v-razvitiy-regionov-rossiyskoy-federatsii> (03.09.2021).
14. Maskaykin E.P., Artser T.V. 2009. Innovatsionnyy potentsial regiona: sushchnost. struktura. metodika otsenki i napravleniya razvitiya [Innovative potential of the region: essence, structure, assessment methodology and development directions]. *Vestnik YuUrGU. Seriya: Ekonomika i menedzhment*, 21 (154). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnyy-potentsial-regiona-suschnost-struktura-metodika-otsenki-i-napravleniya-razvitiya> (23.08.2021).
15. Mittelshtrass Yu. 2013. Budushcheye nauki i nastoyashcheye universiteta [The future of science and the present of the University]. *Logos*, 1 (91): 100–121.
16. Perfilyeva. O.V. 2014. Universitety i regionalnoye razvitiye: teoreticheskiy analiz i metodologiya issledovaniya [Universities and regional development: theoretical analysis and research methodology]. *Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Ekonomika. Upravleniye. Pravo*, 14, 3: 479–488.
17. Sotnikova A.A. 2020. Rol innovatsionnogo potentsiala v reintegratsii regionalnykh ekonomik Rossiyskoy Federatsii [The role of innovation potential in the reintegration of regional economies of the Russian Federation]. *Aktualnyye problemy ekonomicheskogo razvitiya: sb. dokl. XI Mezhdunar. zaochnoy nauch.-prakt. konf. – Belgorod: Izd-vo BGTU im. V.G. Shukhova*: 127–130.
18. Firsova. A.A., Narkhova. A.A. 2014. Zarubezhnyye podkhody k otsenke vliyaniya universiteta na regionalnoye razvitiye [Foreign approaches to assessing the impact of the University on regional development]. *Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Ekonomika. Upravleniye. Pravo*, 14, 2: 289–294.
19. Firsova. A.A., Novoselova. M.A., Perfilyeva. O.V. 2018. Rol universitetov v innovatsionnom razvitiy regionov: instrumenty i metody otsenki vliyaniya [The role of universities in the innovative development of regions: tools and methods for assessing the impact]. *Saratov: Izdatelstvo Saratovskogo universiteta*. 171.
20. Firsova. A.A., Chelnokova. O.Yu. 2014. Vzaimodeystviye universiteta. biznesa i gosudarstva kak faktor razvitiya regiona v natsionalnoy innovatsionnoy sisteme [Interaction of the University, business and the state as a factor of regional development in the national innovation system]. *Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Ekonomika. Upravleniye. Pravo*, 14, 1: 26–31.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Иноземцева Анастасия Алексеевна, ассистент кафедры стратегического управления, аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Anastasia A. Inozemceva, Assistant of the Department of Strategic Management, PhD Student Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia



УДК 332.135

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-650-662

Формирование оптимального инвестиционного портфеля высокотехнологичных проектов в рамках научно- образовательного центра мирового уровня

Лавриненко Е.А., Бондарева Я.Ю.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308000, г. Белгород, ул. Победы, д. 85
E-mail: lavrinenko_ea@mail.ru, bondareva_ya@bsu.edu.ru

Аннотация. Формирование инвестиционного портфеля высокотехнологичных проектов в рамках научно-образовательного центра мирового уровня является важным этапом разработки инвестиционной стратегии региона, от которого зависит эффективность дальнейших управленческих решений, рост социально-экономических показателей и др. В статье представлена многометодная модель формирования оптимального (диверсифицированного) портфеля глобально-конкурентоспособных, высокотехнологичных инвестиционных проектов, предложенных для реализации в рамках научно-образовательных центров (НОЦ) мирового уровня. Предложена методика оценки степени влияния проектов на территориально-отраслевую социализацию региона. Разработана десятибалльная шкала оценки «возможностей» инвестиционного высокотехнологичного проекта. Предложена система оценки рисков инвестиционных проектов. Представлена модель концептуального инвестиционного высокотехнологичного проекта.

Ключевые слова: многометодная модель, территориально-отраслевая специализация, стейкхолдеры, оценка рисков, оценка возможностей.

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

Для цитирования: Лавриненко Е.А., Бондарева Я.Ю. 2021. Формирование оптимального инвестиционного портфеля высокотехнологичных проектов в рамках научно-образовательного центра мирового уровня. Экономика. Информатика. 48(4): 650–662. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-650-662.

Formation of an optimal investment portfolio of high-tech projects within the framework of a world-class scientific and educational center

Elena A. Lavrinenko, Yana Yu. Bondareva

Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod, 308000, Russia
E-mail: lavrinenko_ea@mail.ru, bondareva_ya@bsu.edu.ru

Abstract. The formation of an investment portfolio of high-tech projects within the framework of a world-class scientific and educational center is an important stage in the development of the investment strategy of the region, on which the effectiveness of further management decisions, the growth of socio-economic indicators, etc. depends. The article presents a multimode model for the formation of an optimal (diversified) portfolio of globally competitive, high-tech investment projects proposed for implementation within the framework of world-class scientific and educational centers (RECs). A methodology for assessing the degree of influence of projects on the territorial and sectoral specialization of the region is proposed. A ten-point scale for assessing the "capabilities" of an investment high-tech project has been developed. The system of risk assessment of investment projects is proposed. A model of a conceptual high-tech investment project is presented.

Keywords: multimethod model, territorial and industry specialization, stakeholders, risk assessment, opportunity assessment.

Acknowledgements: the research was carried out within the framework of the state assignment of National Research University "BelSU" FZWG-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: Lavrinenko E.A., Bondareva Ya.Yu. 2021. Formation of an optimal investment portfolio of high-tech projects within the framework of a world-class scientific and educational center. Economics. Information technologies. 48(4): 650–662 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-650-662.

Введение

В последнее время большинство российских регионов (субъектов Российской Федерации) рассматривают переход к инновационной цифровой экономике в качестве определяющего условия конкурентоспособного позиционирования как на российском, так и на мировом рынке. Правительством Российской Федерации для построения инновационной экономики поставлена задача по индустриализации страны, в рамках которой необходимо создавать и развивать высокотехнологичные и наукоемкие предприятия, отвечающие или превосходящие современные мировые стандарты и требования [Белякова, Фалалеев, Шишкина, 2014]. Переход к инновационному развитию предполагает формирование комплекса наукоемких отраслей и расширение позиций на мировых рынках высокотехнологичной продукции. Основной задачей регионов Российской Федерации является обеспечение мировой конкурентоспособности товаропроизводителей. Это объясняется тем, что освоение масштабов региональных рынков по высокотехнологичным товарам и услугам позволит обеспечить достаточно высокий статус в мировом масштабе [Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года, 2021]. На данном этапе существует необходимость структурирования множества комплексов наукоемких производств.

По данным Всемирного банка, динамика ежегодного российского экспорта высокотехнологичной продукции находилась в пределах около 3 млрд долл., что в пять раз меньше, чем аналогичный показатель Таиланда, в десять раз меньше, чем аналогичный показатель КНР, и в 14 раз меньше, чем аналогичный показатель Республики Корея [Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года, 2021]. Причем доля России к уровню экспорта США составляет около 2 %, Японии и Германии – 3 %, Франции и Великобритании – 7 % [Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года, 2021]. Для преодоления негативного разрыва в темпах роста экспорта высокотехнологичной продукции в России были сформированы национальные проекты на период 2019–2024 гг.

Создание научно-образовательных центров (НОЦ) мирового уровня является частью одного из приоритетных национальных проектов «Наука». На данный момент в Российской Федерации действует порядка 14 научно-образовательных центров мирового уровня. Деятельность данных центров базируется на интеграции образовательного, научно-исследовательского и технологического процессов. Необходимость их создания и развития объясняется возможностью генерации большего числа качественно новых научных идей в рамках центров и университетов, и доведения инновационных идей до рынка с помощью стейкхолдеров.

Объединение ведущих научных и образовательных организаций, а также предприятий и организаций реального сектора экономики, позволяет сформировать в рамках НОЦ мирового уровня инвестиционный портфель высокотехнологичных проектов.

В Методических рекомендациях [Министерство науки и высшего образования РФ, 2021] «портфель основных технологических проектов» представляет собой перечень технологических проектов, содержащий мероприятия и другие работы, включая образовательные программы,

объединенные с целью достижения более эффективного управления и повышения общей капитализации активов в логике управления инвестициями в рамках единой стратегии центра по направлениям. Портфель формируется по основным принципам эффективности управления и финансирования с распределением доходности и рисков.

Инвестиционный портфель формируется управляющим советом центра, при этом не имея чёткого механизма его формирования. Так же проблемой формирования инвестиционного портфеля в рамках НОЦ мирового уровня остается тот факт, что проекты, предлагаемые для рассмотрения в рамках НОЦ, являются «концептуальными», т. е. предлагаются на уровне инновационной идеи, что является проблематичным при оценке финансирования и рисков проекта.

В данной статье предлагается многометодная модель формирования оптимального инвестиционного портфеля высокотехнологичных проектов в рамках НОЦ мирового уровня, учитывая перспективную территориально-отраслевую специализацию региона.

Объекты и методы исследования

Формирование оптимального инвестиционного портфеля является одним из ключевых вопросов современных экономических систем. Основу данной области положили работы таких ученых, как Г. Марковиц [Симоненкова, 2017], У. Шарп [Уильям Ф. Шарп, Гордон, 2001], а также М. Скоулс и Ф. Блэк (Edwin and Gruber, 1997) [Буянова, Саркисов, 2016]. Данные работы представляли собой теоретическое обоснование существования оптимального портфеля и возможности его построения, однако ни в одной модели не указан универсальный набор факторов, при помощи которого можно составлять оптимальный инвестиционный портфель высокотехнологичных проектов в рамках научно-образовательного центра.

В работе используется имитационное моделирование, метод анализа иерархических структур, многометодная модель формирования инвестиционного проекта с использованием методов количественного и качественного анализа рисков [Ашинова, Чиназирова, Кадакоева, Гишева, 2020], возможностей.

Результаты и их обсуждение

Формируя оптимальный инвестиционный портфель высокотехнологичных проектов, в первую очередь управляющий совет [Министерство науки и высшего образования РФ, 2021] НОЦ мирового уровня, обращает внимание на то, подходит ли данный инновационный проект под перспективную территориально-отраслевую специализацию региона, так как реализация данных проектов позволяет повысить конкурентоспособность территории за счет привлечения природных ресурсов, благоприятных климатических условий и имеющегося у региона научного и кадрового потенциалов. В таблице 1 представлена территориально-отраслевая специализация регионов РФ.

Представленные в данной таблице регионы являются непосредственными участниками НОЦ мирового уровня. Участники НОЦ, реализующие высокотехнологичные проекты, должны быть готовы к тому, что время выхода на рынок напрямую связано с конкурентоспособностью, несоблюдение сроков не может быть фатальным, но это может повредить конкурентным позициям, поэтому особо важным является ресурсная готовность региона к реализации данных проектов [Грачева, Глебова, Мельникова, 2019].

Оценка высокотехнологичных инвестиционных проектов (ВИП) в соответствии с территориально-отраслевой специализацией региона является достаточно проблематичной в связи со спецификой данных инвестиционных проектов и сложностью их отнесения к той или иной отрасли специализации. Высокотехнологичные проекты могут быть как узконаправленными, так и иметь широкий спектр задействованных в реализации и дальнейшем производстве отраслей. Поэтому предлагается при формировании инвестиционного портфеля высокотехнологичных проектов оценивать уровень их влияния на региональное развитие (таблица 2).

Таблица 1
 Table 1

Территориально-отраслевая специализация регионов РФ
 Territorial and sectoral specialization of the regions of the Russian Federation

Регион	Отраслевая специализация
Белгородская область	Сельское хозяйство, животноводство, черная металлургия, пищевая промышленность, химическая промышленность, машиностроение и др.
Кемеровская область	Добыча полезных ископаемых, лесная промышленность и др.
Нижегородская область	Обработка древесины, производство бумаги, производство лекарственных препаратов и др.
Пермский край	Добыча полезных ископаемых, машиностроение, химическая промышленность и др.
Тюменская область	Нефтегазовая промышленность, производство металлических изделий, пищевая промышленность и др.
Самарская область	Производство автотранспортных средств, электронных изделий и т. д.
Тульская область	Машиностроение, военная техника, пищевая промышленность, химическая промышленность и др.
Мурманская область	Производство арктической техники, судостроительство, рыболовство и др.

*составлено автором

Таблица 2
 Table 2

Коэффициент влияния высокотехнологичного проекта на развитие приоритетных территориально-отраслевых специализаций региона
 The coefficient of influence of a high-tech project on the development of priority territorial and sectoral specializations of the region

Проекты	Коэффициент (К) влияния		
	Слабое (0–3)	Среднее (4–7)	Бесспорное (8–10)
$ВИП_1$	1	-	-
$ВИП_2$	-	5	-
...	-	-	9
$ВИП_n$	-	-	8

Степень влияния проекта на территориально-отраслевую специализацию региона:

$$S = \frac{Q_{rp}}{q_r} K$$

где, Q_{rp} – планируемый объем выпускаемой продукции после реализации проекта;
 q_r – объем валового выпуска r-отрасли специализации в регионе.

При оценке каждого предлагаемого проекта выстраивается рейтинг наиболее влиятельных проектов на социально-экономическое развитие региона.

При рассмотрении инвестиционного портфеля НОЦ мирового уровня «Инновационные решения в АПК» (Белгородская область) мы можем видеть направленность проектов на развитие агропромышленного комплекса, внедрение новых передовых технологий, селекционно-генетические исследования, здоровьесберегающие технологии. Направления деятельности НОЦ ежегодно расширяются, по отчёту управляющего совета за 2021 год, в портфель НОЦ «Инновационные решения в АПК» планируется включить проекты внедрения искусственного интеллекта в уходе за животными, реализация данного проекта зависит от высокого уровня кадрового потенциала НОЦ, но при реализации данный проект будет непосредственно оказывать высокую степень влияния на агропромышленный комплекс региона.



Рис. 1. Инвестиционный портфель НОЦ «Инновационные решения в АПК»

Fig. 1. Investment portfolio of REC "Innovative solutions in agriculture"

Проекты, представленные на рисунке 1, на данном этапе находятся не только на стадии концептуальной идеи, но некоторые из них уже проходят стадию реализации:

1. Проект «Разработка интеллектуальной роботизированной системы биобанка для хранения и транспортировки биологического материала»: сформирована база данных фактических условий хранения биообразцов; разработан алгоритм технологического процесса биобанкирования и др.

2. Проект «Создание высокотехнологичного крупномасштабного производства животного белка из личинок мух»: прошел стадию промышленной апробации.

3. Проект «Создание комплексной технологии переработки гипсосодержащих отходов промышленных предприятий»: в 2021 год оптимизированы параметры (температура, влажность исходного сырья) изготовления гипсовых вяжущих из гипсосодержащих отходов, установлена возможность использования цитрогипса и др.

4. Проект «Разработка технологии производства светорассеивающей добавки и текстуры (шагрень) для производства поликарбонатных светорассеивателей, применяемых в сфере растениеводства, животноводства и промышленном освещении»: подобраны технологические параметры оборудования по способу и очередности внесения компонентов смеси для осуществления компаундирования; подобраны светорассеивающие добавки на основе акриловых и стеклянных микросфер отечественного производства; произведена апробация эксплуатационных и оптических свойств светорассеивателей и др.

5. Проект «Производственный комплекс глубокой переработки растительных масел на основе инновационной технологии управляемого органического синтеза»: выполнены комплексный анализ технологической схемы получения алкидных смол, применяемых в химической и лакокрасочной промышленности, определены основные этапы технологического процесса получения алкидных смол, а также анализ основного технологического оборудования и определены технические параметры комплекса и др.

6. Проект «Ресурсо-энергосберегающая инновационная технология по комплексной переработке ТКО полного технологического цикла обращения с отходами, с получением различных видов товарной продукции и электрической энергии»: проведен комплекс теоретических, экспериментальных исследований, моделирование на созданных стендовых установках технологических процессов переработки полимерных и базальтовых волокнистых отходов для получения на производственной площадке ООО «ТК «Экотранс» композиционных смесей и изделий из них.

Успешная реализация высокотехнологичных проектов в рамках НОЦ мирового уровня является стимулом для дальнейшего привлечения региональных стейкхолдеров и формирования оптимального инвестиционного портфеля высокотехнологичных проектов.

Каждый высокотехнологичный проект обладает рядом возможностей, возникающих при его реализации. Выявление и оценивание наряду с рисками реализации проекта, его возможностей, позволит исключить проекты, не несущие для региона и страны в целом социально-экономического эффекта.

В таблице 3 представлена десятибалльная шкала оценивания «возможностей» инвестиционного высокотехнологичного проекта.

Оценивая каждый потенциальный для реализации в рамках НОЦ проект, эксперт должен опираться на представленные в таблице 3 критерии и присваивать балл, соответствующий степени значимости проекта. Наличие более трех критериев в одной степени значимости позволяет лицу, принимающему решение присвоить проекту данную степень от 1 до 10, соответственно.

Проекты, подходящие по критериям в шкале значений от 3 до 10, рекомендуются для принятия в инвестиционный портфель в рамках НОЦ мирового уровня.

Таблица 3
 Table 3

Десятибалльная шкала оценивания «возможностей» инвестиционного
 высокотехнологичного проекта
 A ten-point scale for assessing the "possibilities" of an investment high-tech project

Степень значимости	Критерии
1	Низкая экономическая и социальная значимость для региона; не предусмотрено создание новых рабочих мест; не соответствует территориально-отраслевой специализации региона; способствует загрязнению окружающей среды.
2	Средняя экономическая значимость для региона; отсутствие необходимости привлечения научного сообщества; не соответствует территориально-отраслевой специализации региона; продукт не способен конкурировать на региональном рынке с предыдущими менее высокотехнологичными аналогами.
3	Средняя экономическая значимость для региона; предусмотрена организация до 10 новых рабочих мест; продукт является востребованным на региональном рынке; соответствует экологическим нормам.
4	Способствует развитию инновационных технологий в регионе; продукт востребован на региональном рынке; организация до 50 новых рабочих мест; производство соответствует экологическим нормам.
5	Соответствует экономическим способностям региона; организация до 100 новых рабочих мест; привлечение ведущих учёных из других регионов; способствует межрегиональному взаимодействию; соответствует экологическим нормам.
6	Привлечение ведущих ученых России и зарубежных стран; более 200 новых рабочих мест; способствует межрегиональному взаимодействию; соответствует территориально-отраслевой специализации региона; отсутствует влияние на экологию.
7	Привлечение ведущих ученых России и зарубежных стран; более 300 новых рабочих мест; способствует межрегиональному взаимодействию; соответствует территориально-отраслевой специализации региона, отсутствует влияние на экологию.
8	Способствует снижению экологических загрязнений в регионе; повышает конкурентоспособность региона; соответствует территориально-отраслевой специализации региона; более 500 новых рабочих мест; способствует привлечению российских и зарубежных ведущих учёных; выполняет импортозамещающую функцию.
9	Способствует развитию научных лабораторий; соответствует территориально-отраслевой специализации региона; высокая экономическая и социальная значимость для региона; более 1000 новых рабочих мест; способствует повышению конкурентоспособности региона; способствует снижению экологических загрязнений в регионе.
10	Способствует крупным международным научным изысканиям; соответствует территориально-отраслевой специализации региона; компенсация стратегически важного продукта, на национальном рынке; повышает конкурентоспособность региона на мировом рынке.

*составлено автором

Моделируя «возможности» высокотехнологичных инвестиционных проектов (ВИП), мы прибегаем к методу анализа иерархических структур [Саати, 1993].

Каждый высокотехнологический проект обладает совокупностью возможностей (рис. 2).

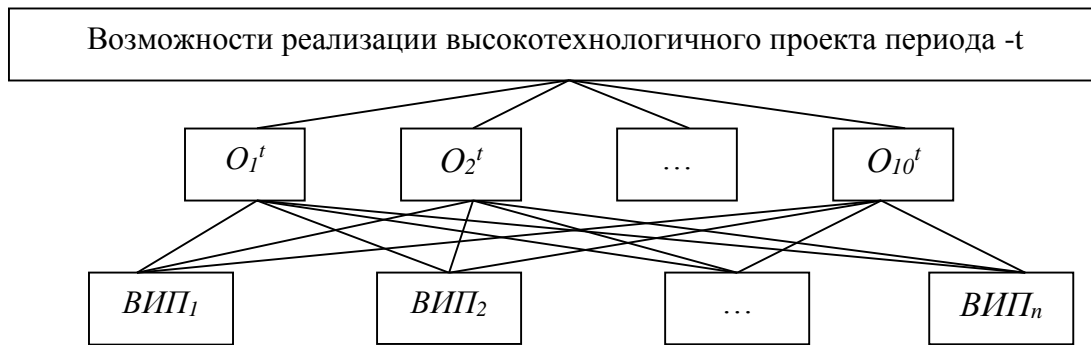


Рис. 2. Имитационная модель «Возможности» (составлено автором)
 Fig. 2. Simulation model of "Opportunities" (compiled by the author)

В качестве $O_1^t, O_2^t, \dots, O_n^t$ выступают «возможности», представленные в таблице 1. Возможности определяются с учётом временного периода проведения оценки $(-t)$. Так как при повторной оценке в ходе реализации проекта могут появиться новые «возможности».

Наличие «возможностей» определяется на всех стадиях реализации высокотехнологичного инвестиционного проекта, что позволяет выявить наиболее перспективные для региона проекты и определить рейтинг имеющихся для реализации в рамках НОЦ проектов.

Так как высокотехнологичные проекты являются высокорисковыми, возникает необходимость оценки не только «возможностей», но и «рисков» проекта. Имитационное моделирование рисков позволяет управляющему совету НОЦ заглянуть за горизонт событий, выявить и нивелировать возникновение критически опасных рисков реализации проектов, тем самым обезопасив финансирование не только со стороны государства, но и непосредственно бизнес структур, участвующих в реализации данного высокотехнологичного инвестиционного проекта (рис. 3).

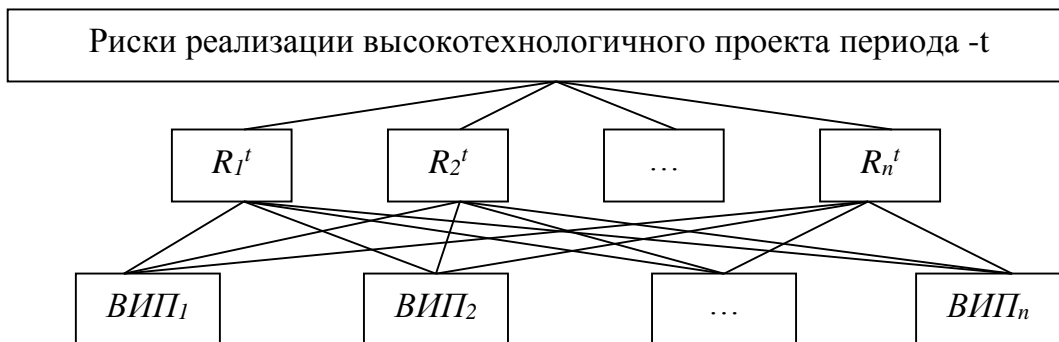


Рис. 3. Имитационная модель «Риски» (составлено автором)
 Fig. 3. Simulation model "Risks" (compiled by the author)

$R_1^t, R_2^t, \dots, R_n^t$ – это нежелательное событие, имеющее два взаимно независимых параметра:

- 1) вероятность его появления на заданном интервале времени;
- 2) наносимый ущерб в случае свершения этого события.

Поэтому при сравнении ВИП с позиции конкретного риска учитываем наносимый ущерб, а при сравнении самих рисков как оценочных критериев учитываем вероятность проявления конкретного риска.

Риски высокотехнологичного инвестиционного проекта представлены в таблице 4.



Таблица 4
 Table 4

Риски высокотехнологичного инвестиционного проекта (составлено авторами по [Головкова М.Г., Лашманова Н.В., 2016])
 Risks of a high-tech investment project (compiled by the authors according to [Golovkova M.G., Lashmanova N.V., 2016])

№	Риски	2-й уровень детализации рисков
1	Контрактные	невыполнения контрагентом по контракту своих обязательств; блокирования (фактической приостановки) контракта; коммерческой неэффективности контракта.
2	Программного обеспечения	непроверенные технологии; пользовательская неудовлетворенность; выбор неправильной платформы; неудовлетворенность пользовательских ожиданий;
3	Финансовые	инфляция; падение уровня цен; потери при реализации товара из-за изменения оценки их качества и потребительной стоимости; изменение курса валют.
4	Среды и инструментов проектирования и разработки	воздействия на цели проекта неблагоприятных событий; неточности проектных разработок; сложности реализации; влияние на внешнюю и внутреннюю среду предприятия.
5	Организационные	отсутствие внутреннего контроля; не разработанные документальные инструкции; ошибки кадрового управления.
6	Технологические	некорректности настроек алгоритмов; нарушения качества и целостности данных; нарушения в работе подрядчиков и партнеров; ошибки при разработке и обновлении ИТ-систем.
7	Качества	дефекты; риск ущерба здоровью; негативное влияние на экологию; невостребованность продукции.
8	Командно-лидерские	переоценка научного потенциала; остановка в развитии; одержимость идеей; отсутствия обратной связи; корыстного использования занимаемой должности.

Оценка рисков при реализации высокотехнологических проектов позволяет смягчать наносимый ущерб и отслеживать триггеры рисков.

В таблице 5 представлена комбинация последствий и вероятности рисков, что позволяет определить меру «переносимости» того или иного риска.

Таблица 5
 Table 5

Комбинации последствий и вероятности рисков
 Combinations of consequences and probability of risks

Последствия \ Вероятность	Вероятность		
	Низкая	Средняя	Высокая
Катастрофические	Б	А	А
Средние	В	Б	А
Незначительные	Г	Г	Б

На основе анализа возможных комбинаций последствий и вероятности рисков они могут быть ранжированы следующим образом:

- А – *непереносимый риск*, который должен быть однозначно исключен;
- Б – *риск, который трудно переносим*; от него следует избавиться как можно раньше;
- В – *переносимый риск*, от которого можно избавиться по мере возможности;
- Г – *приемлемый риск*.

В зависимости от конкретной ситуации оценка непереносимости рисков может быть различна: если для одних проектов неудачно проведенный эксперимент может означать «непереносимый риск», то для других проектов это является «приемлемым риском», так как могут появиться новые варианты развития событий.

Таким образом, концептуальный высокотехнологичный инвестиционный проект имеет следующий вид:

$$\text{ВИП} = \{(O_1^t, O_2^t, \dots, O_{10}^t)(R_1^t, R_2^t, \dots, R_8^t)(S)\}^{1T}.$$

Также при принятии инвестиционного проекта немаловажным является требуемый объем финансирования, имеющийся в регионе научный и кадровый потенциал.

На рисунке 4 представлена модель инвестиционного портфеля с учётом требуемого объема финансирования, научного и кадрового потенциала, имеющихся у концептуального проекта «возможностей» и рисков.

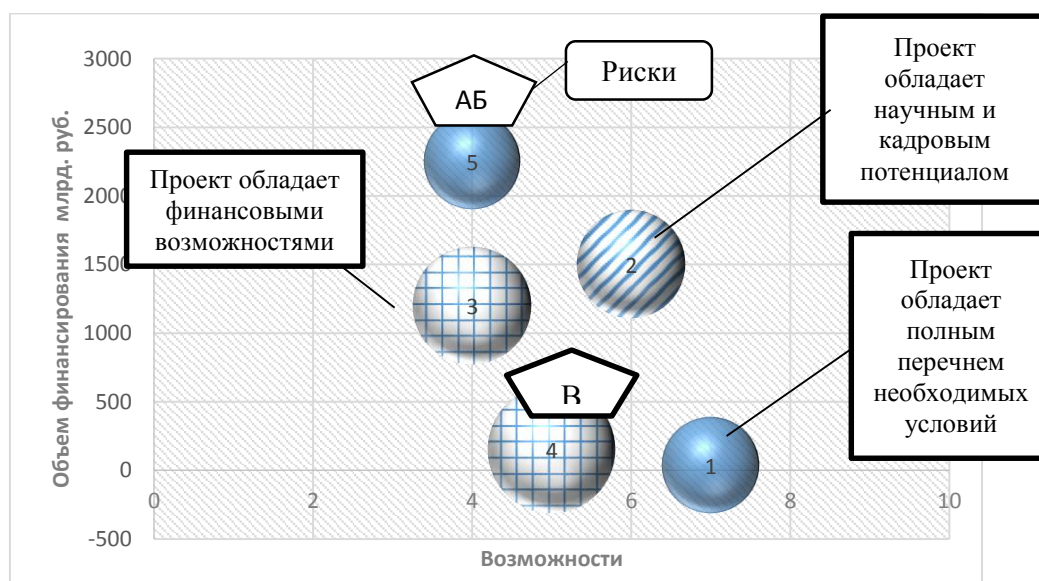


Рис. 4. Графическая интерпретация модели формирования оптимального инвестиционного портфеля высокотехнологичных проектов в рамках НОЦ мирового уровня

Fig. 4. Graphical interpretation of the model for the formation of an optimal investment portfolio of high-tech projects within the framework of a world-class REC

Как видно на рисунке 4, проекты 1 и 5 обладают всеми необходимыми условиями реализации и находятся в диапазоне от 4 до 7 по десятибалльной шкале оценивания «возможностей» инвестиционного высокотехнологичного проекта, но при этом проект 5 является высокорисковым, так как комбинация последствий и вероятности рисков АБ указывает на наличие труднопереносимых рисков. Проекты 3 и 4 обладают финансовыми возможностями для реализации, находятся в диапазоне от 4 до 5, что позволяет данным проектам войти в инвестиционный портфель в рамках НОЦ мирового уровня и, прибегая к возможности межрегионального взаимодействия, с учётом привлечения научных кадров и других высококвалифицированных специалистов, быть реализованными. Проект 2 обладает научным и кадровым потенциалом, находится в диапазоне 6–7, что характеризует данный проект как перспективный для социально-экономического развития региона.

Многометодный подход при формировании инвестиционного портфеля высокотехнологических проектов позволяет выявить наиболее перспективные проекты в соответствии с территориально-отраслевой специализацией, при этом определив «возможности» данного проекта, полезные и важные для региона и страны в целом, и предотвратить риски (рис. 5).

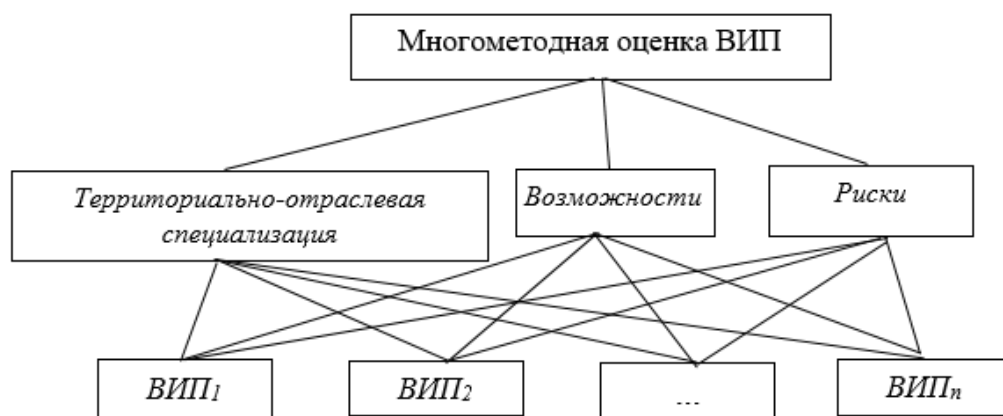


Рис. 5. Модель формирования инвестиционного портфеля высокотехнологичных проектов в рамках НОЦ мирового уровня

Fig. 5. A model for the formation of an investment portfolio of high-tech projects within the framework of a world-class REC

Перед управляющим советом НОЦ стоит сложная задача выбора проектов, реализация которых будет способствовать повышению конкурентоспособности региона, поэтому многометодный подход при формировании инвестиционного портфеля высокотехнологичных проектов является обоснованным в связи с важностью реализации данных проектов не только для региона, но и для страны в целом.

Заключение

Присутствие эффективного взаимодействия между наукой, государством и бизнесом позволит обеспечить обновление технической и технологической базы производства, снизить себестоимость, осваивать и выпускать новую конкурентоспособную продукцию, проникать на мировые рынки товаров и услуг. Поэтому немаловажным в процессе повышения инновационной активности России является решение вопросов, связанных с развитием НОЦ мирового уровня.

Региональные власти, основываясь на территориально-отраслевой специализации, должны выявлять перспективные высокотехнологичные проекты, способствующие крупным международным научным изысканиям, способные компенсировать стратегически важный продукт на национальном рынке, повышать конкурентоспособность региона на мировом рынке.

Многометодная модель формирования оптимального инвестиционного портфеля высокотехнологичных проектов в рамках НОЦ мирового уровня позволяет выявить степень влияния на территориально-отраслевую специализацию региона, «возможности» и «риски» высокотехнологичных инвестиционных проектов еще на стадии «концептуального проекта». Инвестиционный портфель в рамках НОЦ мирового уровня должен с достаточно частой периодичностью пересматриваться и дополняться новыми проектами в связи с высокими темпами инновационного развития России.

Список источников

1. Методические рекомендации по формированию программ деятельности научно-образовательных центров мирового уровня (утв. Министерством науки и высшего образования РФ 26 апреля 2021 г.). URL: https://minobrnauki.gov.ru/documents/?ELEMENT_ID=33259 (дата обращения: 01.10. 2021).

2. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. 2021. Электронный ресурс. URL: http://www.economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/prognoz/doc20130325_06 (дата обращения: 01.10. 2021).

3. Саати Т. 1993. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Томас Саати, пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. Радио и связь, 278.
4. Уильям Ф. Шарп, Гордон Дж. 2001. Инвестиции. Учебник, 1035.

Список литературы

1. Ашинова М.К., Чиназирова С.К., Кадакоева Г.В., Гишева С.Ш. 2020. Методы оценки рисков инновационных проектов. *The Scientific Heritage*, 54–7: 13–17.
2. Белякова, Г.Я., Фалалеев, А.Н., Шишкина, Н.А. 2014. Факторы, оказывающие влияние на качество инновационно-инвестиционных проектов создания высокотехнологичных производств. *Сибирский аэрокосмический журнал*, 5 (57): 221–226.
3. Буянова Е.А., Саркисов А.Р. 2016. Формирование инвестиционного портфеля на российском рынке акций при помощи непараметрического метода – дерева решений. *Корпоративные финансы*, 10 (1): 46–58.
4. Головкова М.Г., Лашманова Н.В. 2016. Риски реализации инновационных проектов на предприятиях ВТОЭ. *Инновации*, 6 (212): 119–123.
5. Грачева О.В., Глебова О.В., Мельникова О.Ю. 2019. Отличительные особенности и классификация высокотехнологичных проектов разработки и производства продукции гражданского назначения. *Вопросы инновационной экономики*, 9 (3): 1067–1076.
6. Носов А.Л. 2018. Стратегия повышения конкурентоспособности региона. Россия: тенденции и перспективы развития, 13–2: 147–150.
7. Симоненкова Е.В. 2017. Формирование инвестиционного портфеля по модели Марковица. *Хроноэкономика*, 6 (8): 86–91.

References

1. Ashinova M.K., Chinazova S.K., Kadakoeva G.V., Gisheva S.Sh. 2020. Metody ocenki riskov innovacionnyh proektov. [Methods of risk assessment of innovative projects]. *The Scientific Heritage*, 54–7: 13–17.
2. Belyakova, G.Ya., Falaleev, A.N., Shishkina, N.A. 2014. Faktory, okazyvayushchie vliyanie na kachestvo innovacionno-investicionnyh proektov sozdaniya vysokotekhnologichnyh proizvodstv. [Factors influencing the quality of innovation and investment projects for the creation of high-tech industries]. *Sibirskij aerokosmicheskij zhurnal [Siberian Aerospace Magazine]*, 5 (57): 221–226.
3. Buyanova E.A., Sarkisov A.R. 2016. Formirovanie investicionnogo portfelya na rossijskom rynke akcij pri pomoshchi neparametricheskogo metoda - dereva reshenij. [Formation of an investment portfolio on the Russian stock market using a nonparametric method – a decision tree]. *Korporativnye finansy [Corporate Finance]*, 10(1): 46–58.
4. Golovkova M.G., Lashmanova N.V. 2016. Riski realizacii innovacionnyh proektov na predpriyatiyah vtoe [The risks of implementing innovative projects at the VTE enterprises]. *Innovacii [Innovations]*, 6 (212): 119–123.
5. Gracheva O.V., Glebova O.V., Melnikova O.Yu. 2019. Otlichitel'nye osobennosti i klassifikaciya vysokotekhnologichnyh proektov razrabotki i proizvodstva produkcii grazhdanskogo naznacheniya. [Distinctive features and classification of high-tech projects for the development and production of civil products]. *Voprosy innovacionnoj ekonomiki [Issues of innovative economy]*, 9 (3): 1067–1076.
6. Nosov A.L. 2018. Strategiya povysheniya konkurentosposobnosti regiona. Rossiya: tendencii i perspektivy razvitiya [Strategy of increasing the competitiveness of the region. Russia: Trends and Prospects of Development], 13–2: 147–150.
7. Simonenkova E.V. 2017. Formirovanie investicionnogo portfelya po modeli Markovica. [Formation of an investment portfolio according to the Markowitz model]. *Hronoekonomika [Chronoeconomics]*, 6 (8): 86–91.

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

Лавриненко Елена Александровна, кандидат экономических наук, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Бондарева Яна Юрьевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Yana Yu. Bondareva, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 338

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-663-678

Методический подход к оценке эффективности инжиниринговых проектов внедрения киберфизических систем в деятельность промышленных предприятий

Любименко Д.А., Вайсман Е.Д.

Южно-Уральский государственный университет (НИУ),
Россия, 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76
E-mail: lyubimenko.da@mail.ru, vaismaned@susu.ru

Аннотация. В современных условиях цифровизация, являясь драйвером прогресса, влияет на все сферы в обществе, в том числе и на экономику. В связи с этим особый интерес представляют собой инжиниринговые цифровые проекты, к которым относят киберфизические системы. Несмотря на активное внедрение в сфере промышленности, такие проекты малоизучены. Целью данного исследования является разработка методического подхода к оценке эффективности киберфизических систем. В результате исследования проблемы были проанализированы различные виды киберфизических систем, определены их особенности и выполнена классификация. С учетом выявленной специфики проектов предложен методический подход к оценке их эффективности с помощью показателя ОЕЕ. Результаты исследования открывают новое теоретическое направление в исследовании проблемы цифровых инвестиционных проектов.

Ключевые слова: цифровизация, инжиниринг, киберфизические системы, ОЕЕ, методика UNIDO, доступность, производительность, качество, эффективность работы оператора.

Для цитирования: Любименко Д.А., Вайсман Е.Д. 2021. Методический подход к оценке эффективности инжиниринговых проектов внедрения киберфизических систем в деятельность промышленных предприятий. Экономика. Информатика. 48(4): 663–678. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-663-678.

Methodological approach to assessing the effectiveness of engineering projects for the implementation of cyber-physical systems in the activities of industrial enterprises

Darya A. Lyubimenko, Elena D. Vaisman

South Ural State University (National Research University)
76 Lenin prospekt, Chelyabinsk, Russia, 454080
E-mail: lyubimenko.da@mail.ru, vaismaned@susu.ru

Abstract. In modern conditions, digitalization, being a driver of progress, affects all spheres in society, including the economy. In this regard, engineering digital projects, which include cyber-physical systems, are of particular interest. They combine software and hardware. Even though such projects are being actively implemented in industry, they are poorly studied, their implementation requires significant resources, and there is no single approach to the analysis of their effectiveness. In this regard, the issue that became the goal of this study is relevant - the development of a methodological approach to assessing the effectiveness of cyber-physical systems. As a result of the study of the problem, various types of cyber-physical systems were analyzed, their features were determined, and a classification was made. The existing methods for assessing the effectiveness of digital investment projects are considered, none of which considers the specifics of cyber-physical systems. A unified methodological approach to assessing their effectiveness using the OEE indicator is proposed. The results of the study open a new theoretical direction in the study of the problem of digital investment projects.



Keywords: digitalization, engineering, cyber-physical system, OEE, UNIDO method, availability, productivity, quality, operator efficiency.

For citation: Lyubimenko D.A, Vaisman E.D. 2021. Methodological approach to assessing the effectiveness of engineering projects for the implementation of cyber-physical systems in the activities of industrial enterprises. Economics. Information technologies. 48(4): 663–678 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-663-678.

Введение

Цифровизация коренным образом меняет жизнь человека во всех сферах. Она является драйвером прогресса, который развивается все более стремительно. Сегодня скорость проникновения новых технологий в человеческую жизнь стала феноменальной. Например, в 1992 г. была отправлена первая смс, а к 2015 г. каждую секунду в мире отправлялись двадцать тысяч сообщений [Круглов]. Аналогичная тенденция наблюдается не только в сфере программного обеспечения (неосязаемых технологий), но касается также физических устройств. Так, в январе 2007 года на рынке появился первый iPhone, а к 2016 г. обладателем телефона Apple стал уже каждый восьмой житель планеты [Архангельская и др.].

Существует мнение, что выпуск iPhone был технологическим прорывом. Однако это не совсем так. Создание первого телефона корпорации Apple является скорее инжинирингом. Термин характеризует разработку новых продуктов, в которой применяются как уже имеющиеся, так и новые технологии. Стив Джобс в iPhone объединил сенсорный дисплей, Интернет, GPS, протоколы TCP/IP, которые уже существовали до него. Искусство инжиниринга при этом заключается в умении разработчика удовлетворить потенциальные потребности рынка, которые еще даже не известны потребителям, и создать качественный продукт с высокой добавленной стоимостью. При этом его основой является существующая технологическая база.

В условиях производственного предприятия инжиниринг приобретает иные масштабы и из продуктового превращается в промышленный. Он предполагает создание производственных цехов, заводов и соответствующей инфраструктуры. Усложнение технологий и приобретение создаваемыми объектами комплексного характера стимулировало проинжиниринг развиваться и расширять сферу своего влияния. На сегодняшний день он подразумевает не только создание концепции и проекта цеха, фабрики или завода, но и сопровождение реализуемого цифрового инвестиционного проекта. В промышленности искусство инжиниринга заключается в способности осуществить модернизацию производства любым доступным способом.

Например, компания решает выпускать новый продукт, установив современное оборудование. В этом случае денежный поток будет направлен на покупку оборудования, реконструкцию производственной площадки и формирование необходимых инженерных коммуникаций. Прежде всего следует произвести аудит всех процессов на предприятии, чтобы определить, как новая технология будет реализована в условиях уже существующей системы. После этого формируется бюджет на внедрение оборудования. На этом этапе зачастую становится очевидно: финансирование проекта не соответствует возможностям компании. Наиболее простым решением было бы отказаться от модернизации, но с точки зрения инжиниринга выгоднее взять за основу уже имеющееся оборудование и на нем реализовывать новую технологию. Таким образом, переналадка производственных линий позволит выпускать новый продукт, избежав дополнительных капитальных вложений.

Этот подход широко используется при реализации отдельных цифровых решений в промышленности. Комплексная модернизация производства в связи с высокой стоимостью недоступна многим предприятиям, но преобразования, предполагающие установку новых программных продуктов или устройств на имеющееся оборудование, уже идут. Описанные процессы свидетельствуют о приближении к концепции «Индустрия 4.0». Интернет вещей,

искусственный интеллект, Big Data, нейронные сети – все это уже применяется компаниями в своей деятельности. Технологии пока разрозненны, хоть и демонстрируют отличные результаты. По этой причине пока преждевременно говорить о становлении того типа промышленности, который предполагает концепция «Индустрия 4.0» [Клейменова, 2021].

Однако, чтобы успешно преодолеть путь к ней, требуется инжиниринг, объединяющий существующие технологические и цифровые решения в единый комплекс – киберфизическую систему. Она представляет собой особый вид цифровых инвестиционных проектов.

Формирование методического подхода к оценке эффективности киберфизических систем

Термин «киберфизическая система» был введен в 2006 году Хелен Гилл из Национального научного фонда США для обозначения интеграции вычислений с физическими процессами и произошел от слова «кибернетика», который, в свою очередь, своим появлением обязан Норберту Винеру, американскому математику, оказавшему огромное влияние на развитие теории систем управления [Lee, Seshia, 2017]. Во время Второй мировой войны Винер изобрел и применил на практике технологию автоматического прицеливания и стрельбы из зенитных орудий. В ней были реализованы принципы аналогичные тем, которые сегодня используются в компьютерных системах управления с обратной связью. Винер считал, что кибернетика объединяет контроль и коммуникации [Lee, Seshia, 2017].

На сегодняшний день исследователи пока не пришли к единому мнению в вопросе определения термина киберфизической системы (cyber-physical system, CPS). По мнению исследовательской группы киберфизических систем Мельбурнского королевского технологического института под руководством профессора Роберто Сабатини, киберфизическая система объединяет из различных научных теорий и инженерных дисциплин, в том числе, кибернетики, встроенные системы, распределенное управление, сенсорные сети, теорию управления и системную инженерию. Благодаря интеграции физических и цифровых компонентов максимизируется синергетический эффект, что позволяет добиться лучших результатов с точки зрения производительности и стоимости конечного продукта. Роберто Сабатини также выделяет три фундаментальных компонента, при которых возможно функционирование CPS: связь, управление, вычисление [What are cyber-physical systems?].

В наиболее общем случае под киберфизической системой понимают комплексную систему вычислительных и физических элементов, получающих данные из внешней среды и применяющих их в целях оптимизации производственных и управленческих процессов [Руководство по цифровой трансформации производственных предприятий, 2019]. CPS объединяет программное обеспечение и аппаратное обеспечение (датчики, процессоры, коммуникативные технологии) и способна автономно обмениваться информацией с другими системами и выполнять определенные функции. Она подразумевает взаимодействие с человеком или работает самостоятельно [Cyber-Physical System. Driving force for innovation in mobility, healthy, energy and production, 2011].

В других источниках киберфизическую систему рассматривают как информационно-технологическую концепцию, которая объединила кибернетику, механотронику, теорию и практику управления процессами [Трошин, Пискайкин, 2021]. Преимущество CPS заключается в возможности принимать более точные и объективные решения, минимизировав влияние человеческого фактора.

Рассмотрим классификацию киберфизических систем (табл. 1).



Таблица 1
 Table 1

Классификация киберфизических систем (КФС)
 The cyber-physical systems classification (CPS)

Признак классификации	Типы киберфизических систем					
	1	2		3		4
Способность к самостоятельному функционированию [What are cyber-physical systems?]	Автономные киберфизические системы		Полуавтономные киберфизические системы		Киберфизико-человеческие системы	
Уровень интеграции во внешние системы [Cardin, 2019]	Киберфизическая система с интеграцией первого уровня	Киберфизическая система с интеграцией второго уровня	Киберфизическая система с интеграцией третьего уровня	Киберфизическая система с интеграцией четвертого уровня	Киберфизическая система с интеграцией пятого уровня	
Количество контуров управления [Zegzhda et al., 2017]	Один контур управления			Несколько контуров управления		
Структура контуров управления [Zegzhda et al., 2017]	Одноуровневые			Иерархические		
Количественный состав элементов в составе киберфизической системы [Zegzhda et al., 2017]	Фиксированный			Переменный		
Качественный состав элементов киберфизической системы [Zegzhda et al., 2017]	Однородные			Гетерогенные		
Динамика поведения [Zegzhda et al., 2017]	Адаптивные			Самоорганизующиеся		
Географическая распределенность [Zegzhda et al., 2017]	Централизованные			Распределенные		

Окончание табл. 1

1	2				3		
Связь с внешней средой [Zegzhda et al., 2017]	Открытые				Закрытые		
Принадлежность к отрасли [Громаков, Сидорова, 2021]	Промышленность	Сельское хозяйство	Медицина	Энергетика	Транспорт	Образование и т.д.	
Масштаб [Громаков, Сидорова, 2021]	Отдельные устройства (беспилотный транспорт)		«Умные» дома	«Умные» фабрики (SM)		Умные сети (Интернет вещей)	
Специфика инжиниринга	Новое оборудование + программный продукт			Имеющееся оборудование + новый программный продукт			

В зависимости от способности к самостоятельному функционированию Роберто Сабатини выделяет следующие типы CPS [What are cyber-physical systems?]:

- 1) Автономные киберфизические системы способны самостоятельно принимать решения и не зависят от человека.
- 2) Полуавтономные киберфизические системы работают независимо только в определенных условиях. Например, оператор задает траекторию движения дрона, что позволит ему обогнуть препятствия, а значит, самостоятельно совершать полет, без ручного управления.

3) Киберфизико-человеческие системы – это системы, требующие при необходимости вмешательства человека.

Одна из особенностей CPS – подключение к сети. В зависимости от уровня интеграции вовне различают следующие типы [Cardin, 2019]:

- 1) Киберфизическая система с интеграцией первого уровня использует готовые данные датчиков сети.
- 2) Киберфизическая система с интеграцией второго уровня использует данные датчиков, обрабатывает и агрегирует их.
- 3) Киберфизическая система с интеграцией третьего уровня распознает другие киберфизические системы и взаимодействует с ними для обогащения собственной обработки данных.
- 4) Киберфизическая система с интеграцией четвертого уровня обрабатывает данные сети и использует их для диагностики своего состояния.
- 5) Киберфизическая система с интеграцией пятого уровня способна самостоятельно адаптироваться к изменениям, регулировать свои параметры в автономном режиме.

В соответствии со спецификой инжиниринга классификация CPS приобретает следующий вид [Zegzhda et al., 2017]:

- 1) Киберфизические системы, при создании которых использовалось новое оборудование и программный продукт;
- 2) Киберфизические системы, созданные на базе уже имеющегося оборудования и нового программного продукта.

Киберфизические системы могут иметь один или несколько контуров управления. Каждый из них представляет собой совокупность датчиков, управляющих компьютеров и исполнительных органов. Структура контуров управления может быть одноуровневой или иерархической [Zegzhda et al., 2017]. В зависимости от этого выделяют две группы CPS.

Еще одним принципом классификации киберфизических систем является количественный состав элементов в их составе [Zegzhda et al., 2017]. Он может быть постоянным или переменным.

В зависимости от качественного состава элементов выделяют [Zegzhda et al., 2017]:

- 1) однородные киберфизические системы, т. е. системы, состоящие из одинаковых по своим характеристикам и свойствам элементов;
- 2) гетерогенные киберфизические системы, т. е. системы, состоящие из разнородных компонентов, отличающихся своими свойствами и характеристиками.

CPS отличаются динамикой поведения. Так, адаптивные киберфизические системы подстраиваются под среду, способны прогнозировать внешние изменения. В то же время самоорганизующиеся киберфизические системы совершенствуют собственную организацию как под воздействием внешних факторов, так и в случае стабильной работы [Zegzhda et al., 2017].

В соответствии с географической распределенностью киберфизические системы бывают централизованными (системы, расположенные в рамках одного физического объекта, например, на одном предприятии, в одном здании) и распределенными (системы, расположенные на нескольких связанных между собой объектах) [Zegzhda et al., 2017].

Одним из классификационных признаков стало наличие с внешней средой. Для открытых киберфизических систем необходим Интернет, а для закрытых достаточно внутренней сети [Zegzhda et al., 2017].

Киберфизические системы могут быть классифицированы в зависимости от отрасли, в которой они функционируют: в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, энергетике и т. д. Масштаб может варьироваться от отдельных устройств (беспилотный транспорт) и «умных» домов до «умных» фабрик (SM) и умных сетей (Интернет вещей) [Громаков, Сидорова, 2021].

Предлагаем новый классификационный признак – специфика инжиниринга. В соответствии с ним в первую группу включены киберфизические системы, при создании которых использовалось новое оборудование и программный продукт, а во вторую – созданные на базе уже имеющегося оборудования и нового программного продукта.

Представленная классификация свидетельствует о многообразии киберфизических систем и об их сложной структуре, предполагающей объединение программного и аппаратного обеспечения под управлением высококвалифицированных кадров. Степень участия человека в работе CPS при этом отличается в каждом конкретном случае. При анализе киберфизических цифровых проектов следует учесть этот фактор.

Внедрение киберфизических систем в промышленности является трудоемким и затратным процессом. В связи с этим требуется предварительная оценка эффективности реализации такого проекта. Наиболее известным методом анализа инвестиционных проектов является Модель ООН по промышленному развитию UNIDO [Behrens, Hawranek, 1991]. Подход считается универсальным, а в его основе лежит модель «затраты-выгоды». UNIDO позволяет оценить количественно отдачу от инвестиционных вложений, выявить срок их окупаемости, используя такие показатели, как, например, NPV и IRR. Большинство современных методик, базируется на UNIDO. По мнению исследователей, существенным недостатком подхода является то, что он упускает из вида риски инвестирования. Кроме того, UNIDO ориентирован на долгосрочную перспективу, а в условиях цифровизации сроки реализации проектов сжатые и требуют оперативного мониторинга.

Отечественным аналогом этого международного метода являются «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов» (утв. Минэкономики РФ, Минфином РФ, Госстроем РФ 21.06.1999 N ВК 477) [Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов, 1999]. Суть этого подхода заключается в применении финансовых показателей UNIDO. Их расчет осуществляется с помощью прогнозных значений денежного потока. В итоге формируется система из таких показателей, как чистый дисконтированный доход, срок окупаемости проекта, внутренняя норма доходности и индекс доходности/прибыльности. Методика считается универсальной, поэтому применима для цифровых инвестиционных проектов, однако, на наш взгляд, как и

UNIDO, она, во-первых, упускает из виду риски, а во-вторых, не учитывает специфику работы киберфизической системы с точки зрения оценки эффективности работы аппаратного обеспечения. В результате, в ряде случаев, опираясь исключительно на оценку дисконтированных денежных потоков, можно отказаться от проектов, направленных на рост эффективности использования оборудования.

В части анализа нефизической составляющей CPS возможен укрупненный анализ рентабельности затрат и экспертная оценка качественных характеристик цифрового продукта. Кроме того, программное обеспечение неразрывно связано с аппаратным в составе киберфизической системы. Эффективность работы оборудования определяется одновременно со связанным с ним эффектом от цифрового решения. В связи с этим считаем целесообразным сосредоточиться на анализе физической части CPS.

При реализации цифрового инвестиционного проекта она является наиболее затратной, и, что примечательно, финансовые вложения требуются не только для приобретения непосредственно самого оборудования, но и для подготовки инженерной инфраструктуры и производственной площадки. В связи с этим нужно четко понимать, какого результата позволит достичь модернизация. Причем в случае с аппаратной составляющей киберфизической системы в промышленности анализ должен быть комплексным и учитывать не только абсолютные значения стоимости или количества выпущенной продукции, но и ее качество, эффективность использования временных и трудовых ресурсов.

Анализ существующих на данный момент методик оценки эффективности работы оборудования показал, что выявленным нами требованиям в наибольшей степени соответствует показатель ОЕЕ (Overall Equipment Effectiveness). В соответствии с ГОСТ Р ИСО 22400-2—2019 ОЕЕ – это индекс, характеризующий «эксплуатационную готовность рабочего элемента, его эффективность и коэффициент готовой продукции, объединенные в один показатель» [ГОСТ Р ИСО 22400-2-2019 Системы промышленной автоматизации и интеграция, 2019]. Единица изменения показателя – проценты. В классическом варианте формула расчета ОЕЕ выглядит следующим образом:

$$\text{ОЕЕ} = Д * П * К, \quad (1)$$

где ОЕЕ – индекс общей эффективности использования оборудования, %;

Д – доступность или эксплуатационная готовность оборудования – это объем потерь из-за простоя. Она характеризует пропорцию времени между временем фактической работы оборудования и временем его загрузки и рассчитывается как соотношение фактического времени работы к времени загрузки оборудования в часах [ГОСТ Р ИСО 22400-2-2019 Системы промышленной автоматизации и интеграция, 2019];

П – производительность или показатель эффективности деятельности – это коэффициент эффективности производственной деятельности, связывающий чистое рабочее время и общее время работы оборудования. Он позволяет выяснить, присутствует ли потеря производительности производства. Коэффициент эффективности производственной деятельности рассчитывается как отношение чистого рабочего времени к общему времени работы в часах;

К – качество, которое оцифровывается через коэффициент готовой продукции. Он показывает долю качественной продукции, которую удалось произвести, и рассчитывается как отношение качественной продукции к общему объему продукции в натуральных единицах или стоимостной оценке.

Таким образом, в соответствии с классической формулой ОЕЕ анализирует различные характеристики работы оборудования, используя метрики простоев, изменения скорости работы и изменение качества результата.

Существует еще один вариант расчета ОЕЕ:



$$OEE = \frac{AT}{TPR \cdot SOT} \text{ [Расчет общей эффективности оборудования (OEE)],} \quad (2)$$

где OEE – индекс общей эффективности использования оборудования, %;

AT (Actual Throughput), фактическая пропускная способность – объем качественной продукции;

TPR (Theoretical Processing Rate), теоретическая скорость обработки – скорость обработки в узком месте системы при наличии идеальных условий;

SOT (Scheduled Operating Time), расчетное время производства – количество, запланированное системой, времени для работы, включая производство и обслуживание.

Представляется, что первый подход к оценке эффективности работы оборудования через показатель OEE более приемлем, поскольку в такой записи более четко просматриваются ключевые факторы, определяющие эффективность и, следовательно, появляется возможность проведения факторного анализа, по результатам которого могут быть приняты соответствующие управленческие решения. Мы проанализировали и систематизировали факторы, которые могут отрицательно влиять на каждый из показателей в составе OEE (табл. 2).

Остановимся подробнее на каждом из выявленных параметров.

«Отказ» оборудования представляет собой потерю доступности к работе на этом оборудовании, то есть незапланированный простой в связи с поломкой, отсутствием квалифицированных кадров, нехваткой оборотных средств. Его причиной также может стать отсутствие части оборудования на каком-либо этапе на линии при поточном производстве, что делает невозможным выпуск готовой продукции.

Таблица 2

Table 2

Компоненты OEE
 Components of OEE

Составляющая OEE	Факторы, влияющие на составляющие OEE
Доступности	«Отказ» оборудования
	Настройка и регулировка
	Остановки по вине оператора оборудования
Производительность	Холостой ход и непродолжительные остановки
	Пониженная скорость работы
Качество	Технологические дефекты (брак)
	Снижение количества качественной продукции

Важно отличать «отказ» оборудования (потеря доступности) от замедления производственного процесса (потери производительности). Для этого должно быть регламентировано время остановок оборудования, например, час, по истечении которого простой считается «отказом» оборудования по определенным причинам.

Настройка и регулировка занимает в ряде случаев достаточно продолжительный период времени, в течение которого оборудование не задействовано в производственном процессе в связи с осуществлением переналадки, прогрева, планового технического обслуживания.

Холостой ход и непродолжительные остановки – параметр, являющийся причиной потери производительности. Такая проблема возникает вследствие замятия материала, его неправильной подачи, неправильных настроек оборудования. Такие остановки длятся не более 5 минут и не требуют привлечения персонала, осуществляющего ремонт оборудования. Оператор самостоятельно устраняет возникающие проблемы. Холостой ход и непродолжительные остановки рассматриваются как потеря производительности, часто имеют хронический характер.

Пониженная скорость работы также характеризует производительность. Она приводит к тому, что процесс на производстве занимает больше времени, чем теоретически возможно в соответствии с мощностью оборудования. Такая ситуация возникает вследствие износа оборудования, использования некачественных материалов, низкой квалификацией оператора, работающего на станке.

Технологические дефекты (брак) включают в себя некачественную продукцию, а также продукцию, не соответствующую требованиям и подлежащую переработке на стабильном производстве. Этот фактор учитывается, так как ОЕЕ при анализе эффективности работы оборудования берет в расчет только продукт, изначально произведенный как качественный. Причинами дефектов, как правило, становятся некорректные настройки оборудования, ошибки оператора, его неправильное обращение с техникой или истечение срока годности сырья, что актуально, например, для фармацевтической продукции.

Измерение снижения объема качественной продукции актуально в период с момента запуска оборудования до достижения момента его стабильной работы. Фактор, как и технологические дефекты, включает в себя некачественную продукцию, а также продукцию, не соответствующую требованиям и подлежащую переработке. Отличие заключается в том, что его контролируют после установки или переналадки оборудования.

С описанными факторами сталкиваются все промышленные предприятия, осуществляющие внедрение нового оборудования или киберфизической системы, то есть интегрированного комплекса оборудования и цифрового решения. Воздействуя на каждый из них, возможно контролировать итоговую эффективность работы.

Однако приведенная формула ОЕЕ, в состав которой входит несколько показателей работы оборудования, несмотря на свой комплексный характер, не позволяет в полной мере учесть специфику таких цифровых инвестиционных проектов как CPS. Киберфизические системы, сочетая в своей структуре физический компонент (датчики, измерительную технику, биологический объект – человека) и программный продукт, обладают рядом особенностей. Во-первых, они самостоятельно осуществляют мониторинг своего состояния, что позволяет своевременно проводить плановые ремонты и избегать простоев оборудования. Данное свойство учитывается в доступности. Во-вторых, киберфизические системы позволяют повысить качество изделий, что находит отражение в коэффициенте готовой продукции. В-третьих, основной целью модернизации в промышленности является повышение производительности. Такой эффект внедрение киберфизической системы также находит отражение в формуле расчета ОЕЕ в показателе эффективности деятельности.

Наконец, CPS характеризуются высокой степенью автономности, но при этом одним из наиболее важных физических компонентов в их структуре остается человек. Приведенная классификация киберфизических систем по степени участия оператора в работе системы свидетельствует о том, что его роль существенна. Человек выполняет ряд функций, обеспечивающих бесперебойность производственных процессов: фиксирует сигнал о потребности в ремонте, принимает решение о переналадке оборудования.

Таким образом, мы убеждены, что при анализе цифрового киберфизического проекта должна быть учтена эффективность работы оператора, иначе результат оценки будет некорректен. Кроме того, это такой подход соответствует современным результатам исследований, которые среди причин неудач цифровых программ признают весьма существенную роль такой причины как низкая, либо недостаточная квалификация персонала, связанного с цифровым оборудованием. В этом случае показатели эффективности оборудования позволяют получить высокие значения дисконтированных показателей эффективности проекта, а человеческий фактор не дает возможности проявить эти показатели на практике.

Для решения этой проблемы мы модифицировали формулу расчета ОЕЕ, включив в нее показатель оценки эффективности деятельности человека в киберфизической системе:



$$OEE = \frac{t_{pr+o+n}}{t_{plan}} * \frac{t_i * Q_1}{t_{pr} + t_0} * \frac{Q_2}{Q_1}, \quad (3)$$

где OEE – индекс общей эффективности использования оборудования, %;

t_{pr} – общий период производственного процесса, в течение которого оборудование функционировало без нарушений, в часах;

o – период времени, в течение которого оборудование простаивало из-за его отказа, в часах;

n – период времени, который заняла настройка и регулировка работы оборудования, в часах;

t_{plan} – период времени, в течение которого по нормативу должно было работать оборудование, в часах;

t_i – идеальное время цикла, то есть период времени, в течение которого должно быть выпущено максимально возможное количество продукции, в часах;

Q_1 – объем продукции, выпущенный за период производственного процесса, в течение которого оборудование функционировало без нарушений, в единицах;

t_0 – период времени, в течение которого зафиксирован холостой ход оборудования, непродолжительные остановки, в часах;

Q_2 – количество деталей, соответствующих стандартам качества, которые установлены для продукции, в часах.

Допустим, что общий период производственного процесса, в течение которого оборудование функционировало без нарушений, равен идеальному времени цикла (период времени, в течение которого должно быть выпущено максимально возможное количество продукции, в часах), так как цель – производить максимальное количество продукции в единицу времени. Вследствие этого формула приобретает следующий вид:

$$OEE = \frac{t_{pr+o+n}}{t_{pr} + t_0} * Q_1, \quad (4)$$

Добавим показатель оценки эффективности деятельности оператора в киберфизической системе, в результате чего классическая версия формулы в укрупненном виде будет выглядеть следующим образом:

$$OEE = D * П * К * P, \quad (5)$$

где OEE – индекс общей эффективности использования оборудования, %;

D – доступность или эксплуатационная готовность.

$П$ – производительность или показатель эффективности деятельности.

$К$ – качество (коэффициент готовой продукции).

P – эффективность деятельности оператора.

Эффективность деятельности оператора в киберфизической системе будем рассчитывать по следующей формуле:

$$P = \frac{Q_t}{V_t * t_p}, \quad (6)$$

где Q_t – количество продукции, произведенной за период времени работы оператора на оборудовании, единиц;

V_t – средняя скорость работы оператора в течение общего периода времени работы, единиц в час;

t_p – общая продолжительность периода времени, в течение которого оператор работал на оборудовании, в часах.

С учетом приведенной выше формулы, расчет показателя OEE в развернутом виде будет выглядеть следующим образом:

$$OEE = \frac{t_{pr+o+n}}{t_{pr} + t_0} * Q_1 * \frac{Q_t}{V_t * t_p}, \quad (6)$$

Предложенная формула позволяет решить проблему учета влияния человеческого фактора на результат работы киберфизической системы. В ней учтены 4 группы факторов,

характеризующих одновременно эффективность работы физико-биологической составляющей (оборудование, оператор) и программной составляющей – цифрового продукта в киберфизической системе.

Теоретически диапазон значений ОЕЕ варьируется от 0 до 100 %. Нормативное значение показателя, свидетельствующее о высоком уровне организации производства, зависит от отрасли. Например, ОЕЕ для отрасли производства фасованных потребительских товаров составляет 40–50 %, мировые лидеры с производством циклического типа добиваются эффективности 80 %, а при производстве непрерывного типа – даже 90 % [Обобщённая эффективность оборудования (ОЕЕ) для совершенствования производства фасованных потребительских товаров]. Существует мнение, что оптимальные значения для отдельных компонентов приняты следующие: доступность – 90 %, производительность – 95 %, качество – 99,9 % (рис. 1). При этих значениях ОЕЕ составит 85,4 %. По данным мировой практики, пороговое значение эффективности лидеров производства – 85 %, и именно к этому значению стремятся промышленные компании.

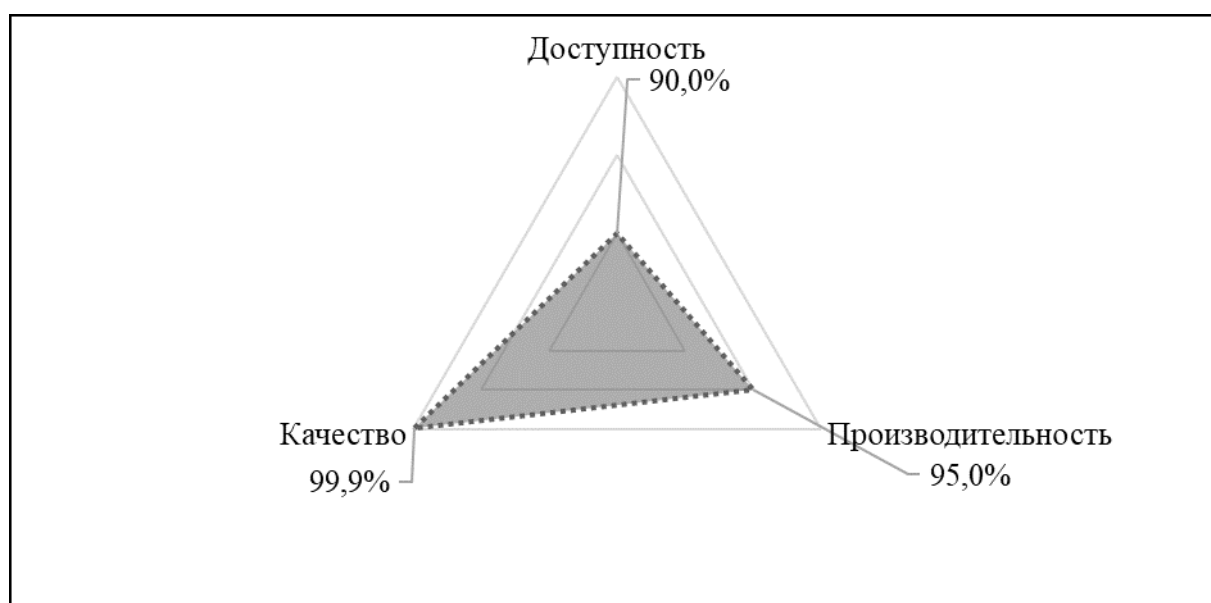


Рис. 1. Показатели компонентов ОЕЕ, %
Fig. 1. Indicators of OEE components, %

Важно отметить, что компоненты в составе ОЕЕ неоднородны [Шопин и др.], что, в том числе, доказывают разные оптимальные значения каждой составляющей, приведенные выше. Доступность и производительность показывают потери, возникновение которых обусловлено недопроизводством. Его причинами становятся потери времени в связи с простоями, настройкой и доработкой, остановками по вине оператора, а также пониженная скорость работы и холостой ход. Выпуск продукции в меньшем объеме по сравнению с тем, который был запланирован, с точки зрения доступности обусловлен тем, что оборудование не работало совсем, а с точки зрения производительности – работало непродуктивно. Такие потери можно считать виртуальными, так как они измеряются соотношением реального и теоретически возможного объема.

Компонент, характеризующий в составе ОЕЕ качество, напротив, показывает фактические потери. Бракованная продукция уже выпущена и от нее придется либо избавиться совсем, либо подвергнуть переработке, что влечет за собой дополнительные затраты.

Эффективность деятельности человека в киберфизической системе показывает потери, которые возникают в связи с пониженной скоростью выполнения функций

оператором и его низкой квалификацией, в связи с чем возникают непредвиденные остановки и замедляется общий темп работы.

Данные статистики, приведенные выше, доказывают, что вклад каждого из компонентов ОЕЕ неравномерен и несет разную нагрузку. На данном этапе исследования нам известны средние значения каждой составляющей: доступность – 90 %, производительность – 95 %, качество – 99,9 % [Мартиросян, 2017]. В предложенном нами варианте расчета ОЕЕ установим нормативное значение для нового компонента – эффективности работы оператора. Проведенный анализ по подбору параметра позволил определить, что при заданных значениях доступности, производительности и качества эффективность работы оператора должна составлять 99,98 % (рис. 2).

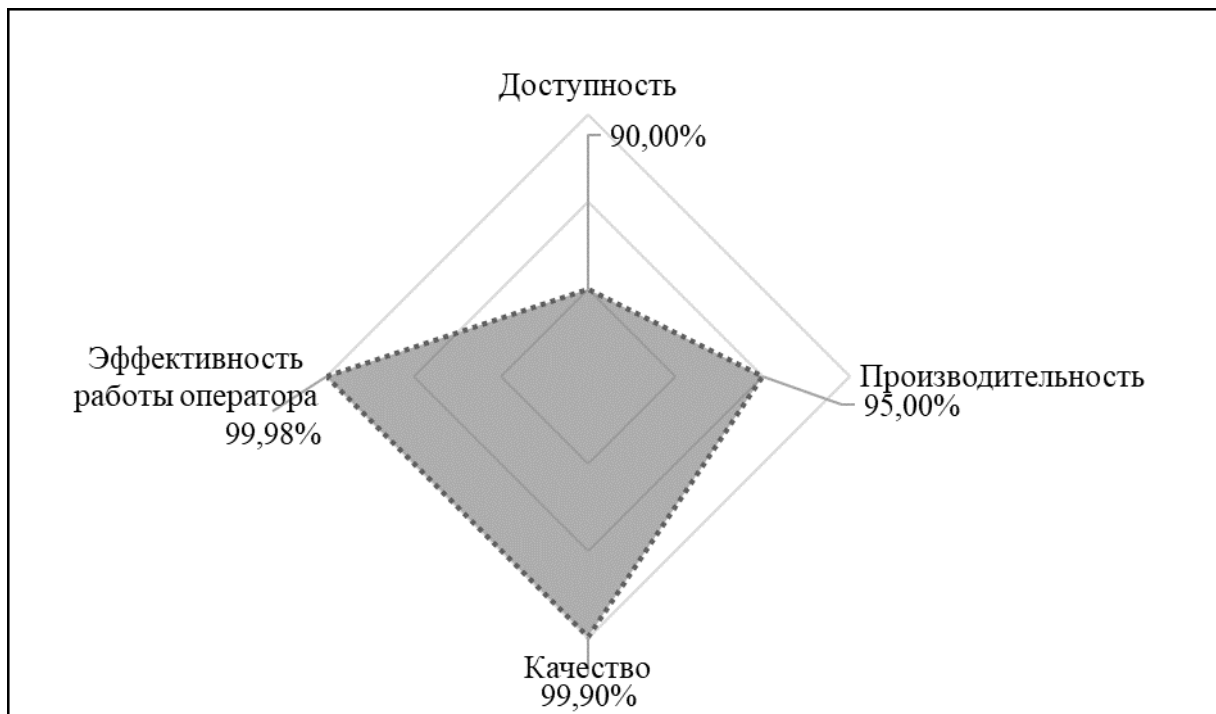


Рис. 2. Показатели компонентов ОЕЕ с учетом эффективности работы оператора, %
Fig. 2. Indicators of OEE components considering the operator's efficiency, %

Другими словами, квалификация оператора должна быть максимальна, так, чтобы его ошибки не привели к снижению эффективности киберфизической системы и, соответственно, отказу от проекта ее внедрения.

Как уже отмечалось, в зависимости от отрасли и специфики производства нормативное значение каждой составляющей ОЕЕ может отличаться от приведенного нами (см. рис. 1, 2). Однако итоговый показатель должен стремиться к 100 %. Чтобы добиться этого, необходимо управлять каждой составляющей формулы: доступностью, производительностью, качеством и эффективностью работы оператора. В связи с неоднородностью компонентов для каждого из них допускается свое пороговое значение (см. рис. 2), однако крайне важно не допускать существенного превышения одного показателя над другим, иначе общая эффективность системы резко снизится.

Для осуществления факторного анализа, прежде всего, следует определить значение показателя ОЕЕ и его отдельных составляющих (рис. 3).

При значении компонента «доступность» ниже нормативного (90 %) необходимо выяснить, за счет чего возникают потери времени. Возможные причины простоев представлены на рисунке 3 (см. рис. 3). Для их сокращения можно сформулировать следующий ряд рекомендаций.

1. Регулярные проверки оборудования и проведение плановых ремонтов для предупреждения «отказов» оборудования.
2. Применение технологии бережливого производства SMED (eng. Single-Minute Exchange of Die) с целью минимизации временных потерь на настройку и регулировку [Быстрая переналадка для рабочих, 2009].

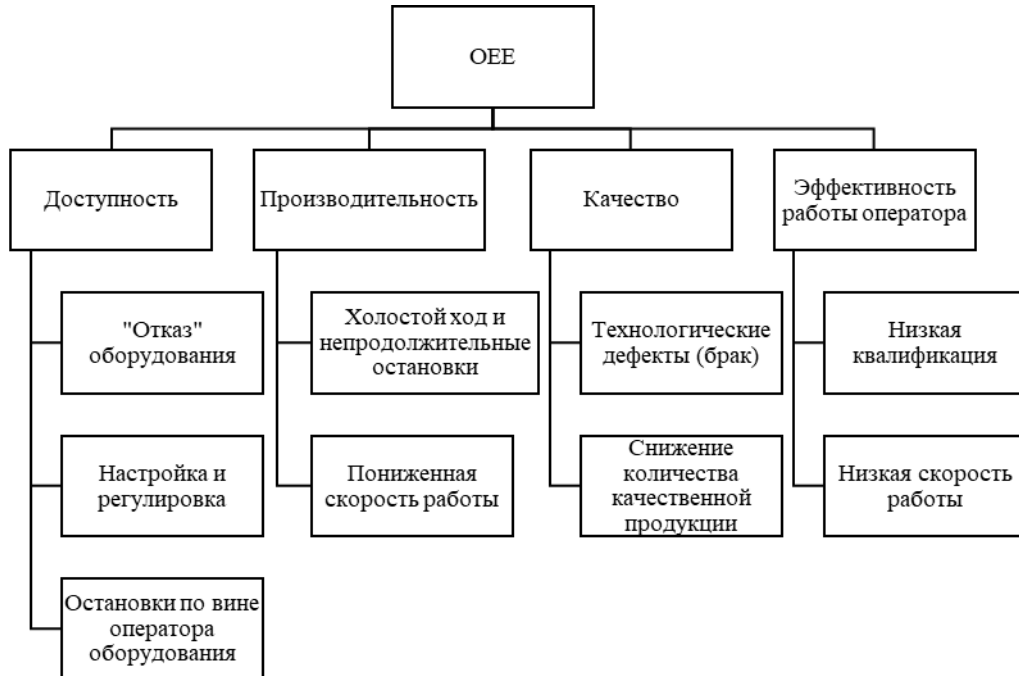


Рис. 3. Факторы управления показателем ОЕЕ
 Fig. 3. Factors driving the OEE score

SMED – это организация переналадки с минимальными временными затратами. Она включает ряд мероприятий: описание текущего процесса настройки и регулировки и выявление в нем «узких» мест, формирование команды для реализации новой технологии, обучение персонала. Кроме того, следует разделить операции по переналадке на две группы [Быстрая переналадка для рабочих, 2009].

Первая – это обязательные внутренние операции – требуют обязательной остановки оборудования.

В целях их оптимизации рекомендуется использовать передвижные установки для инструментов и стопорные механизмы для быстрого изменения положения зажимов, стандартизировать используемые для переналадки детали. Такие незначительные на первый взгляд мероприятия позволяют в совокупности сэкономить значительное количество времени.

Вторая – это обязательные внешние операции – не требуют обязательной остановки оборудования.

Чтобы они не отнимали много времени, следует внедрить принципы визуального контроля и использовать чек-листы, провести организацию рабочей зоны по принципу 5S.

3. Минимизация остановок по вине оператора за счет правильного подбора и обучения персонала, проведения хронометража рабочего времени.

В качестве основных факторов, посредством которых можно влиять на производительность как компонент ОЕЕ, были выделены: холостой ход и непродолжительные остановки, пониженная скорость работы. В первом случае причиной простоя становится неправильная подача материала, некорректная настройка, очистка оборудования. Конкретные мероприятия для воздействия на производительность будут зависеть от влияющих на нее факторов. Например, при неправильной подаче материала

следует контролировать его качество и проверить оборудование на предмет поломки. Пониженная скорость, влияющая на производительность, обусловлена износом механизмов, условиями среды, не позволяющими работать с максимальной скоростью, качеством используемых материалов. В данном случае также нужно регулярно выполнять плановый мониторинг, следить за качеством материалов.

На качество влияют технологические дефекты (брак) и снижение объема качественной продукции. Важно отметить, что первый фактор характеризует уже устоявшееся производство. Брак в этом случае возникает по технологическим причинам (неправильная настройка оборудования) или, например, при использовании неподходящего сырья. Снижение объема качественной продукции, как правило, наблюдается после переналадки. Причиной такой проблемы становится некорректная настройка, неоптимальные регулировки. Управление качеством в данном случае предполагает внедрение технологии бережливого производства, одним из этапов которой является строгий контроль результатов переналадки.

Новым компонентом ОЕЕ – эффективностью работы оператора – следует управлять через повышение квалификации персонала и повышением скорости его работы. Для этого необходимо регулярно проводить обучение, контролировать квалификацию посредством сдачи экзаменов на знание особенностей работы оборудования. Повышение скорости работы оператора возможно с помощью хронометража, с учетом данных которого оптимизируется время операций [Чухрова, 2021].

Таким образом, достижение высокого показателя ОЕЕ осуществляется посредством планомерного и регулярного управления факторами, влияющими на доступность, производительность, качество и человеческий фактор.

Заключение

В условиях становления концепции «Индустрия 4.0» особую актуальность приобретает искусство инжиниринга, заключающееся в способности объединять физические и цифровые составляющие, в результате чего появляются киберфизические системы, представляющие собой особый вид цифровых инвестиционных проектов. Проведенный анализ позволил среди всего многообразия CPS выделить несколько групп таких проектов и классифицировать их по ряду признаков, в том числе принципиально новых, таких как масштаб, специфики отрасли и особенностей инжиниринга. На основе представленной типологии киберфизических систем выявлена их специфика, которую следует учитывать при анализе эффективности соответствующих проектов. Этому требованию, на наш взгляд, соответствует модифицированный метод оценки ОЕЕ.

Для комплексного анализа эффективности киберфизической системы, помимо предложенного метода, целесообразно использовать и классические показатели эффективности, в частности, методику UNIDO. Однако ОЕЕ – это наиболее адекватный специфике CPS подход, непосредственно оценивающий физические и биологические компоненты, которые при этом неразрывно связаны и находятся под влиянием цифрового решения в структуре киберфизической системы.

Список источников

1. Архангельская Е., Осипов И., Волкова О., Вайнер Н., Травникова Е. 40 лет с Apple: сорок фактов о самой дорогой компании мира. URL: https://www.rbc.ru/technology_and_media/01/04/2016/56fd6cf99a79477e0c2cf5b4 (дата обращения: 20 октября 2021).
2. ГОСТ Р ИСО 22400-2-2019 Системы промышленной автоматизации и интеграция. Ключевые технико-экономические показатели (KPIs) для управления производственными операциями. Часть 2. Определения и описания. 2019. URL: https://allgosts.ru/13/020/gost_r_iso_22400-2-2019 (дата обращения: 20 октября 2021).

3. Громаков Е.И., Сидорова А. А. 2021. Современные технологии. Киберфизические системы: учебное пособие. Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 166 с. URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SIDOROVA/Yheba/Tab8/%D0%A1%D0%BE%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8.pdf> (дата обращения: 12 ноября 2021 г.).
4. Клейменова Л. 2021. РБК Тренды. Что такое индустрия 4.0 и что нужно о ней знать. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5e740c5b9a79470c22dd13e7> (дата обращения: 12 ноября 2021 г.).
5. Круглов С. Эволюция телефона: от Александра Белла до наших дней. URL: <https://tass.ru/spec/phone> (дата обращения: 20 октября 2021).
6. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ, Госстроем РФ 21.06.1999 № ВК 477). 1999. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28224/ (дата обращения: 15 октября 2021 г.).
7. Обобщённая эффективность оборудования (ОЕЕ) для совершенствования производства фасованных потребительских товаров. URL: <https://technolink.spb.ru/wp-content/uploads/2018/07/equipment-efficiency.pdf> (дата обращения: 15 октября 2021 г.).
8. Расчет общей эффективности оборудования (ОЕЕ). URL: <https://bpi-group.com.ua/blog/raschet-obshhej-effektivnosti-oborudovaniya-oee/> (дата обращения: 15 октября 2021 г.).
9. Руководство по цифровой трансформации производственных предприятий. 2019. URL: http://assets.fea.ru/uploads/nticenter/112019/Rukovodstvo_po_cifrovizacii_proizvodstvennyh_predpriyatij.pdf (дата обращения: 15 октября 2021 г.).
10. Рыжков А. 2009. Быстрая переналадка для рабочих. М.: Институт комплексных стратегических исследований, 112 с. URL: https://biznesbooks.com/components/com_jshopping/files/demo_products/productivity-press-bystraya-perenaladka-dlya-rabochikh.pdf (дата обращения: 20 октября 2021).
11. Чухрова Н. Хронометраж рабочего времени. URL: <https://www.gd.ru/articles/12066-hronometraj-rabochego-vremeni> (дата обращения: 12 ноября 2021 г.).
12. Шопин А.Г., Занин И.В., Спиридонов С.В. ОЕЕ/DTM – Золушка в семействе MES-решений. URL: <https://studylib.ru/doc/2491358/oee-dtm-%E2%80%93-zolushka-v-semejstve-mes-reshenij> (дата обращения: 20 ноября 2021 г.).
13. Behrens W., Nawranek P.M. 1991. Manual for the preparation of industrial feasibility studies.
14. Cardin O. Classification of cyber-physical production systems applications: proposition of an analysis framework. 2019. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1811/1811.03122.pdf> (дата обращения: 20 ноября 2021 г.).
15. Cyber-Physical System. Driving force for innovation in mobility, healthy, energy and production. ACATECH 2011.
16. Lee E.A., Seshia S.A. 2017. Introduction to embedded systems: A cyber-physical systems approach. London: MIT Press. URL: https://ptolemy.berkeley.edu/books/leeseshia/releases/LeeSeshia_DigitalV2_2.pdf (дата обращения: 20 ноября 2021 г.).
17. What are cyber-physical systems? URL: <https://www.rmit.edu.au/news/c4de/what-are-cyber-physical-systems> (дата обращения: 20 ноября 2021 г.).

Список литературы

1. Мартиросян А.Т. 2017. Показатель эффективности обслуживания оборудования в системе ключевых показателей производительности. Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», 9(6). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/164EVN617.pdf> (дата обращения: 20 ноября 2021 г.).
2. Трошин А., Пискайкин М. 2021. Инжиниринг и «Индустрия 4.0». Разбор терминологии. Компоненты и технологии, 9. URL: <https://www.mosep.ru/local/images/moselproj/kit-ing.pdf> (дата обращения: 12 ноября 2021 г.).
3. Zegzhda D.P., Poltavtseva M.A., Lavrova D.S. 2017. Systematization and security assessment of cyber-physical systems. Automatic control and computer sciences, 51(8): 835–843.

References

1. Martirosyan A.T. 2017. Efficiency indicator of equipment maintenance in the system of key performance indicators. Online magazine «Science», 9(6). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/164EVN617.pdf> (in Russian).



2. Troshin A., Piskaykin M. 2021. Engineering and Industry 4.0. Analysis of terminology. Components and technologies, 9. URL: <https://www.mosep.ru/local/images/moselproj/kit-ing.pdf> (in Russian).

3. Zegzhda D.P., Poltavtseva M.A., Lavrova D.S. 2017. Systematization and security assessment of cyber-physical systems. Automatic control and computer sciences, 51(8): 835–843.

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

Любименко Дарья Анатольевна, аспирант кафедры экономики и финансов Южно-Уральского государственного университета (НИУ), г. Челябинск, Россия

Вайсман Елена Давидовна, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики и финансов Южно-Уральского государственного университета (НИУ), г. Челябинск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Darya A. Lyubimenko, Postgraduate Student of the Department of Economics and Finance, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

Elena D. Vaisman, Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Economics and Finance, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

УДК 336.581

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-679-687

Исследование финансовых институтов инновационной инфраструктуры

Павлова И.Г.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
E-mail: 79803294873@mail.ru

Аннотация. Актуальность данного исследования заключается в необходимости создания финансовых институтов инновационной инфраструктуры в отдельных регионах страны и дальнейшего их развития. Именно финансирование инновационной деятельности позволяет осуществлять использование денежных средств таким образом, чтобы их ориентация производилась исключительно на проектирование, разработку и организацию производства новых видов продукции, а также новой техники и технологий, в том числе и новых организационных форм и методов управления. Цель работы состоит в исследовании финансовых институтов инновационной инфраструктуры. В статье детально представлены основные источники финансирования (государственное финансирование; венчурные фонды и частные инвесторы; банки и инвестиционные компании) и выявлены важные проблемные сегменты российской системы, даны рекомендации по их решению. Полученные результаты вносят вклад в развитие финансовых институтов инновационной инфраструктуры, способствуют выстраиванию правильного вектора их развития с учетом особенностей.

Ключевые слова: инновационная инфраструктура, инвестирование, инновация, финансовые институты, источники финансирования.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания (FZWN – 2020-0016).

Для цитирования: Павлова И.Г. 2021. Исследование финансовых институтов инновационной инфраструктуры. Экономика. Информатика. 48(4): 679–687. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-679-687.

Research of financial institutions of innovative infrastructure

Irina G. Pavlova

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
45 Kostyukov St, Belgorod, 308012, Russia
E-mail: 79803294873@mail.ru

Abstract. The relevance of this study lies in the need to create financial institutions of innovative infrastructure in certain regions of the country and their further development. It is the financing of innovative activities that allows the use of funds in such a way that they are focused exclusively on the design, development and organization of production of new types of products, as well as new equipment and technologies, including new organizational forms and management methods. The purpose of the work is to analyze the current state of financial institutions of innovation activity in the Russian Federation and its assessment. The objectives of this study are to form and analyze the main sources of financing for innovation activities, determine the role of financial institutions of innovation infrastructure, and draw conclusions. The study was conducted on the basis of empirical methods of scientific research. The results obtained contribute to the development of financial institutions of innovative infrastructure, contribute to building the right vector of their development, taking into account the peculiarities.

Keywords: innovative infrastructure, investment, innovation, financial institutions, sources of financing.

Acknowledgements: The work is supported by Ministry of education of Russia within the framework of the state task (FZWN - 2020-0016).

For citation: Pavlova I.G. 2021. Research of financial institutions of innovative infrastructure. Economics. Information technologies. 48(4): 679–687 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-679-687.

Введение

Начиная с 31 января 2020 года, коронавирусная инфекция (COVID – 19) внесла коррективы абсолютно во все сферы жизни человека, тогда инфекция только набирала свои обороты. Несмотря на последствия тяжелой борьбы с коронавирусом в 2021 году, маловероятно предкризисное состояние экономики страны. В первую очередь это связано, например, с величиной совокупного государственного долга (менее 20 % от ВВП), также наблюдается тенденция снижения корреляции между отечественными предприятиями и внешними поставками благодаря политике импортозамещения. При этом с всевозрастающим влиянием пандемии преобразования отразились и на функционировании финансовых институтов инновационной инфраструктуры. Это объясняется активизацией применения интернет-платформ, где происходит непосредственное взаимодействие между продавцом и покупателем, в том числе все организации в срочном порядке должны перейти на дистанционный формат работы с применением различных технологий. Вследствие этого произошел резкий скачок в трансформации традиционного формата деятельности на инновационно-технологический.

Развитие социально-экономической системы Российской Федерации формируется в большей степени за счет наращивания инновационного потенциала, а также стимулирования инновационной деятельности. Главной целью любой страны выступает обеспечение стабильного социально-экономического развития в рамках быстроизменяющегося внешнеэкономического положения страны, возрастающей конкуренции, в том числе с учетом императивов перехода к шестому технологическому укладу [Бережная, Павлова, Сотникова, 2019].

В большинстве стран наиболее важными акторами в процессе формирования и внедрения на рынок инноваций относительно микроуровня выступают предприятия, тестирующие высокоэффективные формы межфирменного взаимодействия и кооперации. При этом важно осуществление государственной политики, стратегической целью которой является стимулирование инновационной активности компаний и создание для этого наиболее благоприятных рамочных условий [Дорошенко, Ряпухина, 2019]. Одно из таких условий – развитая инфраструктура инновационной деятельности, включая институты поддержки инноваций, обеспечивающие интеграцию и согласование усилий основных участников этой деятельности (бизнес-инкубаторы, разные виды кластеров и т. д.) [Павлова, 2019].

Инновационная инфраструктура трактуется как определенная система тесно связанных между собой структур, которые обслуживают и обеспечивают осуществление инновационной деятельности. От того, как будет реализовываться функционирование инновационной инфраструктуры, будет зависеть темп осуществления инновационных трансформаций в экономике, включая их стоимость и эффективность [Верхотурова, 2010]. Автор определяет инновационную инфраструктуру как комплекс взаимосвязанных институтов, деятельность которых направлена на обеспечение доступа к различным ресурсам, формирующим в свою очередь благоприятные условия, при этом осуществляющим поддержку участникам инновационной деятельности. На основании данного определения можно вычлениить основные группы институтов, благодаря которым создается инновационная инфраструктура, их система представлена ниже на рисунке 1.



Рис. 1. Комплексный подход к определению инновационной инфраструктуры
Fig. 1. An integrated approach to the definition of innovation infrastructure

В группу институтов, обеспечивающих ресурсами инновационную инфраструктуру, относят финансово-кредитные и кадровые институты. Институты, предоставляющие услуги: сбытовые и информационно-консалтинговые институты. В последнюю группу – институты, создающие условия – следует отнести правовой и производственно-технологические институты. Но центральная роль отводится именно финансовым институтам, так как они обеспечивают инновационное развитие через предоставление необходимых финансовых ресурсов, без которых не представляется возможным полноценное функционирование инновационного развития, в том числе и инновационной инфраструктуры.

В экономике Российской Федерации отмечается особая роль государства касаясь финансирования науки. Так, например, за рубежом в становлении инновационной инфраструктуры непосредственно принимает участие частный сектор в течение долгого периода времени. Что касается Российской Федерации, страна утратила значительную часть своего научного потенциала, поэтому во многих областях необходимо создавать инновационную инфраструктуру вновь.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются особенности функционирования финансовых институтов инновационной инфраструктуры. Обозначена важность и значительность проводимого исследования, осуществлено ее обоснование. Рассматриваются основные источники финансирования инновационной деятельности и произведен их анализ. Выявлены важные проблемные сегменты российской системы, одним из которых является отсутствие особых центров компетенций по инновациям и цифровым технологиям. Представлены предложения автора по выявленным проблемам.

При исследовании применялись методы логического анализа, обобщения и синтеза, в том числе экономико-статистические методы обработки цифровой информации.

Результаты и их обсуждение

Важное место в развитии инновационной инфраструктуры занимают ее финансовые институты. Основные источники финансирования инновационной деятельности инновационных проектов, реализующиеся предприятием, – заемные и собственные средства.

В первую группу входят кредиты, которые выдаются как коммерческими предприятиями, так и банками. Вторая группа включает в себя прибыль предприятия, выручку от реализации нематериальных активов и страховое возмещение убытков.

Роль финансовых институтов инновационной инфраструктуры заключается в ослаблении доступа инновационных предприятий к заемным средствам [Верхотурова, 2009]. Внешнее финансирование инновационной деятельности можно представить в виде следующих источников финансирования:

1. государственное финансирование;
2. венчурные фонды и частные инвесторы;
3. банки и инвестиционные компании.

Государственная поддержка осуществляется за счет венчурного или прямого финансирования инновационного проекта следующим образом: вложение ценных бумаг (иное имущество) в объекты предпринимательской и иной деятельности для получения прибыли и достижения полезного эффекта и в других формах финансового обеспечения в соответствии с законодательством Российской Федерации [Андрюшин, Карминский, 2021]. В целях поддержки инновационных проектов приоритетных направлений функционирует Федеральный фонд фундаментальных исследований (ФФФИ), функцией которого выступает организационно-финансовое обеспечение проектов. В то же время вектор деятельности данного фонда направлен на становление системы взаимосвязей актантов инновационной деятельности, развитие их взаимодействия для коллективной реализации научно-исследовательских работ, формирование общих стратегических целей [Малыхина, Бережная, 2019].

На основании представленных данных в статистическом сборнике Высшей школы экономики можно выявить динамику такого показателя, как затраты на инновационную деятельность из средств бюджета в Центральном федеральном округе (рис. 2).

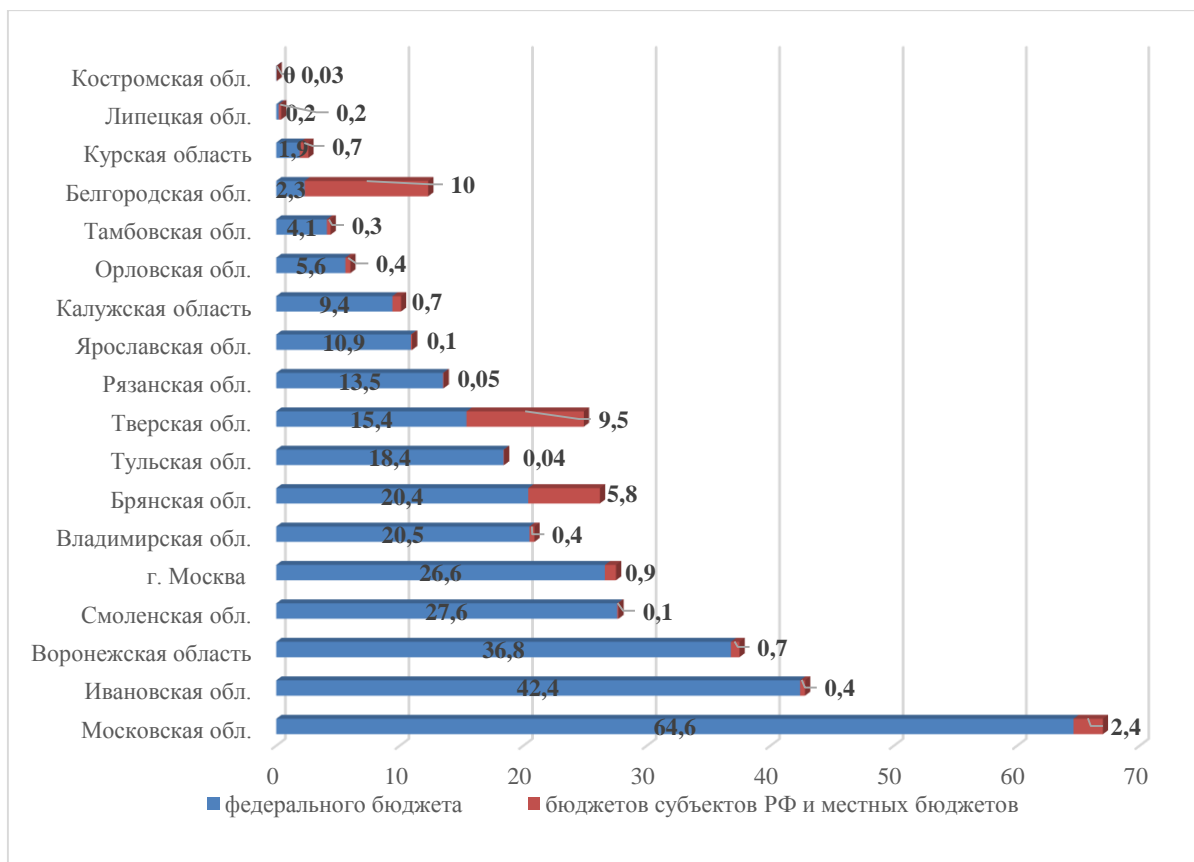


Рис. 2. Затраты на инновационную деятельность из средств бюджета в ЦФО за 2019 год, %
 Fig. 2. Costs of innovation activities from the budget in the Central Federal District for 2019, %

Так, наблюдается неравномерная динамика в отношении данного показателя из федеральных средств: максимальное значение присуще Московской области (64,6), минимальное – Липецкой области (0,2) [Индикаторы инновационной деятельности: 2021: статистический сборник, 2021]. Однако ситуация по финансированию из бюджетов субъектов РФ и местных бюджетов иная – наблюдается более равномерное значение исследуемого показателя во всех областях ЦФО.

Такая тенденция объясняется структурными особенностями научно-исследовательского комплекса РФ. Стоит отметить, что значительная доля затрат на науку характерна, как было отмечено ранее, государству, при этом она же пропорциональна государственному контролю над научным сектором, что вполне обосновано. Также сложившаяся тенденция не в полной мере активизирует научно-исследовательскую деятельность на итоговый результат, что в целом не способствует наращиванию инновационной активности предприятий.

Финансирование из средств бюджета страны является ключевым источником, способствующим решению масштабных научно-технических проблем [Himmel, Siemiatycki, 2017]. Государственная помощь в поддержке инновационной деятельности может выражаться в двух направлениях:

1. прямое финансирование – финансовая помощь централизованными ресурсами;
2. косвенное финансирование – мобилизация средств за счет привлечения рыночного механизма.

При этом государственная поддержка в финансировании инновационной деятельности может реализовываться через бюджетные и внебюджетные фонды финансирования НИР и ОКР. Фонды, которые выделяют финансовые средства из бюджета страны, считаются некоммерческими и предоставляют в распоряжение средства на безвозвратной основе [Малыхина, Брежнев, Божков, 2019].

Именно бюджетные ассигнования являются главным инструментом финансирования научно-исследовательских работ в Российской Федерации, они и составляют большую часть из федерального бюджета. Меньшую часть ассигнований представляют отчисления в целевые бюджетные фонды и финансирование НИР по приоритетным направлениям развития науки и техники. Данные средства выделяются по результатам конкурса в целях разработки приоритетных инновационных проектов.

Венчурное финансирование осуществляется инвестиционными компаниями без гарантий возврата инвестиций, но, однако, большим риском и сверхприбылью в случае успеха инноваций. На фоне всеобщей экономической стагнации в связи с коронавирусной инфекцией COVID – 19 и падения многих финансовых рынков динамика роста венчурных инвестиций за последние пару лет ярко контрастирует своей масштабностью и маржинальностью. Таким образом, данные тенденции венчурного сегмента привлекают внимание профильных инвесторов из других ниш, что вносит свои корректировки и оптимизацию в классические схемы венчурных фондов. В РФ функционируют 189 организаций, занимающихся прямыми инвестициями по состоянию на 2021 год (совершены вложения в 185 крупномасштабных стартапов). Венчурный капитал в РФ сегодня составляет около 4,2 миллиардов долларов [Зайцев, 2020].

В Российской Федерации, как и в мире в целом, слабо развито частное инвестирование. Под данным термином следует понимать официальную структуру или физическое лицо, которые инвестируют капитал в дальнейшее развитие крупных проектов. Количество частных инвесторов в РФ за май 2021 года увеличилось на 561,1 тысяч человек до 12,2 миллионов человек [Смирнов, Родионов, 2014]. Согласно данным статистического сборника Высшей школы экономики, только за май 2021 года частные инвесторы вложили: в российские акции 32 млрд рублей, в облигации – 59,8 млрд рублей, в биржевые фонды (БПИФы и ETF) 8,4 млрд рублей.

Средства банков и инвестиционных компаний привлекаются в целях финансирования инноваций любых предприятий. Отличительная черта – период финансирования, который не должен превышать период реализации инновации. К данной группе можно отнести также финансовый лизинг, который используется в случае покупки дорогостоящего оборудования как важного элемента инновационного проекта. Благодаря инновационному лизингу совершенствуется инновационный процесс, он также содействует росту конкурентоспособности и позволяет финансовому состоянию предприятия выйти на новый уровень [Sengupta, 2021]. Самыми инвестиционными компаниями в РФ являются: «Тинькофф Инвестиции» – в 2016 году Тиньков Банк запустил площадку для частных инвесторов, с помощью которой можно совершать сделки на Мосбирже и зарубежных [Официальный сайт Тинькофф Инвестиции]; ООО ИК «Фридом финанс» [Официальный сайт инвестиционной компании «Фридом Финанс»]; ООО «Открытие брокер» [Официальный сайт ООО «Открытие брокер»]; ООО УК «Альфа-Капитал» [Официальный сайт ООО УК «Альфа-Капитал»]; ООО «Управляющая компания «Финам Менеджмент» [Официальный сайт управляющей компании «Финам Менеджмент»].

Таким образом, рассмотренные выше финансовые институты инновационной инфраструктуры играют важную роль в развитии экономики страны. Финансовые институты оказывают непосредственное влияние на трансформацию инновационной инфраструктуры, соответственно воздействуют и на становление и развитие инновационных структур (которые являются неотъемлемой частью инновационной инфраструктуры). Российская Федерация на сегодняшний день мало акцентирует внимание на создании особых центров компетенций по инновациям и цифровым технологиям, хотя в других странах это распространено и развивается. В целях нейтрализации выявленной проблемы необходимо обратить внимание на формирование развитых платформ, технологий, институциональной и инфраструктурной сред, что позволит российской экономике сократить значительный разрыв в развитии по сравнению с развитыми странами, где активно применяются и используются цифровые технологии и центры компетенций по инновациям в различных сферах деятельности. Например, если рассматривать цифровые технологии, они могут выступать в качестве новых усовершенствованных технологий – использование компонентов робототехники и сенсорики, а также технологий виртуальной и дополненной реальностей и т. п.

Относительно центров разработки инноваций, они присутствуют абсолютно во всех высокотехнологичных компаниях, входящих в АФК «Система». Так, например, в «МТС», кроме центров компетенций, есть и собственные акселераторы как для внутренних, так и для внешних инновационных проектов, способствующих наращиванию экосистемы цифровых сервисов компании. «Технологическая площадка» характерна для такой компании, как «Мегафон». По своей сути она представляет площадку для проверки гипотез, реализации пилотов со стартапами и внедрения инновационных решений. Результат ее практической реализации – свыше 100 пилотных проектов, относящихся к девяти важным кластерам развития компании.

Инвестиционные компании в целях оценки инновационной деятельности опираются, главным образом, на объем инвестиций, прирост выручки и прибыли благодаря инновациям, финансовые метрики (IRR, ROI, NPV и др.), объем внедренных инновационных проектов на предприятии [Doroshenko, Malykhina, Somina, 2019].

Таким образом, для того, чтобы идея перешла на стадию «продукт» либо на совершенно новое направление бизнеса, необходимы большие усилия, следовательно, для успеха инноваций важно планировать бюджеты для исследования гипотез. Например, «Микрон» – один из самых крупных российских производителей микроэлектронной продукции, именно в этой компании любой сотрудник вправе инициировать проект и получить денежное вознаграждение. Деятельность, связанная с инновациями, для сотрудников очень выгодна, несмотря на любую систему мотивации. Во-первых, в большинстве случаев это имеет положительный эффект в виде материального

вознаграждения. Во-вторых, перед сотрудником предприятия открываются карьерные перспективы.

Мобилизация инвестиций в инновационную деятельность представляет собой важную задачу, стоящую перед РФ, так как для развития высокоперспективных проектов требуется финансирование, которое в большинстве случаев недоступно. Для нейтрализации такого барьера Правительство РФ осуществляет комплексную работу, ориентированную на совершенствование условий на предмет привлечения инвестиций в инновационный сектор экономики. Центральная роль в активизации мобилизации финансирования в инновационный сектор экономики отведена системе институтов инновационного развития (АО "РОСНАНО", Фонд развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий и др.). Институты развития выступают в качестве катализаторов частных инвестиций в приоритетных секторах и отраслях экономики и формируют условия для становления инновационной инфраструктуры, которая оснащает предприятия требуемыми финансовыми и информационными ресурсами.

Заключение

Финансовые институты инновационной инфраструктуры представляют огромную ценность в отношении финансирования инновационной деятельности, где аккумулируются финансовые средства и распределяются на ключевые направления инновационных процессов. В ходе проведенного исследования раскрыто понятие инновационной инфраструктуры и представлен комплексный подход к ее определению. В результате было выявлено, что на формирование инновационной инфраструктуры оказывает влияние группа институтов, где именно финансовые институты занимают доминирующее положение, выступая в качестве основы для создания инновационной инфраструктуры.

Развитие финансовых институтов инновационной инфраструктуры позволит решить следующие актуальные задачи, стоящие перед российской экономикой: создание условий для максимально быстрого и эффективного внедрения инноваций во всех отраслях страны, наращивание стратегического инновационного потенциала в приоритетных направлениях развития, формирование благоприятных условий для поддержки и расширения кадрового потенциала науки и предотвращение утечки профессиональных кадров из инновационной сферы.

Список источников

1. Зайцев Д.А. 2020. Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Анализ механизмов венчурного и прямого инвестирования, осуществляемого с использованием средств федерального бюджета». URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/a29/a298f3e07b401a8d60e4e4afdd1671b7.pdf> (дата обращения: 14.08.2021).
2. Индикаторы инновационной деятельности: 2021: статистический сборник / Л.М. Гохберг, Г.А. Грачева, К.А. Дитковский и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2021. – 280 с. – 250 экз. – ISBN 978-5-7598-2375-9.
3. Официальный сайт инвестиционной компании «Фридом Финанс». [Электронный ресурс]. URL: <https://ffin.ru/> (дата обращения: 01.08.2021).
4. Официальный сайт ООО «Открытие брокер». [Электронный ресурс]. URL: <https://open-broker.ru/invest/> (дата обращения: 04.08.2021).
5. Официальный сайт ООО УК «Альфа-Капитал». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.alfacapital.ru/> (дата обращения: 03.08.2021).
6. Официальный сайт Тинькофф Инвестиции. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tinkoff.ru/invest/> (дата обращения: 03.08.2021).
7. Официальный сайт управляющей компании "Финам Менеджмент". [Электронный ресурс]. URL: <https://www.finam.ru/about/CompanyStructure003E8/> (дата обращения: 03.08.2021).
8. Рейтинг высокодоходных инвестиционных компаний 2021 года. [Электронный ресурс]. URL: <https://finansy.name/rejting-investicionnyh-kompanij> (дата обращения: 03.08.2021).

9. Федеральный закон "О науке и государственной научно-технической политике" от 23.08.1996 N 127-ФЗ. [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_11507/ (дата обращения: 03.08.2021).

Список литературы

1. Андриюшин С.А., Карминский А.М. 2021. Современные финансовые институты и рынки, их регулирование в кризисных условиях: международный опыт и российская практика (обзор выступлений участников тематической конференции «Банки и финансовые рынки» Четвертого Российского экономического конгресса). Вестник Института экономики РАН, 2: 182–197.
2. Бережная А.В., Павлова И.Г., Сотникова А.А. 2019. Оценка и перспективы развития инвестиционно-инновационного потенциала Белгородской области. Пространственное развитие территорий: сборник научных трудов II Международной науч.-практ. конф., Белгород: ООО «ЭПИЦЕНТР»: 42–50.
3. Верхотурова Т.А. 2009. Место и роль финансовых институтов в инновационной инфраструктуре России. Налоги и финансы, 3: 15–19.
4. Верхотурова Т.А. 2010. Развитие финансовых институтов инновационной инфраструктуры России. Известия СПбГЭУ, 3: 75–77.
5. Дорошенко Ю.А., Ряпухина В.Н. 2019. Анализ региональных моделей инновационного развития в контурах политики неоиндустриализации. Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета, 4 (78): 47–51.
6. Малыгина И.О., Бережная А.В. 2019. Анализ принципов организации и способов стимулирования инновационной деятельности регионов. Белгородский экономический вестник, 2 (94): 57–61.
7. Малыгина И.О., Брежнев А.Н., Божков Ю.Н. 2019. Влияние инфраструктурной поддержки на формирование и стимулирование инновационно-инвестиционных источников экономического развития региона. Евразийский международный научно-аналитический журнал «Проблемы современной экономики», 2: 131–134.
8. Павлова И.Г. 2019. Анализ динамики развития инновационной инфраструктуры в Белгородской области. Актуальные аспекты фундаментальных и прикладных исследований»: всероссийская научно-практическая конференция научно-педагогических работников общего и профессионального образования. Орёл: ОрелГУЭТ: 45–49.
9. Смирнов А.Л., Родионов И.И. 2014. Финансовые институты развития и управление инновациями (некоторые Актуальные вопросы). Финансовая аналитика: проблемы и решения, 46: 11–17.
10. Doroshenko Y.A., Malykhina I.O., Somina I.V. 2019. Methodology of the formation of a comprehensive support mechanism of innovation and investment development in the region. 9th International Conference "Economics and Management-Based on New Technologies" (EMoNT-2019), Vrnjacka Banja, Serbia. pp. 155–158.
11. Himmel M., Siemiatycki M. 2017. Infrastructure public-private partnerships as drivers of innovation? Lessons from Ontario, Canada. Environment and Planning C: Politics and Space. 35(5):746–764. doi:10.1177/2399654417701430
12. Sengupta A. 2021. New Realms of Influence: Infrastructure Development, Financial Institutions and Markets. International Studies. doi:10.1177/00208817211028043

References

1. Andryushin S.A., Karminsky A.M. 2021. Modern financial institutions and markets, their regulation in crisis conditions: international experience and Russian practice (review of presentations by participants of the thematic conference "Banks and Financial Markets" of the Fourth Russian Economic Congress). Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences, 2: 182–197. (in Russian)
2. Berezhnaya A.V., Pavlova I.G., Sotnikova A.A. 2019. Assessment and prospects for the development of the investment and innovation potential of the Belgorod region. Spatial development of territories: collection of scientific papers of the II International Scientific and Practical Conference. Belgorod: ООО "EPICENTER": 42–50. (in Russian)
3. Verkhoturova T. A. 2009. The place and role of financial institutions in the innovation infrastructure of Russia. Taxes and finance, 3: 15–19. (in Russian)

4. Verkhoturova T. A. 2010. Development of financial institutions of innovative infrastructure in Russia. *Izvestiya SpBGETU*, 3: 75–77. (in Russian)
5. Doroshenko Yu.A., Ryapukhina V.N. 2019. Analysis of regional models of innovative development in the contours of the neoindustrialization policy. *Bulletin of the Saratov State Socio-Economic University*, 4 (78): 47–51. (in Russian)
6. Malykhina I.O., Berezhnaya A.V. 2019. Analysis of the principles of organization and ways to stimulate innovative activity of regions. *Belgorod Economic Bulletin*, 2 (94): 57–61. (in Russian)
7. Malykhina I.O., Brezhnev A.N., Bozhkov Yu.N. 2019. The impact of infrastructure support on the formation and stimulation of innovation and investment sources of economic development of the region. *Eurasian International Scientific and Analytical Journal "Problems of Modern Economy"*, 2: 131–134. (in Russian)
8. Pavlova I.G. 2019. Analysis of the dynamics of innovation infrastructure development in the Belgorod region. *Actual aspects of fundamental and applied research": All-Russian scientific and practical conference of scientific and pedagogical workers of general and vocational education. Eagle: EagleGUIT: 45–49. (in Russian)*
9. Smirnov A.L., Rodionov I.I. 2014. Financial institutions of development and innovation management (some Topical issues). *Financial analytics: problems and solutions*, 46: 11–17. (in Russian)
10. Doroshenko Y.A., Malykhina I.O., Somina I.V. 2019. Methodology of the formation of a comprehensive support mechanism of innovation and investment development in the region // 9th International Conference "Economics and Management-Based on New Technologies" (EMoNT-2019), Vrnjacka Banja, Serbia. pp. 155–158.
11. Himmel M, Siemiatycki M. 2017. Infrastructure public–private partnerships as drivers of innovation? Lessons from Ontario, Canada. *Environment and Planning C: Politics and Space*. 35 (5):746–764. doi:10.1177/2399654417701430.
12. Sengupta A. 2021. *New Realms of Influence: Infrastructure Development, Financial Institutions and Markets*. *International Studies*. doi:10.1177/00208817211028043.

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

Павлова Ирина Геннадьевна, ассистент кафедры стратегического управления института экономики и менеджмента Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Irina G. Pavlova, Assistant of the Department of Strategic Management, Institute of Economics and Management, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

УДК 659.1

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-688-696

Применение информационно-вычислительных технологий для решения задач мониторинга и управления состоянием энергетического оборудования в ЕЭС России

Грабчак Е.П., Логинов Е.Л.

Министерство энергетики Российской Федерации,
Россия, 107996, г. Москва, ул. Щепкина, д. 42
E-mail: LoginovEL@minenergo.gov.ru

Аннотация. На современном этапе интеграция доступных данных о состоянии оборудования через информационно-вычислительные процедуры мониторинга и управления для решения разнообразных задач эксплуатации и технического обслуживания представляет особую значимость. В связи с недостатком исследований автором рассматриваются подходы к анализу больших объемов разнородных данных о состоянии оборудования при мониторинге энергетических объектов в ЕЭС России путем применения информационно-вычислительных технологий для решения управленческих задач на различных уровнях иерархии энергетических систем, включающих сети интеллектуальных (smart) измерительных датчиков. Обоснована необходимость объединения в ЕЭС России разнородных информационно-вычислительных ресурсов о состоянии оборудования в интегральную межкорпоративную платформу с целью решения проблем управления техобслуживанием и ремонтами оборудования. Сформулированы ключевые этапы и задачи формирования интегральной программной платформы.

Ключевые слова: оборудование, мониторинг, данные, обработка информации, распознавание, энергетика.

Для цитирования: Грабчак Е.П., Логинов Е.Л. 2021. Применение информационно-вычислительных технологий для решения задач мониторинга и управления состоянием энергетического оборудования в ЕЭС России. Экономика. Информатика. 48(4): 688–696. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-688-696.

Application of information and computing technologies for solving problems of monitoring and managing the state of power equipment in the UES of Russia

Evgeniy P. Grabchak, Evgeniy L. Loginov

Ministry of Energy of the Russian Federation,
42 Shchepkina St, Moscow, 107996, Russia,
E-mail: LoginovEL@minenergo.gov.ru

Abstract. At the present stage, the integration of available data on the state of equipment through information and computational monitoring and control procedures for solving various problems of operation and maintenance is of particular importance. Due to the lack of research, the author considers approaches to the analysis of large volumes of heterogeneous data on the state of equipment when monitoring energy facilities in the UES of Russia by using information and computing technologies to solve management

problems at various levels of the hierarchy of energy systems, including networks of smart (smart) measuring sensors. The necessity of combining in the UES of Russia heterogeneous information and computing resources on the state of equipment into an integrated intercorporate platform is substantiated in order to solve the problems of equipment maintenance and repair management. The key stages and tasks of the formation of an integrated software platform have been formulated.

Keywords: equipment, monitoring, data, information processing, recognition, energy.

For citation: Grabchak E.P., Loginov E.L. 2021. Application of information and computing technologies for solving problems of monitoring and managing the state of power equipment in the UES of Russia. *Economy. Computer science.* 48(4): 688–696 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-688-696.

Введение

Создание автоматизированных систем мониторинга работы энергетических объектов, позволяющих выявлять некорректную работу оборудования, требует создания технологий распознавания и синтеза данных о состоянии оборудования, а также механизмов очистки от искаженных данных собранной при помощи различных технических средств цифровой информации о процессах эксплуатации и технического обслуживания [Иванов, 2009; Грабчак, Логинов, 2019].

Накопление огромного количества разнородных данных о состоянии оборудования при мониторинге энергетических объектов в ЕЭС России и широкое применение информационно-вычислительных технологий для решения разнообразных задач эксплуатации и технического обслуживания энергетического оборудования обуславливают необходимость разработки интеллектуальной информационной (программной) платформы [Логинов, 2012; Грабчак, 2018]. Эта платформа должна обеспечить эффективность хранения и обработки данных о состоянии оборудования, их интеграции, извлечения из них полезной информации и генерации на этой основе новых данных [Грабчак, 2020].

Современные тенденции сбора и обработки данных в энергетике

По данным Минэнерго России, число аварий на объектах топливно-энергетического комплекса в осенне-зимний период 2020–2021 годов выросло до 3925, то есть на 2,3 %.

Основными причинами увеличения количества аварий являются сложные погодные условия, а также износ оборудования.

В осенне-зимний период 2020–2021 годов на 13 % выросло общее количество массовых нарушений электроснабжения потребителей. Среди основных причин роста последствий массовых нарушений электроснабжения потребителей можно выделить высокий износ оборудования объектов электросетевого хозяйства, а также их ненадлежащее техническое обслуживание.

Таким образом, требуется выработка новых организационно-информационных механизмов мониторинга и управления состоянием энергетического оборудования для обеспечения надежности функционирования энергосистемы путем повышения эффективности процессов эксплуатации и технического обслуживания.

Важной задачей здесь является интеграция доступных данных о состоянии оборудования через информационно-вычислительные процедуры, обеспечивающие решение обширного круга проблем на различных уровнях иерархии энергетических систем. Актуальность этой задачи в настоящее время обусловлена имеющим место накоплением огромного количества данных о состоянии оборудования и все более широким применением информационно-вычислительных технологий для решения разнообразных задач эксплуатации и технического обслуживания и возрастающей потребности в интерпретации получаемых результатов, в особенности, при формировании «цифровых двойников»

энергетических объектов и их подсистем, включающих сети интеллектуальных (smart) измерительных датчиков.

В последние годы наметилась тенденция к интеграции информационно-вычислительных ресурсов, предназначенных для решения задач эксплуатации и технического обслуживания, в единые комплексы [Авагян, 2020; Stennikov et al, 2020]. Такие комплексы имеют модульную структуру, при этом выбор отдельных программных модулей осуществляется пользователем [Надгериева, Дзгоев, 2020]. Это позволяет решать комплексные проблемы в рамках общей методологии, но с применением самых современных (на текущий момент) информационных и вычислительных ресурсов, с возможностью гибкого замещения их более новыми базами данных о состоянии оборудования и программами по мере их появления [Voropai N.I. et al, 2020; Voropai, Stennikov, 2020].

Такого рода интеграция осуществляется с использованием специализированных прикладных программ, которые обеспечивают объединение «модулей» в единый комплекс управления техобслуживанием и ремонтами оборудования. Эти программы-интеграторы обеспечивают последовательное «включение» и «отключение» отдельных модулей, обмен входными и выходными данными между отдельными модулями, преобразование данных к необходимым форматам, «понимаемым» конкретными вычислительными модулями, и т. п. Основным же недостатком их можно считать слабые возможности по моделированию сложного технического процесса от начала до конца. Многие программы по сути своей предоставляют «инструмент» для интеграции вычислительных возможностей отдельных модулей в детерминированную последовательность вычислений, причём такая последовательность может иметь существенное ветвление и цепи обратной связи.

Спектр решаемых задач, как правило, сводится к решению информационных задач, задачам системного моделирования и моделирования отдельных технических реакций, в то время как задачи повышения надежности функционирования энергосистемы на основе моделирования функционирования энергетических систем в целом и процессов функционирования системной совокупности объектов они не затрагивают, либо используют методики, базирующиеся на статистических наблюдениях и чисто эмпирических зависимостях, не учитывающих напрямую системные процессы.

Отсюда вытекает необходимость разработки прикладного отечественного программного обеспечения, интегрирующего доступные данные о состоянии оборудования в информационно-вычислительные процедуры, обеспечивающего решение обширного круга задач на различных уровнях иерархии энергетических систем, в особенности при формировании «цифровых двойников» объектов и подсистем, включающих сети интеллектуальных (smart) измерительных датчиков.

Подходы к созданию системы высокопроизводительной обработки и интеллектуального анализа данных

Функционирование энергетики в конечном итоге обусловлено сложной системой взаимодействия отдельных элементов (функциональных узлов оборудования) [Стенников, Головщиков, 2019]. Необходима мониторинговая технология, направленная на выявление максимально широкого спектра данных о состоянии функциональных узлов оборудования воспроизводимых при формировании «цифровых двойников» [Мигранов, Мельников, 2017; Sysak, 2018]. В результате цифрового мониторинга, как правило, идентифицируются сотни и тысячи различных функциональных узлов оборудования (и это ещё не предел, методики и методы компьютерной обработки результатов развиваются стремительно) [Aizenberg, Voropai, 2019]. Возникает задача – достоверно определить состояние этих функциональных узлов оборудования в известных генерирующих или энерготранспортных схемах, структурных системах, а возможно и в ещё не описанных подсистемах [Папков, 2021].

В ряде случаев данная задача может быть решена путем сплошного просмотра специализированных баз данных о динамике состояния функциональных узлов

оборудования или путем анализа параметров работы, зафиксированных именно при сбоях в работе функциональных узлов оборудования. Однако ознакомление со всеми накопленными данными для десятков и сотен тысяч функциональных узлов оборудования неэффективно, т. к. занимает длительное время и не всегда приводит к объективным результатам. Таким образом, существует необходимость создания средств анализа, предназначенных для автоматической обработки получаемых в ходе мониторинга данных о состоянии оборудования. Создание подобного программного продукта как элемента декларируемой платформы, так и в виде самостоятельного приложения позволит автоматизировать поиск данных, в явной или неявной форме свидетельствующих об угрожающих параметрах состояния оборудования в ретроспективе и получить обобщенное представление об эффективности техобслуживания и ремонта оборудования, а также может выявить взаимосвязанные группы функциональных узлов оборудования для которых связь достоверно пока не установлена. Для удобства, взаимосвязанные функциональные узлы оборудования лучше представлять в виде семантической сети, т. е. графа, узлами которого являются сигналы о корректности работы функциональных узлов оборудования, а ребрами – найденные взаимосвязи между параметрами работы этих функциональных узлов оборудования.

Повышение уровня автоматизации труда инженеров при управлении техобслуживанием и ремонтами оборудования будет достигнуто благодаря интеграции различных пакетов обработки на основе базы данных, позволяющей найти необходимый метод по свойствам входных данных о состоянии оборудования в зависимости от цели исследования, интуитивному интерфейсу создания и многократного использования многоступенчатых сценариев. Разработка проблемно-ориентированных методов и реализация всех методов обработки данных, необходимых для извлечения количественной информации, в рамках открытой архитектуры позволит максимально использовать любые вычислительные мощности, в том числе высокопроизводительные, высокодоступные кластеры.

Ключевые этапы и задачи формирования программной платформы в ЕЭС России

I. В ходе подготовительного этапа реализации программной платформы основное внимание следует уделить решению следующих задач:

- систематизации задач управления техобслуживанием и ремонтами оборудования, для решения которых используются информационно-вычислительные методы;
- инвентаризации доступных в настоящее время баз данных о состоянии оборудования и компьютерных программ, используемых для решения задач управления техобслуживанием и ремонтами оборудования;
- идентификации комплексных проблем и определению оптимальных путей объединения в ЕЭС России разнородных информационно-вычислительных ресурсов о состоянии оборудования в интегральную межкорпоративную платформу с целью решения проблем управления техобслуживанием и ремонтами оборудования;
- выбору и адаптации алгоритмов расчетов.

II. На основном этапе реализации программной платформы:

- созданию прототипа интегральной программной платформы, способной работать в системах распределённых вычислений, в том числе на системах с нетрадиционной архитектурой;
- разработке интерфейса прикладного программирования, позволяющего интегрировать в состав платформы сторонние приложения, а также другие программные разработки;
- демонстрации возможностей программной платформы на примере решения нескольких конкретных задач, например, качественного и количественного анализа данных о состоянии оборудования, получаемых от автоматических систем измерения протекающих

процессов с возможностью анализа последствий интеграции информационных, телекоммуникационных и телеметрических сервисов;

- разработке технической документации на единую универсальную прикладную программную межкорпоративную платформу, интегрирующую имеющиеся данные и информационно-вычислительные процедуры.

III. При создании экспертной системы распознавания взаимосвязанных функциональных узлов оборудования:

- создать автоматизированную систему анализа данных о состоянии оборудования, получаемых от автоматических систем измерения протекающих процессов и комплементарную к ней систему хранения полученной информации с использованием выбранной СУБД;

- адаптировать систему анализа для работы в системе распределённых вычислений;

- создать интерактивную систему представления результатов в визуализированном виде, для анализа пользователем-экспертом;

- интегрировать разработанные модули в структуру общей программной платформы;

- провести адаптацию системы для анализа любых технических объектов (помимо функциональных узлов оборудования);

- выполнить средствами созданного программного продукта реальную задачу автоматического построения аналитической матрицы для нескольких групп функциональных узлов оборудования.

IV. При создании базы эталонных сигналов о состоянии оборудования для исследования структурно-функциональных взаимоотношений:

- провести анализ существующих баз данных и хранилищ информации;

- разработать алгоритмы валидации и формализации распознанных сигналов о состоянии оборудования для дальнейшего включения в базу данных;

- разработать требования к базе эталонных сигналов о состоянии оборудования;

- разработать методы, модели и программные средства автоматической обработки и идентификации функциональных узлов оборудования;

- разработать пользовательский интерфейс для доступа к базе эталонных сигналов о состоянии оборудования;

- интегрировать созданный продукт в единую программную межкорпоративную платформу.

V. При создании системы высокопроизводительной обработки и интеллектуального анализа больших и сверхбольших объемов данных, поступающих от технических объектов для повышения уровня автоматизации обработки и анализа данных о состоянии оборудования, получаемых от автоматических систем измерения протекающих процессов:

- разработать методы извлечения требуемых характеристик из данных, получаемых с помощью мониторинга работы оборудования. В число таких характеристик должны входить идентификация и пространственная локализация функциональных узлов оборудования, оценка устойчивости режимов и перемещения элементов внутри объекта и т. д.

- разработать специальные методы коррекции данных для снижения эффектов, связанных с наличием искажений и артефактов;

- разработать систему обработки и хранения большого числа отдельных данных большого размера (в высоком разрешении);

- создать систему высокопроизводительной обработки и интеллектуального анализа больших и сверхбольших объемов данных о состоянии оборудования, поступающих от технических объектов, включающую полный набор методов по извлечению высокоточной количественной информации;

- создать онтологии методов обработки данных и построить на ее основе базы данных методов и их реализаций в различных пакетах, что приведет к повышению скорости работы

системы за счет возможности поиска необходимого метода и реализации по свойствам входных данных о состоянии оборудования в зависимости от цели исследования;

– разработать методы улучшения качества данных, реализующие оценивание и коррекцию ошибок в распознанных данных;

– подготовить и протестировать библиотеку типовых сценариев для обеспечения надежности работы суперсистемы (ЕЭС России) исходя из различных вариантов эксплуатации и технического обслуживания оборудования.

Необходимость подобной работы обусловлена как динамичностью развития методов и программного обеспечения, количества доступных данных, так и в немалой степени неопределенностью, какие из существующих на настоящее время (с учетом приоритетов импортозамещения) алгоритмов и готового программного обеспечения адекватно решают поставленные задачи и могут быть использованы сами по себе, а какие требуют дополнительной разработки [Соловьев, 2018; Двойнишников, 2019; Никандров, 2019]. Кроме того, несмотря на многочисленные публикации по сопоставлению программного обеспечения, реальные выводы можно делать только на конкретных задачах, на решение которых будет ориентирована создаваемая программная межкорпоративная платформа.

Заключение

Интеграция программного обеспечения с инфраструктурой центров управления сетями в ЕЭС России, объединяющих оборудование и значительные вычислительные мощности, позволит повысить качество обработки данных о состоянии оборудования и сократить время получения необходимых результатов при управлении техобслуживанием и ремонтами оборудования. Таким образом, создание системы высокопроизводительной обработки и интеллектуального анализа данных в ЕЭС России целесообразно не только в силу значительной экономии финансовых затрат на покупку программных пакетов и перспективности разработки с точки зрения коммерциализации, но и из-за превосходства предлагаемой системы по важным показателям над существующим программным обеспечением.

Предлагаемые решения могут использоваться для автоматического контроля за работой энергетического оборудования в ЕЭС России [Поликарпов, 2020; Краснов и др. 2021].

В конечном итоге можно будет добиться серьезного импортозамещения зарубежной продукции на отечественном рынке в энергетике, не говоря уже об удовлетворении государственных потребностей в программных продуктах такого класса.

Список литературы

1. Авагян С.К. 2020. Метод и средства повышения точности измерений электрической энергии, реализуемых с помощью измерительных систем. Наука, техника и образование, 68 (4): 54–57.
2. Грабчак Е.П., Логинов Е.Л. 2019. Цифровые подходы к управлению объектами электро- и теплоэнергетики с применением интеллектуальных киберфизических систем. Надежность и безопасность энергетики, 3: 172–176.
3. Грабчак Е.П. 2020. Управляемая кластеризация и самовосстановление работы информационных систем в электро- и теплоэнергетике в условиях каскадных аварийных ситуаций. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 1: 133–138.
4. Грабчак Е.П. 2018. Цифровая трансформация электроэнергетики. Основные подходы. Энергия единой сети, 40 (4): 12–26.
5. Двойнишников Н.Э. 2019. Технологические особенности проблем обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем управления, являющихся объектами критической информационной инфраструктуры. Международный журнал прикладных наук и технологий Integral, 1: 11.
6. Иванов С.Н. 2009. Энергосбережение: проблемы достижения энергоэффективности. М., НИЭБ, 329.

7. Краснов А.Н. и др. 2021. Информационная безопасность передачи данных в условиях ограниченного энергопотребления. Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 572 (3): 27–34.
8. Логинов Е.Л. 2012. Интеллектуальная электроэнергетика: новый формат интегрированного управления в единой энергетической системе России. Национальные интересы: приоритеты и безопасность, 170 (29): 28–32.
9. Мигранов М.М., Мельников А.В. 2017. Большие данные в электроэнергетике. Обзор программных решений. Электроэнергия. Передача и распределение, 43 (4): 60–64.
10. Надгериева Д.А., Дзгоев А.Э. 2020. Обработка информации о количестве неисправностей электроэнергетических систем с применением регрессионного анализа, Инженерные решения, 16 (6): 18–23.
11. Никандров М.В., Селезнев М.И. 2019. Аспекты обеспечения информационной безопасности локально-вычислительных сетей цифровых подстанций, Релейщик, 34 (2): 44–46.
12. Папков Б.В. 2021. Об оценке сложности систем электроэнергетики. Энергетик, 1: 6–10.
13. Поликарпов А.А. 2020. Применение устройств однонаправленной передачи данных для защиты узлов автоматизированной системы в соответствии с требованиями по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры. ИТ-Стандарт, 22 (1): 42–45.
14. Соловьев С.В., Бутрик Е.Е. 2018. Подход к определению актуальных угроз безопасности информации в автоматизированных системах управления технологическими процессами с применением банка данных угроз безопасности информации ФСТЭК России. Информация и безопасность, 2: 203–210.
15. Стенников В.А., Головщиков В.О. 2019. Непродуманная цифровизация электроэнергетики может привести к угрозам энергетической безопасности России. Энергетик, 12: 3–6.
16. Aizenberg N., Voropai N. 2019. The interaction of consumers and load serving entity to manage electricity consumption. Communications in Computer and Information Science. (1090 CCIS): 147–162.
17. Stennikov V.A. et al. 2020. Application of digital technologies for expansion planning of integrated energy systems. E3S Web of Conferences. ENERGY-21 – Sustainable Development & Smart Management: electronic edition. C. 02003.
18. Sysak R.M. 2018. Optimization of software for autonomous measuring modules of distributed diagnostic systems. Technical Electrodynamics, 3: 90–96.
19. Voropai N.I. et al. 2020. Some generalizations of an analysis of 2016–2017 blackouts in the unified energy system of Russia. Energy Systems Research, 10 (2): 5–12.
20. Voropai N.I., Stennikov V.A. 2020. Infrastructural cyber-physical energy systems: transformations, challenges, future appearance. Energy Systems Research, 11 (3): 18–29.

References

1. Avagjan S.K. 2020. Metod i sredstva povyshenija tochnosti izmerenij jelektricheskoj jenerгии, realizuemyh s pomoshh'ju izmeritel'nyh sistem [Method and means of increasing the accuracy of measurements of electrical energy realized with the help of measuring systems]. Nauka, tehnika i obrazovanie, 68 (4): 54–57. (in Russian)
2. Grabchak E.P., Loginov E.L. 2019. Cifrovye podhody k upravleniju ob#ektami jelektro- i teplojenergetiki s primeneniem intellektual'nyh kiberfizicheskikh sistem [Digital approaches to the management of electric and thermal power facilities using intelligent cyber-physical systems]. Nadezhnost' i bezopasnost' jenergetiki, 3: 172–176. (in Russian)
3. Grabchak E.P. 2020. Upravljaemaja klasterizacija i samovosstanovlenie raboty informacionnyh sistem v jelektro- i teplojenergetike v uslovijah kaskadnyh avarijnyh situacij [Управляемая кластеризация и самовосстановление работы информационных систем в электро- и теплоэнергетике в условиях каскадных аварийных ситуаций]. Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij, 1: 133–138. (in Russian)
4. Grabchak E.P. 2018. Cifrovaja transformacija jelektrojenergetiki. Osnovnye podhody [Digital transformation of the electric power industry. Basic approaches]. Jenerгija edinoj seti, 40 (4): 12–26. (in Russian)
5. Dvojnishnikov N. Je. 2019. Tehnologicheskie osobennosti problem obespechenija informacionnoj bezopasnosti avtomatizirovannyh sistem upravlenija, javljajushhihsja ob#ektami kriticheskoj informacionnoj infrastruktury [Technological features of the problems of ensuring information security of automated control

systems that are objects of critical information infrastructure]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh nauk i tehnologij Integral*, 1: 11. (in Russian)

6. Ivanov S.N. 2009. Jenergosberezhenie: problemy dostizhenija jenergojeffektivnosti [Energy saving problems of achieving energy efficiency]. *M., NIJeB*, 329. (in Russian)

7. Krasnov A.N. i dr. 2021. Informacionnaja bezopasnost' peredachi dannyh v uslovijah ogranichenogo jenergotreblenija [Information security of data transmission in conditions of limited energy consumption]. *Avtomatizacija, telemehanizacija i svjaz' v nefjtanoj promyshlennosti*, 572 (3): 27–34. (in Russian)

8. Loginov E.L. 2012. Intellektual'naja jelektrojenergetika: novyj format integrirovannogo upravlenija v edinoj jenergeticheskoj sisteme Rossii [Intelligent electric power industry: a new format of integrated management in the Unified Energy System of Russia]. *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'*, 170 (29): 28–32. (in Russian)

9. Migranov M.M., Mel'nikov A.V. 2017. Bol'shie dannye v jelektrojenergetike. Obzor programmnyh reshenij [Big data in the electric power industry. Overview of software solutions]. *Jelektrojenergija. Peredacha i raspredelenie*, 43 (4): 60–64. (in Russian)

10. Nadgerieva D.A., Dzgoev A.Je. 2020. Obrabotka informacii o kolichestve neispravnostej jelektrojenergeticheskikh sistem s primeneniem regressionnogo analiza [Processing of information on the number of failures of electric power systems using regression analysis]. *Inzhenernye reshenija*, 16 (6): 18–23. (in Russian)

11. Nikandrov M.V., Seleznev M.I. 2019. Aspekty obespechenija informacionnoj bezopasnosti lokal'no-vychislitel'nyh setej cifrovych podstancij [Aspects of ensuring information security of local computer networks of digital substations]. *Relejsnik*, 34 (2): 44–46. (in Russian)

12. Papkov B.V. 2021. Ob ocenke slozhnosti sistem jelektrojenergetiki [On the assessment of the complexity of electric power systems]. *Jenergetik*, 1: 6–10. (in Russian)

13. Polikarpov A.A. 2020. Primenenie ustrojstv odnonapravlnnoj peredachi dannyh dlja zashhity uzlov avtomatizirovannoj sistemy v sootvetstvii s trebovanijami po obespecheniju bezopasnosti znachimyh ob#ektov kriticheskoj informacionnoj infrastruktury [The use of unidirectional data transmission devices to protect the nodes of an automated system in accordance with the requirements for ensuring the security of significant objects of critical information infrastructure]. *IT-Standart*, 22 (1): 42–45. (in Russian)

14. Solov'ev S.V., Butrik E.E. 2018. Podhod k opredeleniju aktual'nyh ugroz bezopasnosti informacii v avtomatizirovannyh sistemah upravlenija tehnologicheskimi processami s primeneniem banka dannyh ugroz bezopasnosti informacii FSTJeK Rossii [An Approach to Identifying Current Threats to Information Security in Automated Process Control Systems using the data bank of Information Security Threats of the FSTEC of Russia]. *Informacija i bezopasnost'*, 2: 203–210. (in Russian)

15. Stennikov V.A., Golovshnikov V.O. 2019. Neprodumannaja cifrovizacija jelektrojenergetiki mozhet privesti k ugrozam jenergeticheskoj bezopasnosti Rossii [Непродуманная цифровизация электроэнергетики может привести к угрозам энергетической безопасности России]. *Jenergetik*, 12: 3–6. (in Russian)

16. Aizenberg N., Voropai N. 2019. The interaction of consumers and load serving entity to manage electricity consumption. *Communications in Computer and Information Science*. (1090 CCIS): 147–162.

17. Stennikov V.A. et al. 2020. Application of digital technologies for expansion planning of integrated energy systems. *E3S Web of Conferences. ENERGY-21 – Sustainable Development & Smart Management: electronic edition*. C. 02003.

18. Sysak R.M. 2018. Optimization of software for autonomous measuring modules of distributed diagnostic systems. *Technical Electrodynamics*, 3: 90–96.

19. Voropai N.I. et al. 2020. Some generalizations of an analysis of 2016–2017 blackouts in the unified energy system of Russia. *Energy Systems Research*, 10 (2): 5–12.

20. Voropai N.I., Stennikov V.A. 2020. Infrastructural cyber-physical energy systems: transformations, challenges, future appearance. *Energy Systems Research*, 11 (3): 18–29.

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

Грабчак Евгений Петрович, кандидат экономических наук, Заместитель Министра энергетики Российской Федерации, г. Москва, Россия

Логинов Евгений Леонидович, доктор экономических наук, профессор РАН, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, начальник экспертно-аналитической службы Ситуационно-аналитического центра Минэнерго России, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Evgeny P. Grabchak, Ph.D. in Economics, Deputy Minister of Energy of the Russian Federation, Moscow, Russia

Evgeniy L. Loginov, Doctor of Economic Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, twice winner of the RF Government Prize in the field of science and technology, Head of the Expert and Analytical Service of the Situation-Analytical Center of the Ministry of Energy of Russia, Moscow, Russia

УДК 637

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-697-706

Проблемы фальсификации молочной продукции и их влияние на рынок молока и состояние молочной отрасли

Жилинкова К.Б.

Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова
Россия, 305021, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70
E-mail: fantasy_sky__@mail.ru

Аннотация. Важную роль в обеспечении населения качественными продуктами питания и продовольственной безопасности страны играет молочная отрасль, состояние которой в значительной степени определяется эффективностью рыночных и государственных механизмов регулирования. Одной из острых проблем, в значительной мере вызванной неэффективностью нормативных механизмов регулирования и мешающих развитию молочной отрасли, является масштабное использование в перерабатывающей и пищевой промышленности заменителей молочного жира, различных пищевых добавок и компонентов, что ведет к фальсификации молочной продукции. В отечественной экономической литературе данной проблеме уделяется недостаточно внимания, существуют очевидные пробелы в методологии исследования и методиках оценки данного явления, что приводит к значительным разночтениям, неправильным выводам и выработке неэффективных управленческих решений. Цель данной работы состояла в анализе проблемы фальсификации молочной продукции и совершенствовании методологии ее исследования. Исследование проводилось на материалах официальной статистики с использованием аналитических материалов органов государственного управления, нормативной и научной литературы. В результате исследования было выявлено негативное влияние фальсификации молочной продукции на рынок молока и состояние молочной отрасли. По оценкам автора из-за фальсификации молочное скотоводство недосчитывает до 2 и более млн дойных коров, так как натуральное молоко заменяется суррогатами. При этом фальсифицированная продукция оказывает отрицательное влияние не только на экономику молочной отрасли, но и на здоровье граждан. В статье систематизированы способы, виды и методы фальсификации молока и молочной продукции, составлена наглядная схема влияния фальсифицированной молочной продукции на рынок молока и состояние молочной отрасли. Предложен методический подход к оценке уровня фальсификации молочной продукции на основе сопоставления данных о направлении в переработку молока-сырья и выработки готовой молочной продукции. Полученные результаты могут быть использованы в практической деятельности органов государственной власти для выработки более обоснованных решений по нормативному регулированию рынка молока и молочной продукции.

Ключевые слова: рынок, конкуренция, заменители, фальсификация, регулирование.

Для цитирования: Жилинкова К.Б. 2021. Проблемы фальсификации молочной продукции и их влияние на рынок молока и состояние молочной отрасли. Экономика. Информатика. 48(4): 697–706. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-697-706.

The impact of counterfeit dairy products and surrogates on the milk market and the state of the dairy industry

Ksenia B. Zhilinkova

Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov
70 Karl Marx St., Kursk, 305021, Russia
E-mail: fantasy_sky__@mail.ru

Abstract. An important role in providing the population with high-quality food and food security of the country is played by the dairy industry, the state of which is largely determined by the effectiveness of

market and government regulatory mechanisms. One of the acute problems, largely caused by the ineffectiveness of regulatory mechanisms of regulation and hindering the development of the dairy industry, is the large-scale use of milk fat substitutes, various food additives and components in the processing and food industries, which leads to falsification of dairy products. In the domestic economic literature, not enough attention is paid to this problem, there are obvious gaps in the research methodology and methods for assessing this phenomenon, which leads to significant discrepancies, incorrect conclusions and the development of ineffective management decisions. The purpose of this work was to analyze the problem of falsification of dairy products and improve the methodology of its research. The research was carried out on the materials of official statistics with the use of analytical materials of government bodies, regulatory and scientific literature. The study revealed the negative impact of counterfeiting dairy products on the milk market and the state of the dairy industry. According to the author's estimates, due to falsification, dairy cattle breeding lacks up to 2 million or more dairy cows, since natural milk is replaced by surrogates. At the same time, counterfeit products have a negative impact not only on the economy of the dairy industry, but also on the health of citizens. The article systematizes the ways, types and methods of falsification of milk and dairy products, compiled a visual diagram of the influence of falsified dairy products on the milk market and the state of the dairy industry. A methodological approach to assessing the level of falsification of dairy products is proposed based on a comparison of data on the direction of raw milk processing and the production of finished dairy products. The results obtained can be used in the practical activities of state authorities to develop more substantiated decisions on the regulatory regulation of the milk and dairy products market.

Key words: market, competition, substitutes, falsification, regulation.

For citation: Zhilinkova K.B. 2021. Problems of counterfeiting dairy products and their impact on the milk market and the state of the dairy industry. Economics. Information technologies. 48(4): 697–706 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-697-706.

Введение

Молоко занимает важное место в рационе большинства россиян, а молочные продукты (масло сливочное, кефир, творог и др.) относят к социально значимым продовольственным товарам. Согласно данным специалистов [Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по республике Алтай], организм взрослого человека должен ежедневно получать 1200 мг кальция, основным же его источником является молоко и продукты его переработки. Молочные продукты содержат витамины А и В, которые помогают при транспортировке кальция в клетки. Само молоко используется для профилактики остеопороза, гипертонии и инфаркта миокарда. Медицинская норма потребления молочных продуктов на 1 человека в год – 392 кг в пересчете на молоко (то есть ежедневно не менее 1 л).

За последние 2–3 года в нашей стране производство молока в хозяйствах всех категорий увеличилось на 1 млн тонн или на 3,2 % и достигло 32,2 млн тонн в 2020 г. [Министерство сельского хозяйства Российской Федерации]. Расширился ассортимент молочной продукции, данная группа товаров пользуется стабильным растущим спросом. При таких обстоятельствах у недобросовестных производителей появляется желание сократить затраты (сырье, технология), подделать и увеличить объемы молока и молочной продукции.

Объекты и методы исследования

В процессе работы использовались монографический, экономико-статистический, расчетно-конструктивный методы, модель пяти конкурентных сил М. Портера.

Объект исследования – рынок молока и молочной продукции. На молоко и молочную продукцию распространяются требования ГОСТов, ТУ и технического регламента Таможенного союза ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции».

Основные требования к молоку выдвигаются следующие:

- питьевое молоко должно быть изготовлено из цельного нормализованного и обезжиренного молока, с соблюдением гигиенических требований;
- на этикетке должна присутствовать надпись «Состав» и перечень входящих в него компонентов, а также масса нетто или объем, жирность, дата изготовления и срок годности;
- внешне представлять собой непрозрачную однородную, нетягучую, слегка вязкую, без хлопьев белка и сбившихся комочков жира жидкость. Если массовая доля жира более 4,7 %, допускается незначительный отстой жира, исчезающий при перемешивании;
- без посторонних привкусов и запахов;
- белый цвет. Допускается с синеватым оттенком для обезжиренного молока, со светло-кремовым оттенком для стерилизованного молока, с кремовым оттенком для топленого;
- плотность не менее 1024кг/м³;
- массовая доля белка не менее 3,0 %;
- кислотность, 20–21°Т;
- массовая доля сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО) не менее 8,2 %;
- не допускается фосфатаза или пероксидаза;
- группа чистоты не ниже 1;
- температура продукта при выпуске с предприятия 4±2 °С.

Результаты и их обсуждение

Одной из серьезных проблем на рынке молока и продуктов его переработки остается значительный удельный вес фальсифицированной продукции. Фальсификация пищевой продукции – это умышленное изменение качества, состава, свойств, а также предоставление заведомо неполной и недостоверной информации об ее истинных свойствах, качестве, производителе.

Как отмечает Макеева И.А. [Лютых, 2021], фальсификация продукции может быть связана с отсутствием терминологической системы, учитывающей сырьевое происхождение продукции, особенности технологических процессов, методы контроля и т. п. В этих случаях производители не всегда знают, как правильно и однозначно декларировать продукты, которые не попадают в правовое поле государственных регламентов. Но есть преднамеренный фальсификат. Против такого ни один регламент или стандарт не спасает – изготовителей фальсификата не интересуют требования нормативных документов.

В широком смысле фальсификация может рассматриваться как действия, направленные на ухудшение потребительских свойств продукции или уменьшение её количества при сохранении наиболее характерных, но несуществующих для её использования свойств [Быковская, Заикина, 2020]. Согласно закону от 02.01.2000 N 29-ФЗ (ред. от 13.07.2020) «О качестве и безопасности пищевых продуктов» [О качестве и безопасности пищевых продуктов], любой продукт, изготовленный не по ГОСТу, состав которого не полностью представлен в документации, может признаваться фальсифицированным.

Проанализировав работы авторов [Мамаев, Понаморева, 2017; Тригуб, Николенко, 2020; Андрейчикова, 2017; Сложенкина и др., 2020; Доценко и др., 2018; Малых, Полиектова, 2017; Конькава, Кошлякова, 2018; Сырых, 2018; Тюкалов, 2019; Лютых, 2021], мы систематизировали наиболее частые способы фальсификации молока и молочной продукции (рис. 1).

Потребители стараются находить методы определения фальсификации в домашних условиях. Однако недобросовестные производители научились изменять технологию таким образом, чтобы домашние методы определения давали ложноположительные результаты.

Одним из ярких примеров служит метод определения крахмала в молочных продуктах. При добавлении йода крахмал синееет или краснеет. Однако стоит применить не обычный, а модифицированный крахмал – и тест не работает.



Рис. 1. Систематизация способов, видов и методов фальсификации молока и молочной продукции
 Fig. 1. Systematization of methods, types and methods of falsification of milk and dairy products

Формирование цен на молочную продукцию происходит многоступенчато. Именно это создает благоприятные возможности для фальсификации продукции и неправомерного рыночного вмешательства. Фальсификация молочной продукции оказывает влияние на каждый субъект рынка. Так, у покупателей снижается доверие к производителю, что влечет за собой снижение потребительской активности и производители начинают терять прибыль. С рынка вытесняется качественная продукция, добросовестные товаропроизводители с трудом могут конкурировать с недобросовестными и теряют стимул продолжать свою деятельность, процветает мошенничество, государство теряет налоговые отчисления в бюджет, государственные субсидии не дают прогнозируемого результата, что в итоге ведет к подрыву экономической безопасности страны (рис. 2).

В существенной степени на фальсификацию молочной продукции влияние оказывают низкие доходы населения. Ассортимент бюджетных аналогов с добавлением растительного жира значительно шире, а дешевые молочные продукты более востребованы покупателями, испытывающими финансовые трудности. Как отмечает Алексеенкова Е. [Койнова, 2019], порядка 20 млн россиян живут за чертой бедности. И даже если потребители понимают, что они приобретают ненатуральный продукт, располагаемые средства вынуждают их покупать фальсификат, в котором, в лучшем случае, сохранена белковая составляющая, а молочный жир заменён на значительно более дешёвый растительный. Государство же, вместо

стимулирования роста реальных доходов населения, снижения цен на молочные продукты за счет увеличения их производства и уровня конкуренции, развития социальных программ, способствующих потреблению натуральных молочных продуктов, по сути поощряет недобросовестную конкуренцию, производство фальсифицированной молочной продукции и суррогатов.

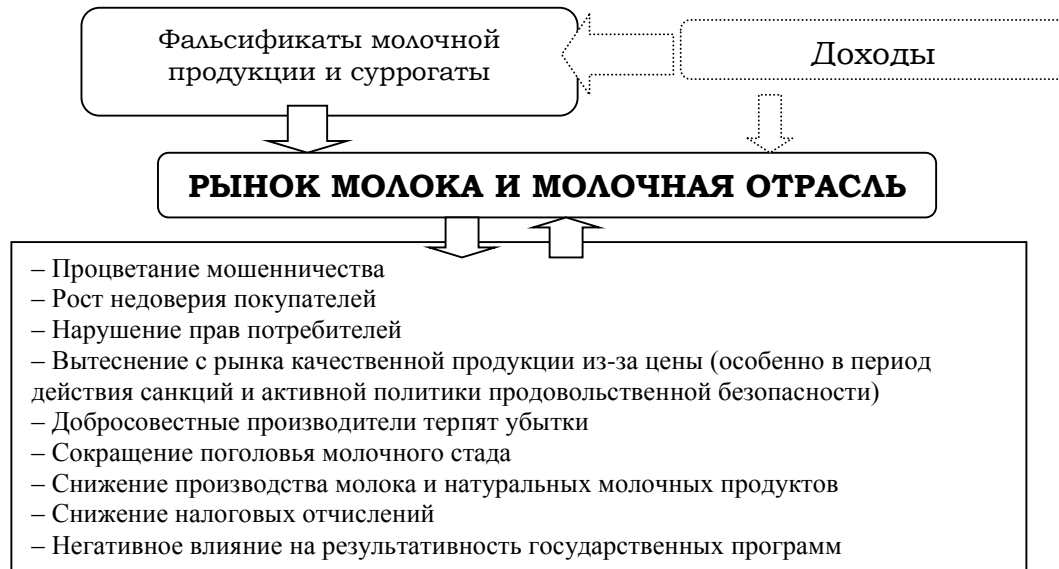


Рис. 2. Влияние фальсифицированной молочной продукции и суррогатов на рынок молока и состояние молочной отрасли

Fig. 2. The impact of falsified dairy products and surrogates on the milk market and the state of the dairy industry

В некоторой степени способствует развитию рассматриваемой проблемы незнание и непонимание покупателями характеристик продукта. Потребитель только после покупки и вскрытия упаковки может оценить продукт, но как говорилось выше, даже существующие бытовые методы не в полной мере позволяют определить натуральность молока и продуктов его переработки. Авторы статьи [Сложенкина и др., 2020] отмечают особенности маркировки молочных продуктов. Они направлены на визуальное разделение натуральных молочных продуктов от продуктов с заменителями молочного жира. С этой целью введены аббревиатуры «СЗМЖ» и «БЗМЖ», соответственно содержащие заменитель молочного жира и без содержания заменителя молочного жира. Таким образом, законодатель фактически перекладывает ответственность за потребление трансжиров на самого потребителя, не запрещая использование данных ингредиентов в производстве молочных продуктов, а только обязывая производителя указывать их наличие на упаковке.

Используя модель пяти конкурентных сил Майкла Портера, мы попытались оценить угрозы фальсификатов и суррогатов на рынок молока и молочной продукции. Данные проведенного анализа представлены в таблице 1.

Чем привлекательнее цена товаров-заменителей, тем прочнее их позиции на рынке. Товары-заменители (в нашем случае фальсифицированные товары) ограничивают потенциал роста цен на рынке. Участники рынка должны не только повышать качество продукции, но и дифференцировать свой товар от товаров-заменителей. Иначе они будут иметь невысокую прибыль и терять покупателей.

Затраты для входа в отрасль высокие, что должно усложнять для новых конкурентов появление на рынке. Однако недобросовестные товаропроизводители могут уменьшать влияние порога вхождения за счет фальсификации продукции (т. е. уменьшения затрат при производстве).

Таблица 1
 Table 1

Анализ конкуренции на рынке молока и молочной продукции
 по модели М. Портера
 Analysis of competition in the market of milk and dairy products according
 to the model of M. Porter

Параметр	Значение	Описание
Угроза со стороны товаров-заменителей	Высокий уровень	Товар не уникальный, существует значительное количество аналогов, в том числе и сомнительного качества
Угрозы внутриотраслевой конкуренции	Высокий уровень	Рынок насыщен товарами, внутри отрасли действует высокая конкуренция, товары на рынке могут отличаться дополнительными преимуществами, возможен ценовой демпинг, прежде всего недобросовестными производителями
Угроза входа новых конкурентов	Средний уровень	2–3 крупные компании, которые бы держали от 50 % рынка, отсутствуют. Инвестиции и затраты для входа в отрасль высокие. Отрасль развивается. Открыт доступ к каналам распределения.
Угроза рыночной власти покупателей	Высокий уровень	Объем продаж равномерно распределен между всеми покупателями. Существование менее качественных, но экономичных предложений.
Угрозы со стороны поставщиков	Низкий уровень	Широкий выбор поставщиков, низкие издержки при смене поставщика, высокая приоритетность отрасли для поставщиков.

Покупатели также оказывают влияние, отдавая предпочтение более дешевым, но менее качественным товарам. Таким образом, потребители могут «вытеснить» качественную продукцию более дешевым, но некачественными аналогами. Так как отрасль для поставщиков привлекательна, они заинтересованы в реализации продукции, пусть и фальсифицированной. Таким образом, фальсификаты подрывают рынок, нарушают установленные связи между продавцами и покупателями, заполняют прилавки некачественной, а в худшем случае вредной для здоровья продукцией.

Мониторинг информации показал различные данные о доле фальсификации молока и молочной продукции. Информация труднодоступная, не систематизирована и противоречива. Так, в 2020 году долю фальсификации молока и молочной продукции государственные органы оценивают следующим образом: Роспотребнадзор – 6 %, Роскачество – 1 %, Россельхознадзор – 17 % [Россельхознадзор видит значительное снижение доли фальсификата на продовольственном рынке; Доля фальсификата молочной продукции в России составляет 6 % – Роспотребнадзор; Роскачество: 1 % молочной продукции в России – фальсификат]. Альтернативные же негосударственные источники называют 30–50–70 %.

Ввиду значительных разночтений по данной проблеме для более объективной оценки уровня фальсификации молочной продукции нами предложен методический подход, в основе которого лежит сравнение производства товарного сырого молока в РФ и продуктов его переработки, исходя из данных официальной статистики и примерных норм расхода молока-сырья на единицу готовой продукции.

Как показывают наши расчеты, ежегодно в России производится молочных продуктов значительно больше, чем имеется молочного сырья для их производства. Дефицит молока за анализируемое пятилетие составлял от 10,2 млн тонн в 2016 г. до 8,5 млн тонн в 2020 г. Можно предположить, что разница обеспечивается за счет использования растительных жиров и других компонентов, заменяющих натуральное сырье. В 2019–2020 гг. наблюдается

сокращение дефицита молока, несмотря на рост производства молочной продукции с 33–34 % до 25,8 %. На наш взгляд, эти цифры показывают примерный уровень фальсификации молочной продукции. Россельхознадзор [В России доля фальсификата молочной продукции снизилась до 17 %.] также публикует данные о постепенном снижении доли фальсификации молока и молочной продукции: в 2018 году – 21,6 %, в 2019 – 19 %, в 2020 – 17 %.

Таблица 2
Table 2

Производство молока и молочной продукции в России, тыс. т
 Production of milk and dairy products in Russia, thousand tons

Наименование продукции	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год
Молоко пастеризованное	4993,9	4875,9	5581,7	5370,5	5417,2
Масло сливочное	229,4	246,7	256,5	257,0	282,0
Сыры	402,8	423,6	474,0	521,3	566,1
Творог	404,5	490,6	495,6	462,1	492
Сметана	585,8	569,5	540,2	511,7	518,4
Кефир	1068,1	1033,9	1021,8	968,5	886,5
Йогурт	778,8	790,8	783,5	827,4	808,1
Мороженое	407,1	376,9	438,6	410,3	314,4
Сгущенное молоко	472,0	478,1	246,6	299,2	228,0
Нормативный расход молочного сырья	30500	31500	32500	32300	33000
Фактический объем молока, реализованного в переработку	20300	21005	21493	22450	24470
Дефицит молока	10200	10495	11007	9850	8530
То же в процентах	33,4	33,3	33,9	30,5	25,8
Дополнительное поголовье коров, тыс. гол.	2418,2	2402,7	1851,5	1422,6	1241,2

В результате фальсификации молочных продуктов наиболее сильно страдает молочная отрасль сельского хозяйства. Поголовье молочного стада при сложившемся уровне молочной продуктивности недосчитывало ежегодно от 2 млн голов в 2016 г. до 1,2 млн голов в 2020 г. В результате повсеместно можно наблюдать заброшенные фермы, ежегодное сокращение поголовья коров, сельскую безработицу.

Государство принимает некоторые меры для снижения уровня фальсификации молочной продукции и оздоровления рынка. В 2018 г. была запущена система ветеринарной сертификации «Меркурий». С помощью электронной документации данной системы можно проследить весь путь продукта от производства сырья до момента реализации товара животного происхождения. Все звенья производственной цепочки теперь прозрачны, пройти электронную ветеринарную сертификацию обязаны все компании, участвующие в обороте товаров, вплоть до розничных торговых точек и объектов общественного питания. По мнению специалистов [Ситников, 2019; Лютых, 2021; Алексеенкова, 2020; Койнова, 2019; Хасанова, 2019], система ФГИС «Меркурий» положительно себя зарекомендовала. Распространение системы осуществлялось в 2 этапа: 1 этап с 1 июля 2019 г.: сыр, сливочное масло и сгущенное молоко; 2 этап с 1 ноября 2019 г.: кефир, йогурт, молоко в потребительской упаковке, мороженое и другие молочные продукты.

Между тем недостаток данной системы заключается в том, что право оформления ветеринарных сопроводительных документов имеют уполномоченные лица предприятий, у которых есть большой соблазн и возможность фальсифицировать ветеринарные

сопроводительные документы. Существует и ряд других проблем. Проверки продукции должны носить системный характер в течение года. А их результаты должны быть доступны и систематизированы.

Заключение

Для устранения фактов фальсификации продукции стоит действовать по нескольким направлениям.

1. Стимулирование привлечения инвестиций в молочное скотоводство для создания как крупных, высокотехнологичных предприятий, так и средних с использованием современных технологий содержания и кормления стада, что должно способствовать удешевлению молочного сырья.

2. Продолжать политику государственной поддержки сельского хозяйства, в частности, по молочному направлению.

3. На законодательном уровне запретить использование заменителей, растительных жиров в молоке и молочной продукции. За нарушение назначить штрафы в кратном размере от суммы выручки с продаж фальсифицированной продукции.

4. Запустить электронное приложение с перечнем недобросовестных производителей. А также установить на торговых площадях устройства, предоставляющие покупателю информацию о производителе. Достаточно занести название, чтобы на табло выходила вся основная информация, в том числе и о проверке на качество продукции.

5. Разместить стенды на торговых площадях, где четко объяснена разница между продуктами.

Проблема фальсификации продукции оказывает влияние не только на рынок и экономику молочной отрасли, но и на здоровье граждан: отравления различной степени тяжести, аллергические реакции, длительное воздействие повышенных содержаний тяжелых металлов в пищевых добавках, развитие сердечно-сосудистых, онкологических и других заболеваний, результаты деятельности недобросовестных производителей. Что только повышает важность решения данной проблемы.

Список источников

1. В России доля фальсификата молочной продукции снизилась до 17 %. URL: <https://agrobook.ru/news/61335/v-rossii-dolya-falsifikata-molochnoy-produkcii-snizilas-do-17> (дата обращения 01.06.2021).

2. Доля фальсификата молочной продукции в России составляет 6 % – Роспотребнадзор URL: <https://www.dairynews.ru/news/dolya-falsifikata-molochnoy-produktsii-v-rossii-so.html?type=mobile> (дата обращения 01.06.2021).

3. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации URL: <https://mcx.gov.ru/> (дата обращения 24.05.2021).

4. Роскачество: 1 % молочной продукции в России – фальсификат Seldon.News. URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/251708936> (дата обращения 0.06.2021).

5. Россельхознадзор видит значительное снижение доли фальсификата на продовольственном рынке. URL: <https://milknews.ru/index/rskhn-snizhenie-falsifikata.html> (дата обращения 01.06.2021).

6. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по республике Алтай. URL: <http://04.rosпотребнадзор.ru/index.php/san-nadzor/43-san-ottel/1234-22082011.html> (дата обращения 22.05.2021).

7. Федеральный закон от 02.01.2000 N 29-ФЗ (ред. от 13.07.2020) «О качестве и безопасности пищевых продуктов». Начало действия редакции – 28.08.2020: справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

Список литературы

1. Алексеенкова Е. 2020. Правда о молоке. Пищевая индустрия, 1 (43): 13–15.
2. Андрейчикова А.А. 2017. Проблемы фальсификации молока и молочной продукции.

Евразийское пространство: добрососедство и стратегическое партнерство: материалы VIII Евразийского экономического форума молодежи. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, том 3: 131–133.

3. Быковская Е.И., Заикина М.А. 2020. Актуальные вопросы фальсификации молочной продукции и меры ее предотвращения. Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях: материалы VII международной научно-практической конференции. Курск : Юго-Западный государственный университет: 90–94.

4. Доценко Е.Н., Заболотных М.В., Таганова Т.В. 2018. Способы фальсификации молочной продукции. Достижения науки и образования, 12(34): 68–69.

5. Койнова А.Н. 2019. На страже интересов молочной промышленности. Пищевая индустрия, 3 (41): 22–24.

6. Конькова Ю.С., Кошлякова И.Г. 2018. Методы измерений при обеспечении качества и безопасности молочной продукции. Прогрессивные технологии и процессы: материалы 5-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга»: 143–146.

7. Лютых О. 2021. Нормативная база молочной промышленности – залог успешного развития отрасли. Пищевая индустрия, 1 (45): 52–54.

8. Малых М.А., Поликтова Е.Л. 2017. Проблемы идентификации молочной продукции и пути их решения. Контроль качества продукции, 2: 6–9.

9. Мамаев Е.А., Понаморева Е.Д. 2017. Актуальные вопросы фальсификации молочной продукции. Зеленый коридор, 2: 116–119.

10. Руднева А.И., Воробей М.А. 2019. Проблемы идентификации и фальсификации молочной продукции. Моя профессиональная карьера, 1 (5): 40–49.

11. Ситников Д.Д. 2019. Фальсификация товаров и методы борьбы с ней . Экономическая безопасность: проблемы, перспективы, тенденции развития: материалы V Международной научно-практической конференции. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет: 861–865.

12. Сложенкина М.И., Матвеева Л.В., Федотова А.М., Мосолова Е.А. 2020. Проблемы фальсификации молочной продукции. Аграрно-пищевые инновации, 1(9): 66–73.

13. Сырых Т.Е. 2018. К вопросу о причинах фальсификации молочной продукции и способах ее выявления. Международный студенческий научный вестник, 6: 82.

14. Тригуб В.В., Николенко М.В. 2020. Изучение качества и безопасности молочных продуктов. Ползуновский вестник, 3: 44–47.

15. Тюкалов Д.В. 2019. Фальсификация товаров как угроза экономической безопасности Российской Федерации. Экономическая безопасность: проблемы, перспективы, тенденции развития: материалы V международной научно-практической конференции. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет: 934–941.

16. Хасанова, В.Е. 2019. Достоинства и недостатки внедрения федеральной государственной информационной системы «Меркурий». Молодой ученый, 46 (284): 28–31. URL: <https://moluch.ru/archive/284/63907/> (дата обращения: 02.07.2021).

References

1. Alekseenkova E. 2020. Pravda o moloke. [The truth about dairy]. Pishhevaja industrija, 1 (43): 13-15.

2. Andrejchikova A.A. 2017. Problemy fal'sifikacii moloka i molochnoj produkcii. [Problems of counterfeiting dairy products] Evrazijskoe prostranstvo: dobrososedstvo i strategicheskoe partnerstvo: materialy VIII Evrazijskogo jekonomicheskogo foruma molodezhi. Ekaterinburg :Ural'skij gosudarstvennyj jekonomicheskij universitet, tom 3: 131-133.

3. Bykovskaja E.I., Zaikina M.A. 2020. Aktual'nye voprosy fal'sifikacii molochnoj produkcii i mery ee predotvrashhenija. [Topical issues of counterfeiting of dairy products and measures to prevent it] Novye konceptual'nye podhody k resheniju global'noj problem obespechenija prodovol'stvennoj bezopasnosti v sovremennyh uslovijah: materialy VII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Kursk :Jugo-Zapadnyj gosudarstvenny juniversitet: 90-94.

4. Docenko E.N., Zabolotnyh M.V., Taganova T.V. 2018. Sposoby fal'sifikacii molochnoj produkcii. [Ways of falsifying dairy products]. Dostizhenija nauki i obrazovaniya, 12(34): 68-69.



5. Kojnova A.N. 2019. Na strazhe interesov molochnoj promyshlennosti. [Guarding the interests of dairy products] Pishhevaja industrija, 3 (41): 22-24.
6. Kon'kova Ju.S., Koshljakova I.G. 2018. Metody izmerenij pri obespechenii kachestva i bezopasnosti molochnoj produkcii. [Methods for measuring the quality of dairy products]. Progressivnye tehnologii i processy: materialy 5-j Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoi konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Kursk :Zakrytoe akcionernoje obshhestvo "Universitetskaja kniga": 143-146.
7. Ljutyh O. 2021. Normativnaja baza molochnoj promyshlennosti – zalog uspešnogo razvitija otrasli. [The regulatory framework of the dairy industry is the key to the successful development of the industry]. Pishhevaja industrija, 1 (45): 52-54.
8. Malyh M.A., Poliektova E.L. 2017. Problemy identifikacii molochnoj produkcii i puti ih reshenija. [Problems of identification of dairy products and ways to solve them]. Kontrol' kachestva produkcii, 2: 6-9.
9. Mamaev E.A., Ponamoreva E.D. 2017. Aktual'nye voprosy fal'sifikacii molochnoj produkcii. [Topical issues of falsification of dairy products]. Zelenyj koridor, 2: 116-119.
10. Rudneva A.I., Vorobej M.A. 2019. Problemy identifikacii i fal'sifikacii molochnoj produkcii. [Problems of identification and falsification of dairy products]. Moja professional'naja kar'era, T. 1. № 5: 40-49.
11. Sitnikov D.D. 2019. Fal'sifikacija tovarov i metody bor'by s nej. [Counterfeiting of goods and methods of combating it]. Jeko-nomicheskaja bezopasnost': problemy, perspektivy, tendencii razvitija: materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii.-Perm' :Permskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet: 861-865.
12. Slozhenkina M.I., Matveeva L.V., Fedotova A.M., Mosolova E.A. 2020. Problemy fal'sifikacii molochnoj produkcii. [Problems of counterfeiting dairy products]. Agrarno-pishhevyje innovacii, 1(9): 66-73.
13. Syryh T.E. 2018. K voprosu o prichinah fal'sifikacii molochnoj produkcii i sposobah ee vyjavlenija. [On the question of the reasons for the falsification of dairy products and how to identify it.] Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik, 6: 82.
14. Trigub V.V., Nikolenko M.V. 2020. Izuchenie kachestva i bezopasnosti molochnyh produktov. [Study of the quality and safety of dairy products.] Polzunovskij vestnik, 3: 44-47.
15. Tjukalov D.V. 2019. Fal'sifikacija tovarov kak ugroza jekonomicheskoi bezopasnosti Rossijskoj Federacii. [Counterfeiting of goods as a threat to the economic security of the Russian Federation]. Jekonomicheskaja bezopasnost': problemy, perspektivy, tendencii razvitija: materialy V mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii. Perm' :Permskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet: 934-941.
16. Hasanova V.E. 2019. Dostoinstva i nedostatki vnedrenija federal'noj gosudarstvennoj informacionnoj sistemy «Mercurij». [Advantages and disadvantages of the implementation of the federal state information system "Mercury"]. Molodoj uchenyj, 46 (284): 28-31. URL: <https://moluch.ru/archive/284/63907/> (accessed 02.07.2021).

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Жилинкова Ксения Борисовна, соискатель кафедры бухгалтерского учета и финансов Курской государственной сельскохозяйственной академии имени И.И. Иванова, г. Курск, Россия

Ksenia B. Zhilinkova, Candidate of the Department of Accounting and Finance, Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov, Kursk, Russia

УДК 659.1

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-707-716

Airbnb: обзор для будущих исследований

¹⁾ Климova Т.Б., ¹⁾ Богомазова И.В., ²⁾ Рахимбекова Ж.С.

¹⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, Победы, 85,

²⁾ Алматы Менеджмент Университет,
Казахстан, 050060, Алматы, ул. Розыбакиева, 227,
E-mail: tklimova@bsu.edu.ru

Аннотация. Airbnb привлекает все больше исследований в последние несколько лет. Компания считается подрывной силой в традиционной индустрии жилья. Преобладающая критика Airbnb заключается в том, что, поскольку их поставщики не придерживаются тех же нормативных стандартов (налогообложение, безопасность и пр.), что и традиционные поставщики жилья, они имеют несправедливое преимущество перед отелями. В результате Airbnb часто обвиняют в снижении спроса на отели, что приводит к соответствующему снижению доходов, средних ставок и заполняемости. Постоянные судебные иски против сервиса в различных городах Европы и США, встречные иски Airbnb, свидетельствуют об отсутствии понятной и эффективной системы регулирования данной сферы. Анализ показывает, что большинство государств еще не приняли окончательных решений относительно того, как реагировать на шеринг-платформы и какие эффективные надзорные механизмы при этом необходимы. Цель данной работы показать многогранность проблематик исследований Airbnb, ставшей вызовом для традиционной экономической модели, и обсудить гипотезу влияния роли регулирующих органов. Авторы отмечают бесспорную необходимость дальнейших академических исследований бизнес-модели Airbnb и изучение ее воздействия на различные секторы. В дискуссионном поле остаются ее глубокие последствия, которые, по мнению одних ученых, выступают как новые возможности для развития экономик, по мнению других – создают реальные проблемы, требующие внимания со стороны регулирующих органов.

Ключевые слова: шеринг-экономика, экономика совместного использования, Airbnb, регулирование, аренда жилья

Для цитирования: Климova Т.Б., Богомазова И.В., Рахимбекова Ж.С. 2021. Airbnb: обзор для будущих исследований. Экономика. Информатика. 48 (4): 707–716. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-707-716.

Airbnb: an overview for future research

¹⁾ Tatyana B. Klimova, ¹⁾ Irina V. Bogomazova, ²⁾ Zhanar S. Rakhimbekova

¹⁾ Belgorod National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

²⁾ Almaty Management University,
227 Rozybakiev St, Almaty, 050060, Kazakhstan
E-mail: tklimova@bsu.edu.ru

Abstract. Airbnb has attracted more and more research over the past few years. The company is considered a disruptive force in the traditional housing industry. A predominant criticism of Airbnb is that because its providers do not adhere to the same regulatory standards (taxation, security, etc.) as traditional lodging providers, they have an unfair advantage over hotels. As a result, Airbnb is often blamed for lower hotel demand, resulting in correspondingly lower revenues, average rates and occupancy rates. Constant lawsuits against the service in various cities in Europe and the United States, Airbnb counterclaims, indicate the absence of an understandable and effective regulatory system in this area. The analysis shows that most

states have not yet made final decisions on how to respond to sharing platforms and what effective oversight mechanisms are needed. The response to the sharing economy remains fragmented. The purpose of this paper is to highlight the multifaceted nature of Airbnb's research challenges that challenged the traditional economic model, and to discuss a hypothesis on the impact of the role of regulators on platforms. The authors highlight the undeniable need for further academic research on the Airbnb business model and its impact on various sectors. Its deep consequences remain in the discussion field, which, according to some scientists, act as new opportunities for the development of economies, while others create real problems that require attention from regulators.

Keywords: sharing economy, airbnb, regulation, rental housing

For citation: Klimova T.B., Bogomazova I.V., Rakhimbekova Zh.S. 2021. Airbnb: an overview for future research. Economics. Information technologies. 48 (4): 707–716 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-707-716.

Введение

Теорию совместного потребления в 2010 году предложили экономисты Р. Ботсман и Ру Роджерс [Botsman, Rogers, 2010]. После публикации их книги о росте совместного потребления, это словосочетание стало популярным и модным во многих средствах массовой информации. В процессе эволюции шеринговой экономики ученые выдвигали различные термины, отражающие ее значение. Одними из самых популярных терминов для описания этого относительно нового явления являются «экономика совместного использования», «совместное потребление», «одноранговая экономика». По сути, все термины означают одноранговый доступ к недостаточно используемым товарам и услугам, при котором совместное использование и доступность имеют приоритет перед владением, таким образом, совместная экономика создала новую экономическую модель, которая больше ориентирована на совместное использование ресурсов, чем на владение ими.

Несмотря на то, что в дискуссиях о совместной экономике отсутствуют окончательное определение того, что представляет собой шеринговая экономика, политики, ученые и практики считают, что это начало преобразований многих аспектов нынешней социально-экономической системы, переосмысление нашего образа жизни, позволяющего отдельным лицам, сообществам, организациям и политикам объединяться, расти и поддерживать определенные принципы.

В данном исследовании речь пойдет об одноранговом обмене услугами между потребителями и будет применяться термин «экономика совместного использования», где потребители предоставляют друг другу временный доступ к своим недостаточно используемым физическим активам (неиспользуемым мощностям), в том числе за деньги. Такого подхода к определению придерживаются большинство зарубежных авторов, характеризуя совместное использование платформ «потребитель-потребитель» (C2C), полагая, что в этом отличие от «совместного потребления» или «потребления на основе доступа».

Объекты и методы исследования

Объектной базой исследования выступает крупнейшая одноранговая служба гостеприимства Airbnb, бизнес-модель которой относят к шеринговой экономике. Для всестороннего изучения объекта исследования были изучены исследовательские публикации отечественных и зарубежных авторов, касающиеся различных проблем данного явления, аналитические отраслевые обзоры, представленные в открытых источниках, отдельные кейсы городов, являющиеся наиболее часто упоминаемыми в практике регулирования Airbnb и рассматриваемые в зарубежных академических исследованиях.

Есть некоторые причины полагать, что центр тяжести экономики совместного использования в настоящее время перенесен в развивающиеся страны и страны с переходной экономикой, которые сталкиваются с серьезными социально-экономическими и

экологическими проблемами, включая благосостояние, гендерное неравенство, устойчивость к изменению климата, разрушающаяся инфраструктура общественного транспорта и т. д. По мнению некоторых исследователей, именно развивающиеся рынки демонстрируют свою уникальную групповую динамику и представляют собой сильную стартовую площадку для совместного использования услуг [Cheng, 2016; Wallenstein, 2017]. Однако, большинство академических исследований экономики совместного использования проводились в западных регионах и с западной точки зрения. Данное исследование основывается на общетеоретических методах исследования, в частности, методах синтеза и анализа информации, выделении отдельных сторон проблематики исследования, структурировании. Модель исследования выстроена на принципах движения от общего к частному и относится к классу логических моделей.

Результаты и их обсуждение

Бизнес-модель Airbnb – крупнейшей одноранговой службы гостеприимства – можно отнести к категории «революционных» или «подрывных» инноваций. Новый онлайн-рынок для совместного использования неиспользуемого пространства, основанный на репутационном сервисе и доверии, как нематериальном капитале привлекает все больше пользователей в сферу шеринга. Кризис вертикального доверия гражданам Правительству, официальным СМИ (особенно проявившийся в эпоху COVID-19) ведет к росту так называемого горизонтального доверия, когда люди все больше доверяют информации, полученной из социальных медиа и ближайшего окружения.

Феномен Airbnb из-за его экспоненциального роста способствовал широкому спектру исследовательских тем и в последние годы в центре обсуждения многих ученых и практиков. Так, влияние Airbnb на гостиничную индустрию рассматривают в своих работах Чои К, Догру Т., Валько Д., Климова Т. и др. [Choi et al., 2015; Климова и др., 2019; Dogru et al., 2020; Валько, 2021]. Вопросы сотрудничества и участия в Airbnb потребителей или поставщиков затрагивают Лампинен А., Догру Т. [Lampinen et al., 2016; Dogru et al., 2019]. Ценовые факторы, определяющие свойства Airbnb, динамика спроса и предложения в экономике совместного использования явились предметом исследования Догру Т., Ван Д., Ян Ян и других зарубежных авторов [Dogru et al., 2020; Wang, 2017; Yang et al., 2018]. Проблемы регулирования и законодательства, касающиеся Airbnb и прочих поставщиков краткосрочной аренды, изучаются в трудах Р. Каплана, Дорин фон Бриль, С. Дольникер и др. [Kaplan, 2015; D. von Briel, 2021; Экономика..., 2019].

В дискурсе экономики совместного использования часто подчеркиваются ее последствия. Сторонники Airbnb утверждают, что сервис оказывает положительное экономическое влияние на гостиничные и туристские предприятия за счет увеличения доходов и занятости. Исследователи показывают, что Airbnb приносит пользу туристической индустрии, создавая новые рабочие места и источники дохода. К примеру, Левендис Д, Дикль М. в своей работе, изучая влияние Airbnb на экономику одного из городов США, указывают на создание 4480 дополнительных рабочих мест [Levendis et al., 2016]. С другой стороны, критики Airbnb предполагают, что нельзя игнорировать потенциальные неблагоприятные экономические последствия. Airbnb может негативно влиять на гостиничную отрасль и «подрывной» продукт, созданный Airbnb, трансформирует ее до такой степени, что подрывает доминирующие компании – гостиничные сети.

Множество исследований посвящено изучению зависимости между предложением на Airbnb и выручкой отелей в различных городах. Авторы выявили, что увеличение количества предложений на Airbnb на 1 % снижает выручку от гостиничных номеров на 0,03 % в десяти крупнейших городах США. Более поразительно то, что предложение Airbnb увеличилось более чем на 100 % с момента его создания в 2008 году, что привело к потере в среднем 3 % RevPAR для отелей в десяти городах США, которые исследовались авторами [Dogru et al., 2019].

Споры между Airbnb и гостиничными предприятиями выходят за границы нормативного конкурентного поля. Ассоциация отелей Нью-Йорка заявила, что Airbnb подвергает местных жителей рискам, предоставляя жилье приезжим террористам, а Airbnb, в свою очередь, доказывая свою пользу для города, предположила, что члены городского совета коррумпированы и получают взятки от отельеров. Таким образом, регулирующие органы Нью-Йорка и гостиничное лобби оказались по одну сторону в борьбе против Airbnb [Hofmann, 2019].

Спустя некоторое время в ноябре 2019 году иск к Airbnb подала французская ассоциация туризма АНТОР, обвинив в нарушении закона об агентах по недвижимости. Тогда французский суд обратился к высшей судебной инстанции Евросоюза, чтобы уточнить, действует ли закон в отношении сервиса. Парижские отельеры пригрозили остановить подготовку к Олимпийским играм 2024 года из-за соглашения сервиса Airbnb с Международным олимпийским комитетом, который согласился рекламировать компанию Airbnb как сервис для поиска жилья во время Олимпийских игр 2024 года в Париже. Отельеры заявили, что это соглашение совершенно неуважительно к профессионалам гостиничного бизнеса. По их мнению, сервис уклоняется от выплаты налога на проживание, не указывает четкие адреса арендуемых квартир и реквизиты налогоплательщиков.

Суд постановил, что странам ЕС не стоит запрещать деятельность Airbnb, если в этом нет необходимости с точки зрения борьбы с терроризмом, ограничений расизма или защиты прав потребителей и инвесторов. Это решение стало победой сервиса, так как означает, что регулирование его деятельности не будет ужесточено. Суд признал, что Airbnb не требуется лицензия агентства по недвижимости и что сервис предоставляет инструмент широкого профиля для поиска жилья в аренду, а не действует в качестве брокера.

В научном поле существует нехватка работ, которые изучают влияние экономики совместного использования на местную и региональную экономику, то, как «подрывные» инновации реконструируют текущие туристические системы (как меняются отношения туриста с принимающей стороной, аутентичность, конкуренция с традиционным сектором размещения и косвенное влияние на местное сообщество и системы государственных доходов). Остаются открытыми вопросы, как политики в области туризма, бизнес-сообщества и организации (например, ЮНВТО) реагируют на воздействие экономики совместного использования на индустрию туризма и гостеприимства.

Постоянные споры вызывает вопрос о роли регулирующих органов в шеринговой экономике, исследования в этой области кажутся еще менее развитыми, хотя и не являются тривиальными. Текущая литература указывает на то, что слабое взаимодействие многих стартапов, относящихся к совместному использованию, с государством на ранней стадии или отказ от них заставляет потенциальные регулирующие органы воспринимать эти стартапы как использование «лазеек» для незаконного бизнеса вместо разработки законной бизнес-модели. Несмотря на ряд преимуществ совместной экономики, критики заявляют, что многие бизнес-модели являются абстрактными. Компании, работающие на этих платформах, не имеют прямого контроля над продуктами или услугами своих платформ и играют роль посредников. Из-за отсутствия надлежащей нормативно-правовой базы существует серьезная неопределенность в бизнес-моделях шеринговой экономики. Исследования показывают, что некоторые города хотят использовать Airbnb для стимулирования туризма, в то время как другие хотели бы полностью запретить его или экспериментировать с правилами, основанными на вопросах налогообложения или безопасности [Платов и др., 2019; D. von Briel et al., 2021].

В России влияние Airbnb и проблемы краткосрочной аренды также начинают привлекать внимание профессиональных сообществ и государственных органов власти как на государственном, так и на муниципальном уровне. Главная претензия к модели шеринг-экономики в том, что основная ее доля, особенно в секторе гостеприимства, не подвержена регулированию и контролю со стороны государства и лишь косвенно находится под действием

законодательства. Пользователи социальных сетей обращают внимание, что Airbnb, как и другие сервисы, предполагающие совместное потребление, периодически подвергаются критике. Отметим, что еще в 2017 г. между Федеральным агентством по туризму и Airbnb был подписан договор о сотрудничестве, согласно которому стороны договорились о взаимодействии в реализации культурных проектов, нацеленных на развитие индустрии гостеприимства в Российской Федерации. Однако, договор был встречен резкой критикой со стороны российских отельеров. В апреле 2017 года Airbnb ликвидировал свое подразделение в России.

Анализ показывает, что большинство государств еще не приняли окончательных решений относительно того, как реагировать на шеринг-платформы и какие эффективные меры регулирования необходимы. В целом реакция на экономику совместного использования носит фрагментированный характер. При этом европейские города показывают более мягкое отношение к Airbnb, чем американские мегаполисы. К причинам этого, помимо культурных различий, можно отнести тот факт, что принятие более жестких мер в отношении Airbnb, возможно, связано с тем, что на территории США Airbnb функционирует дольше, чем в Европе и оказывает более сильное воздействие.

Основная претензия городских властей США к сервису – сокрытие информации об арендодателях и их доходах. Местные власти не хотят мириться с очевидной популярностью этой модели шеринга, отношения между властями и Airbnb продолжают оставаться напряженными.

Так, в целях борьбы с незаконной краткосрочной арендой городским советом Нью-Йорка в 2018 году был принят Закон о совместном использовании данных, который предполагал обмен данными платформ краткосрочной аренды, для того чтобы обеспечить контроль их деятельности в городе. В том же месяце Airbnb подали в суд на город, ссылаясь на Первую и Четвертую поправки к Конституции США и Федеральный закон о хранимых коммуникациях (SCA). В июне был принят скорректированный закон, вступивший в силу 3 января 2021 года, согласно которому ежемесячная отчетность стала квартальной.

Хотя условия обслуживания Airbnb для хозяев содержат право предпринимать любые действия в соответствии с действующим законодательством, в законе о совместном использовании данных четко указано, что платформа должна получить согласие от каждого хоста для предоставления необходимой информации городу. Хозяева, которые не дадут согласия на передачу своих данных городу и не хотят раскрывать свою деятельность городским властям, скорее всего, будут неактивны.

Ожидалось, что закон Нью-Йорка о совместном использовании данных станет дополнительным инструментом в арсенале города для борьбы с незаконной краткосрочной арендой, с тех пор как он был предложен, принят с поправками, существовали сомнения, относительно того, что это существенно повлияет на количество незаконной краткосрочной аренды в Нью-Йорке. Город получил большой объем данных о подозреваемых незаконных объявлениях с платформ краткосрочной аренды в 2019 году через повестку в суд, и на сегодняшний день на основе этих данных не было продемонстрировано каких-либо заметных крупномасштабных правоприменительных мер. Таким образом, данные не оказались ключом к соблюдению требований.

Некоторые города, которые получали данные в течение нескольких лет, например, Барселона, сообщают, что 80 % данных бесполезны – с неполными или неправильными адресами. Власти Нью-Йорка уже сообщили о широко распространенном мошенничестве на платформах краткосрочной аренды, и есть опасения, что недобросовестные хозяева будут скрывать свою личность и местонахождение своей собственности, чтобы избежать принудительных мер.

Хотя первоначальное влияние закона о совместном использовании данных было положительным, влияние коснулось только тех хостов, которые пока отказались дать согласие на передачу информации городу. Домовладельцы из Нью-Йорка, работающие с Airbnb, и их коллеги из других городов, оспаривающие законы о сборе информации,

продолжают доказывать, что требование сбора всей информации нарушает их права в рамках Четвертой поправки Конституции США.

После многих лет отсутствия ответственности новые законы о краткосрочной аренде с отчетностью платформы привели лишь к тому, что основные меры состояли в том, чтобы преобразовать краткосрочную аренду в долгосрочную, тем самым избежать законов, за которые несут ответственность хозяин и платформы.

В Лос-Анджелес легализовали совместное использование жилья, приняв постановления об обязательной системе регистрации с отчетностью платформы, которое вступило в силу 1 июля 2019 года. Несмотря на то, что с сайта Airbnb было удалено множество несоответствующих требованиям объявлений, при изучении тенденций краткосрочной и долгосрочной аренды видно, что большая часть ответственности платформы связана с простым преобразованием краткосрочной аренды в долгосрочную, особенно в отношении ключевых нормативных требований и даты их вступления в силу. В целом количество домов и квартир для краткосрочной аренды снизилось с пикового значения 18634 в июне 2019 г. до 3199 в феврале 2021 г. (снижение на 83 %), однако за тот же период количество домов и квартир для долгосрочной аренды возросло с 1194 до 9264 (более чем в 7 раз) [Inside Airbnb, 2021].

Торонто также ввел систему обязательной регистрации с отчетностью платформы. Регистрация началась 10 сентября 2020 года, а исполнение постановления – с 1 января 2021 года. По мере приближения даты вступления в силу в декабре сообщалось, что было зарегистрировано менее 10 % объявлений о краткосрочной аренде, Airbnb подтвердил, что с января «незарегистрированные объявления будут сняты с регистрации или заблокированы для размещения как краткосрочная аренда». Тенденции данных показывают, что вместо отмены регистрации объявлений Airbnb преобразовал их из краткосрочной аренды в долгосрочную. Между первой и второй неделями января 2021 года количество домов и квартир для краткосрочной аренды упало с 8362 до 2483 (снижение на 70 %), а домов и квартир для долгосрочной аренды – выросло с 3188 до 7668 [Inside Airbnb, 2021].

Таким образом, введение строгих ограничения на краткосрочную аренду (определяемую как бронирование менее чем на 30 дней) в Нью-Йорке, Лос-Анджелесе и Торонто, привело к всплеску объявлений, реклассифицированных как долгосрочные.

В таблице 1 представлены ограничительные меры, касающиеся краткосрочной аренды жилья в отдельных городах, где сервис Airbnb особенно популярен [Guttentag, 2018].

Таблица 1
Table 1

Ограничения краткосрочной аренды по всему миру
 Restrictions on short-term rentals worldwide

Амстердам	Аренда всего дома ограничена 60 днями в году, которая будет сокращена вдвое
Барселона	Краткосрочная аренда должна быть лицензирована, но новые лицензии не выдаются
Берлин	Арендодателям необходимо разрешение на аренду 50 % или более своего основного места жительства на короткий период
Лондон	Краткосрочная аренда целых домов ограничена 90 днями в году
Пальма де Майорка	Мэр объявил о запрете краткосрочной аренды квартир
Нью-Йорк	В большинстве случаев незаконная краткосрочная аренда, в 2018 году принят Закон о совместном использовании данных, предполагающий обмен данными
Париж	Краткосрочная аренда ограничена 120 днями в году
Сан-Франциско	Хозяева должны получить регистрацию бизнеса и сертификаты краткосрочной аренды. Полная аренда недвижимости ограничена 90 днями в году
Сингапур	Минимальный срок аренды государственного жилья – шесть месяцев подряд
Токио	Совместное использование жилья легализовано только в 2017 году. Ограничено 180 днями в году

Сдвиг краткосрочной аренды на долгосрочную, независимо от того, диктуется ли это рынком или нормативными актами, вызывает множество ключевых вопросов для городских рынков жилья. Считается, что это уменьшает количество жилья, доступного для постоянных жителей, где его и так не хватает. Однако исследования показывают, что принятие законов, запрещающих краткосрочную сдачу в аренду, по факту мало влияет на ситуацию. Эмпирические данные о влиянии краткосрочной аренды и эффективности политики по ее ограничению практически отсутствуют. И реальность в большинстве городов такова, что, несмотря на разнообразные попытки урегулировать процесс, правоприменение осложнено и проблемы, связанные с краткосрочной арендой, остаются. Тем не менее многие нормативно-правовые базы со временем развиваются, некоторые из них регулярно пересматриваются и модифицируются, а города постепенно начинают сотрудничать с Airbnb, даже если изначально существовала напряженность.

Анализ зарубежных источников показывает, что лоббирование становится основной движущей силой регуляторных изменений во многих европейских городах и в США. Нормативные акты обычно мотивируются законодателями, желающими уточнить правовой статус равноправного проживания. Хотя количество листингов падает в ответ на серьезные нормативные изменения (особенно штрафы), они быстро восстанавливаются. И если говорить о регулировании Airbnb в контексте влияния на ключевые показатели эффективности туристической индустрии, скорее всего, эта зависимость маловероятна. Изменения в правилах Airbnb вряд ли отразятся на количестве путешествий. В тех направлениях, где туристический спрос достаточно высок, чтобы вызвать негативные внешние эффекты, сектор однорангового размещения достаточно устойчив, чтобы приспособиваться к любым правилам, вводимым политиками.

Несмотря на множество споров вокруг Airbnb и ее бизнес-модели, компания продолжает развиваться. Стратегия компании не просто привлекать новых гостей, но и превращать их в защитников своего бренда. Генеральный директор Airbnb в своем интервью отмечает, что COVID-19 внес перемены, и одна из самых главных для миллиона людей в том, что они больше не привязаны к рабочему месту и могут работать там, где им удобно. Развитие технологий позволяет работать из дома, а благодаря Airbnb можно работать из любого дома.

Хотя работа платформы Airbnb начиналась как сервис для краткосрочной аренды, и в некоторой степени он таковым остается, тем не менее один из самых крупных сегментов Airbnb – это ежемесячная аренда. Таким образом, можно отметить эволюцию Airbnb от первоначальных корней краткосрочной аренды к длительному проживанию.

Является ли это просто случайным совпадением, что Airbnb, раскрывая тенденцию более длительного пребывания, умалчивает о вынужденном переносе десятков тысяч объявлений о краткосрочной аренде в долгосрочную с целью сохранения пользовательских данных в секрете – вопрос, который пока остается без ответа.

Компания продолжает работу над улучшением своего сервиса. В зимней версии Airbnb 2021 года было представлено 50 обновлений и инновационных решений. В мае 2021 года Airbnb запустил еще более гибкий поиск новых способов находить идеи для путешествий без привязки к конкретным датам или направлению. С момента запуска гибким поиском воспользовались 517 млн раз, добавились новые категории жилья, в том числе уединенное жилье, нестандартное жилье, luxury, предлагающее пятизвездочный сервис, добавилась возможность выбора жилья для людей с ограниченными возможностями. Новый поиск позволяет найти жилье на 12 месяцев вперед в отличии от ранее 6 месяцев. Кроме этого, новая версия позволила осуществить автоматический перевод 5 млн активных объявлений, и 500 млн отзывов были переведены на 62 языка. Центр помощи Airbnb ввел систему AirCover, обеспечивающую полную защиту для хозяев. Сервис обеспечивает страхование ответственности хозяев на сумму до 1 млн \$, страхование ответственности

организаторов впечатлений на сумму до 1 млн \$, защиту хозяев от ущерба на сумму до 1 млн \$, а также возмещение расходов на устранение ущерба от животных и многое другое.

Заключение

Квартальная выручка Airbnb за 3 квартал 2021 года выросла, и компания сообщила, что возобновление туризма на фоне повышения уровня вакцинации в четвертом квартале будет способствовать росту бизнеса аренды жилья для отдыха в 2022 году. Объем планируемых зарубежных поездок растет по мере того, как страны, включая США, начинают ослаблять ограничения, связанные с пандемией, для полностью вакцинированных туристов.

Компания Airbnb сообщила, что восстановление произошло в основном в Северной Америке и Европе – регионах с более высокой средней ставкой суточной аренды. В третьем квартале цены на бронируемое через сервис жилье выросли на 15 % по сравнению с предыдущим годом и составили в среднем около \$149 за ночь. Выручка выросла на 66,7 % до \$2,24 млрд, обогнав прогноз в \$2,05 млрд. Чистая прибыль выросла почти в четыре раза до \$833,9 млн по сравнению с предыдущим годом. Airbnb прогнозирует выручку за четвертый квартал в диапазоне от \$1,39 млрд до \$1,48 млрд. Аналитики в среднем ожидают 1,44 млрд, согласно данным Refinitiv [IPO Airbnb, 2021].

Превращение Airbnb в комплексного оператора сферы гостеприимства путем дальнейшей интеграции с сервисами каршеринга, доставки еды, бронирования билетов на местные экскурсии и развлекательные мероприятия – стратегические решения дальнейшего глобального развития компании. И остающиеся судебные издержки по искам о нарушении конфиденциальности не являются сдерживающими факторами для ее роста.

Необходимо понимать, что нормативно-правовая база не должна иметь непреднамеренных последствий в виде негативного воздействия на экономику совместного использования путем ее сдерживания, но должна поддерживать прозрачную и открытую конкуренцию, а также более широкие общественные интересы. Взаимосвязанный характер участников системы шеринговой экономики требует дальнейшего академического внимания и целостного подхода к пониманию этой быстрорастущей области как экономической возможности, так и устойчивой формы потребления. Представленный перечень проблем не является исчерпывающим списком, а скорее отражает широкий круг вопросов, которые были подняты в разных источниках. И хотя в последние годы их количество увеличилось, академическая литература по данной проблематике только зарождается и немало важных тем все еще остаются неисследованными.

Список источников

1. Выручка Airbnb выросла в 3 кв. благодаря вакцинированным туристам. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://ru.investing.com/equities/airbnb-inc-news> (дата обращения: 15 ноября 2021)
2. IPO Airbnb: оценка и наше мнение. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://sharespro.ru/content/ipo/8697-ipo-airbnb-ocenka-mnenie/> (дата обращения: 11 ноября 2021)
3. Экономика совместного потребления как новая экономическая модель. 2019. Бюллетень о текущих тенденциях мировой экономики. Аналитический центр при Правительстве РФ. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/23715.pdf> (дата обращения: 2 ноября 2021)
4. Guttentag D. 2018. What Airbnb really does to a neighbourhood? Electronic resource. Available at: <https://www.bbc.com/news/business-45083954> (accessed: 10 November 2021).
5. Inside Airbnb, NYC: Short-Term Rental Market Decimated in Advance of Data Sharing Law February 16, 2021 A Report by Murray Cox of Inside Airbnb Electronic resource. Available at: <http://insideairbnb.com/reports/nyc-short-term-rental-market-decimated-in-advance-of-data-sharing-law/> (accessed: 01 November 2021).
6. Wallenstein J., Shelat U. 2017. What's Next for the Sharing Economy? Electronic resource. Available at: <https://www.bcg.com/ennor/publications/2017/strategy-technology-digital-whats-next-for-sharing-economy.aspx> (accessed: 09 November 2021).

Список литературы

1. Валько Д.В. 2021. Развитие экономики совместного использования и ее влияние на экономический рост. Журнал экономической теории, 18 (1): 56–68.
2. Климова Т.Б., Богомазова И.В., Аноприева Е.В. 2019. Шеринг-экономика в индустрии туризма и гостеприимства: новые тренды и тенденции: Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика, 46 (2): 238–247.
3. Платов А.В., Тарчоков С.К. 2019. Airbnb в Москве и зарубежный опыт регулирования его деятельности. Научный вестник МГИИТ, 4 (60): 67–78.
4. Botsman R., Rogers R. 2010. What's Mine Is Yours: The Rise of Collaborative Consumption. New York: HarperBusiness.
5. Cheng M. 2016. Sharing economy: A review and agenda for future research International Journal of Hospitality Management, 57: 60–70
6. Choi K.H., Jung J.H., Ryu S.Y., S. Do Kim, Yoon S.M. 2015. The relationship between airbnb and the hotel revenue: In the case of Korea Indian Journal of Science and Technology, 8 (26): 1–8.
7. Dogru T., Mody M., Suess C. 2019. Adding evidence to the debate: Quantifying Airbnb's disruptive impact on ten key hotel markets Tourism Management, 72: 27–38.
8. Dogru T., Zhang Y., Suess C., Mody M., Bulute U., Sirakaya-Turk E. 2020. The effects of Airbnb on hotel performance: Evidence from cities beyond the United States Tourism Management, 79.
9. Dorine von Briel, Dolnicar S. 2021. The evolution of Airbnb regulation – An international longitudinal investigation 2008–2020. Annals of Tourism Research, 87.
10. Hofmann T. 2019. Airbnb in New York City: whose privacy rights are threatened by a Government Data grab? Actual Problems of Economics and Law, 4 (13): 1684–1709.
11. Kaplan R.A., Nadler M.L. 2015. Airbnb: A case study in occupancy regulation and taxation U. Chi. L. Rev. Dialogue, 82: 103–110.
12. Lampinen A., Cheshire C. 2016. Hosting via Airbnb: Motivations and financial assurances in monetized network hospitality. Paper presented at the CHI conference on human factors in computing systems.
13. Levendis J., Dicle M.F., The Economic Impact of Airbnb on New Orleans (October 20, 2016). Electronic resource. Available at: <https://ssrn.com/abstract=2856770> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2856770> (accessed: 01 November 2021).
14. Wang D., Nicolau J.L. 2017. Price determinants of sharing economy based accommodation rental: A study of listings from 33 cities on Airbnb. Com International Journal of Hospitality Management, 62: 120–131.
15. Yang Y., Mao Z. 2018. Welcome to my home! An empirical analysis of Airbnb supply in US cities Journal of Travel Research, 58 (8): 1274–1287.

References

1. Valko D.V. 2021. Development of Sharing Economy and its Impact on Economic Growth. Russian Journal of Economic Theory, 18 (1): 56–68.
2. Klimova T.B., Bogomazova I.V., Anoprieva E.V. 2019. Sharing-economy in tourism industry and hospitality new trends. Scientific bulletin of Belgorod State University. Series: Economics. Computer science, 46 (2): 238–247.
3. Platov A.V., Tarchokov S.K. 2019. Airbnb in Moscow and foreign experience of regulating its activity. Scientific Bulletin of MGIIT, 4 (60): 67–78.
4. Botsman R., Rogers R. 2010. What's Mine Is Yours: The Rise of Collaborative Consumption. New York: HarperBusiness.
5. Cheng M. 2016. Sharing economy: A review and agenda for future research International Journal of Hospitality Management, 57: 60–70
6. Choi K.H., Jung J.H., Ryu S.Y., S. Do Kim, Yoon S.M. 2015. The relationship between airbnb and the hotel revenue: In the case of Korea Indian Journal of Science and Technology, 8 (26): 1–8.
7. Dogru T., Mody M., Suess C. 2019. Adding evidence to the debate: Quantifying Airbnb's disruptive impact on ten key hotel markets Tourism Management, 72: 27–38.

8. Dogru T., Zhang Y., Suessc C., Modyd M., Bulute U., Sirakaya-Turkf E. 2020. The effects of Airbnb on hotel performance: Evidence from cities beyond the United States *Tourism Management*, 79.
9. Dorine von Briel, Dolnicar S. 2021. The evolution of Airbnb regulation – An international longitudinal investigation 2008–2020. *Annals of Tourism Research*, 87.
10. Hofmann T. 2019. Airbnb in New York City: whose privacy rights are threatened by a Government Data grab? *Actual Problems of Economics and Law*, 4 (13): 1684–1709.
11. Kaplan R.A., Nadler M.L. 2015. Airbnb: A case study in occupancy regulation and taxation. *U. Chi. L. Rev. Dialogue*, 82: 103–110.
12. Lampinen A., Cheshire C. 2016. Hosting via Airbnb: Motivations and financial assurances in monetized network hospitality. Paper presented at the CHI conference on human factors in computing systems.
13. Levendis J., Dicle M.F., The Economic Impact of Airbnb on New Orleans (October 20, 2016). Electronic resource. Available at: <https://ssrn.com/abstract=2856770> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2856770> (accessed: 01 November 2021).
14. Wang D., Nicolau J.L. 2017. Price determinants of sharing economy based accommodation rental: A study of listings from 33 cities on Airbnb. *Com International Journal of Hospitality Management*, 62: 120–131.
15. Yang Y., Mao Z. 2018. Welcome to my home! An empirical analysis of Airbnb supply in US cities. *Journal of Travel Research*, 58 (8): 1274–1287

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

Климова Татьяна Брониславовна, кандидат экономических наук, доцент, заведующая кафедрой, доцент кафедры международного туризма и гостиничного бизнеса Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Богомазова Ирина Викторовна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры международного туризма и гостиничного бизнеса Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Рахимбекова Жанар Сапаровна, кандидат экономических наук, доцент Школы менеджмента, Алматы Менеджмент Университет, г. Алматы, Казахстан

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tatyana B. Klimova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Associate Professor of the Department of International Tourism and Hotel Business, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Irina V. Bogomazova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Tourism and Hotel Business, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Zhanar S. Rakhimbekova, Candidate of Economic Sciences, Acting Associate Professor of the School of Management, Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan

УДК 378

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-717-725

Актуальные вопросы и анализ рынка образовательных услуг в постпандемийный период

¹⁾ Романович М.А., ²⁾ Хоссеин Мохсени, ¹⁾ Романович Л.Г., ¹⁾ Кузнецова И.А.

¹⁾ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Технологический университет имени Хаджеха Насира Туси

²⁾ Иран, 19991-43344, г. Тегеран, улица Молласадра, площадь Ванак, проспект Пардис № 17
E-mail: bel31rm@yandex.ru

Аннотация. В данной статье представлены актуальные аспекты рынка образовательных услуг с учетом происходящих в мире нестабильных экономических и политических процессов. В этой связи акцент уделяется образовательной сфере, как важному и необходимому фактору роста конкурентоспособности экономики страны на мировой арене. Качественное образование является неотъемлемым механизмом в обеспечении прогрессивного роста экономики каждого государства. Рынок образовательных услуг имеет специфику и недостаточно изучен, особенно в условиях кризисных ситуаций. В связи с этим авторами проанализировано современное состояние данного рынка на мировой арене, выявлены актуальные проблемы организации и функционирования рынка образовательных услуг. Рассмотрен и обобщен положительный международный опыт. В результате исследований выделены успешные примеры в ряде развитых стран, в частности, то, что организована комплексная инфраструктурная поддержка рынка образовательных услуг из различных источников. Авторами отмечена важная роль рынка образовательных услуг и даны практические рекомендации по их развитию в современных условиях. Рекомендации носят универсальный характер и могут применяться в практической деятельности федеральных и региональных органов законодательной и исполнительной власти, представителей вузов и субъектов образовательного бизнеса России, Ирана и других государств, нацеленных на развитие с целью повышения конкурентоспособности экономики страны.

Ключевые слова: образовательные услуги, пандемия, постпандемийный период, учебные заведения, вуз.

Для цитирования: Романович М.А., Hossein Mohseni, Романович Л.Г., Кузнецова И.А. 2021. Актуальные вопросы и анализ рынка образовательных услуг в постпандемийный период. Экономика. Информатика. 48(4): 717–725. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-717-725.

Current issues and analysis of the educational services market in the post-pandemic period

¹⁾ Marina A. Romanovich, ²⁾ Hossein Mohseni, ¹⁾ Lyudmila G. Romanovich,
¹⁾ Irina A. Kuznetsova

¹⁾ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
46, Kostyukov St., Belgorod, 308012, Russia

²⁾ K.N. Toosi University of Technology (KNTU)
Pardis Avenue №.17, Mollasadra Street, Vanak Square, Tehran, 19991-43344, Iran
E-mail: bel31rm@yandex.ru

Abstract. This article presents the current aspects of the educational services market, taking into account the unstable economic and political processes taking place in the world. In this regard, the emphasis is placed on the educational sphere, as an important and necessary factor for the growth of the competitiveness of the country's economy on the world stage. High-quality education is an integral mechanism in ensuring the progressive growth of the economy of each state. The market of educational services is specific and

insufficiently studied, especially in crisis situations. In this regard, the authors analyze the current state of this market on the world stage; identify the current problems of the organization and functioning of the market of educational services. The positive international experience is reviewed and summarized. As a result of the research, successful examples are identified in a number of developed countries, in particular, the fact that comprehensive infrastructure support for the educational services market is organized from various sources. Noting the important role of the market of educational services, the authors give practical recommendations for their development in modern conditions. The recommendations are universal in nature and can be applied in the practical activities of federal and regional legislative and executive authorities, representatives of universities, and educational business entities in Russia, Iran, and other countries aimed at development in order to increase the competitiveness of the country's economy.

Keywords: educational services, pandemic, post-pandemic period, educational institutions, university.

For citation: Romanovich M.A., Hossein Mohseni, Romanovich L.G., Kuznetsova I.A. 2021. Current issues and analysis of the educational services market in the post-pandemic period. Economics. Information technologies. 48(4): 717–725 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-717-725.

Введение

Пандемия во всем мире выступила в роли индикатора, выявив проблемы и слабые места в различных системах здравоохранения, экономики, социальной сферы, повлияла на сокращение производственного потенциала и соответственно – производительности труда. Что же касается сектора образовательных услуг, то кризис спровоцировал вызовы в этой сфере, рынок образовательных услуг в кратчайшие сроки был вынужден адаптироваться к произошедшим изменениям.

Тема анализа состояния рынка образовательных услуг, особенно в постпандемийный период, как объекта исследования является актуальной и интересной, так как данный сектор услуг представляет собой сложный механизм и мало изучен учеными. Более того, роль образовательных учреждений, как драйвера инновационного развития, также недостаточно изучена. Недостаточная степень проработки этой темы определила цель и задачи данного исследования.

Целью исследования является изучение мирового рынка образовательных услуг с учетом его текущего состояния в постпандемийный период и перспектив развития, оценка положения ряда стран на мировом рынке образовательных услуг и разработка рекомендаций по укреплению их позиций.

Согласно данным доклада Российского совета по международным делам (РСМД), пандемия значительно повлияла на работу большинства высших учебных заведений по всему миру и была практически приостановлена. Согласно проведенному исследованию Международной ассоциации университетов (IAU) в апреле 2020 года – 59 % вузов закрылись, а лишь 30 % частично продолжили работу с серьезными сбоями в системе. Около 24 % учреждений заявили, что их деятельность в значительной степени была приостановлена, но в процессе обучения были использованы цифровые технологии или самообучение. Примерно 67 % заведений было вынуждено заменить аудиторные занятия на онлайн-формат [Al-Samarrat, Gangwar, Gala, 2020].

Согласно данным организации ОЭСР, данный кризис, связанный с пандемией, выявил многие недостатки в системах образования, начиная от доступа к коммуникациям и оргтехнике, необходимым для онлайн-образования, так и благоприятным условиям, которые необходимы для сосредоточения внимания на обучении. Учителям и преподавателям также пришлось перестроить систему работы и адаптироваться к новым педагогическим концепциям, для которых они, возможно, не были подготовлены [OECD, 2020].

В этой связи наше исследование призвано устранить пробелы в существующих вопросах текущего состояния рынка образовательных услуг, разработать и предложить положения, позволяющие разрешить актуальные проблемы и возникающие ситуации.

Методология исследования

Методы, используемые в подходе данного исследования, являются эмпирическими. Источниками применяемой экономической информации служат публикации в периодической печати и данные, полученные от органов статистики. В процессе проведенного исследования авторы использовали различные общенаучные методы познания: анализ, синтез, абстрагирование, обобщение, логический метод и приемы экономического анализа. При обосновании результатов выводов и практических рекомендаций использовались основные положения экономической теории, научные исследования отечественных и зарубежных экономистов, законодательные акты РФ.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время сфера образовательных услуг во всем мире развивается ускоренными темпами, так как современное общество все больше начинает осознавать, что высококвалифицированный труд – это основа общественного развития, что делает образовательную сферу услуг одной из самых значимых областей. В этой связи следует, что в частности Россия и Иран, собственно, как и другие страны, нацелены на реализацию в этой сфере успешного международного опыта.

Образовательные услуги – это комплекс:

- 1) состоящий из процесса по воспитанию и обучению, выступающий в роли общественного блага, действует в интересах человека, семьи, общества и государства;
- 2) приобретаемых навыков, знаний, умений, опыта и компетенций в целях духовно-нравственного, интеллектуального, творческого, физического и профессионального развития человека, удовлетворения его образовательных интересов и потребностей.

Рассмотрим элемент «образовательные услуги» системы в развитых странах (США, Великобритания, Китай, Германия, Франция и других), где он является ключевым для формирования устойчивого развития экономики регионов и стран. На рис. 1, 2 представлен рейтинг стран мира в 2020 году по уровню образования, исходя из индекса (Education Index). Он выступает универсальным показателем, который отражает относительный уровень грамотности для конкретной страны и входит в общий перечень важнейших показателей Программы развития Организации Объединенных Наций (ПРООН) где это один из ключевых показателей социального развития. Для его составления привлекаются такие организации, как ООН, ЮНЕСКО и различные национальные статистические агентства, и он используется для расчета Индекса человеческого развития (ИЧР). Официально принято, что минимальное значение данного индекса, при котором страну можно называть грамотной, является значение 0,8.

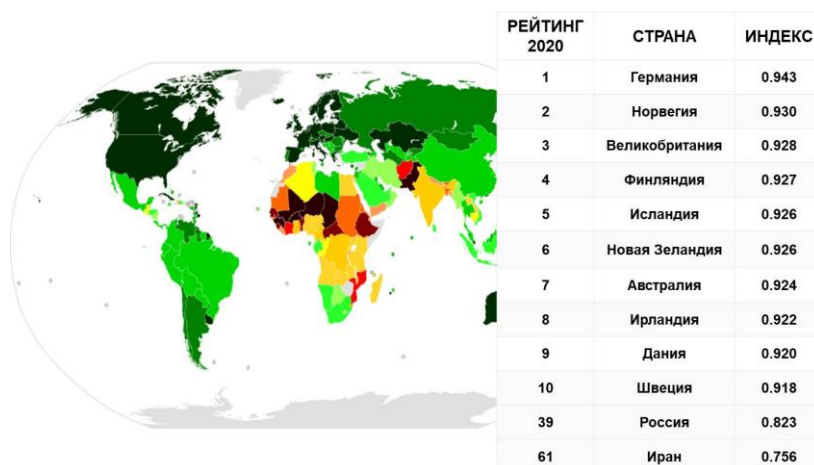


Рис. 1. Рейтинг стран мира по уровню образования с учетом Education Index 2020

[Рейтинг стран мира по уровню образования, 2020]

Fig.1. Ranking of countries in the world by the level of education, taking into account Education Index 2020

[Ranking of countries in the world by level of education, 2020]

Данный индекс измеряет достижения страны с точки зрения достигнутого уровня образования ее населения по двум основным показателям: индекс грамотности населения в возрасте 18+ (2/3 веса) и индекс общей доли учащихся, получающих начальное, среднее и высшее образования (1/3 веса). Согласно полученным данным лидерами рейтинга являются Германия, Норвегия, Великобритания, Финляндия, Исландия, Россия занимает 39 позицию, Иран – 61.

На рис. 2 представлен рейтинг национальных систем высшего образования. Согласно данным на рис. 2, лидерами рейтинга являются США, Швейцария, Дания, Сингапур, Швеция. Россия и Иран занимают 35 и 47 позицию соответственно [Safaie, Romanovich M., Romanovich L., Yarmolenko, 2020].

В странах-лидерах рейтинга сформированы различные устойчивые системы развития рынка образовательных услуг и вкладывается значительный капитал (рис. 3), что позволяет им применять различные технологии, внедрять новые разработки и технологии с целью совершенствования образовательной системы.

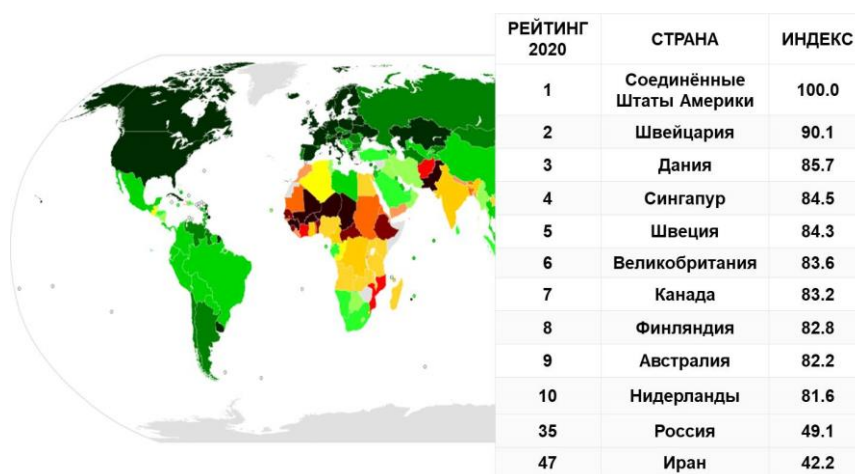


Рис. 2. Рейтинг национальных систем высшего образования Университеты 21: Рейтинг национальных систем высшего образования 2020 [Рейтинг стран мира по уровню образования, 2020]

Fig. 2. Ranking of national higher education systems Universities 21: Ranking of National Higher Education Systems 2020 [Ranking of countries in the world by level of education, 2020]

Как показали результаты исследования [Safaie, Romanovich M., Romanovich L., Yarmolenko, 2020], [Лунько, 2014], [Родионов, Кушнева, Рудская, 2013], [Сахапов, Абсалямова, Абсалямов, 2016] у государств-лидеров рынка образовательных услуг существует острая необходимость в создании устойчивой системы развития рынка образования, где в роли проводников выступают научные учреждения и университеты, приносящие в бюджет стран значительные доходы от реализации данного типа услуг.

Венчурные инвестиции в образовательные технологии за последние 3 года выросли в 2 раза и составили \$16 млрд в 2020 году. Инвесторы могут создать благоприятную динамику мирового рынка образования и профессиональной подготовки, инвестировав \$16 млрд в 2020 году по сравнению с \$8,2 млрд в 2018 году. Прогноз роста инвестиций в перспективе будет неравномерно распределяться по всему миру, что в значительной степени связано с поздними этапами мега-раундов. Немаловажно отметить тот факт (рис. 3), что Китай, обладающий крупнейшим рынком образования в мире, за последние пять лет возглавил список стран с высоким вкладом венчурных инвестиций в образование. На Китай приходится более 60 % всех глобальных инвестиций в образование, на США – 15 %, Индию – 14 % и Европу – 5 % в 2020 году.

Согласно данным [The World Bank, 2021], [Universities research taskforce draws on large membership, 2021], расходы государства на образование в мире составляют 4,5 % от ВВП, в

Европе – 4.7 % от ВВП, в России 3,3 %. Что касается Ирана, то с 2008 по 2015 год наблюдалось снижение инвестиций государства на статью расходов «образование», но с 2016 по 2017 год очевиден рост расходов и сокращение разрыва этого показателя от среднемирового значения.

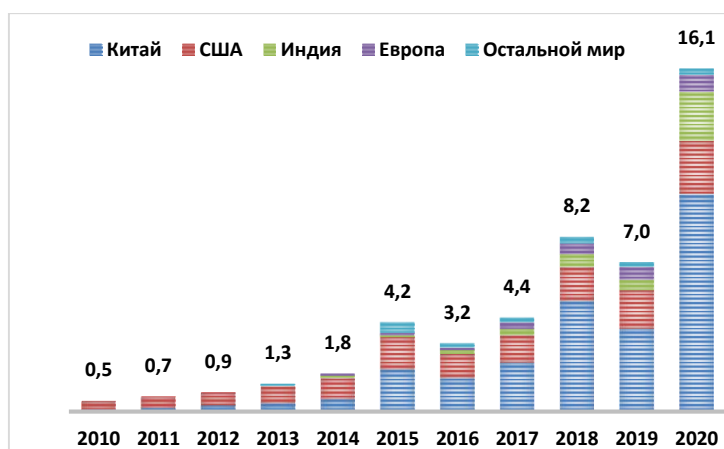


Рис. 3. Венчурные инвестиции в образовательные услуги, млрд долларов США [The world's smartest source of education market intelligence, 2021]. Source: HolonIQ
 Fig. 3. Venture capital investments in education services, US\$ billions [The world's smartest source of education market intelligence, 2021]. Source: HolonIQ

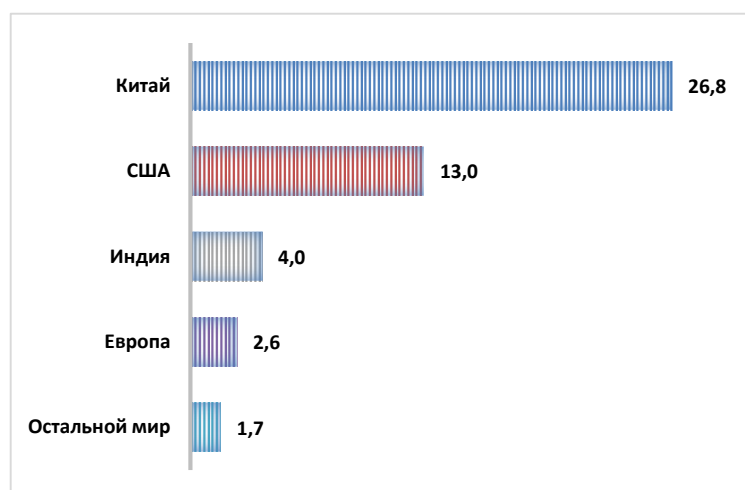


Рис. 4. Венчурные инвестиции в образовательные услуги за 10 лет, млрд долларов США [The world's smartest source of education market intelligence, 2021]. Source: HolonIQ
 Fig. 4. Venture capital investments in education services over 10 years, US \$ billions [The world's smartest source of education market intelligence, 2021]. Source: HolonIQ

Говоря об инвестициях и финансовой поддержке рынка образовательных услуг и системы в целом, многие страны, такие как США, Австралия, Новая Зеландия, Франция и Германия разработали пакеты экономических мер по поддержке высшего образования. В разных странах финансовая поддержка приобрела различную форму и механизмы ее оказания. Принимаемые меры включали поддержку сотрудников университетов и студентов в покупке и освоении технологий, позволяющих произвести быстрый и безболезненный переход к онлайн-образованию [Government support package for universities and students. Government of the United Kingdom, 2021], [Canada's COVID-19 Economic Response Plan, 2021], [Prime Minister announces support for research staff in Canada, 2021].

Однако не все страны смогли оперативно оказать финансовую и информационную поддержку. Согласно опросу, проведенному IUA [Al-Samarrai, Gangwar, Gala, 2020] в апреле 2020 г., на первых этапах пандемии международная мобильность студентов была полностью остановлена в 89 % учебных и высших заведений, где в 47 % учебных заведений иностранные студенты обучались непосредственно на местах. Около 60 % учебных организаций сразу перешли на международное дистанционное обучение, тогда как оставшиеся рассматривали этот вариант (рис. 5).

Согласно отчету Национальной ассоциации по делам иностранных студентов (NAFSA), из-за отмены или сокращения программ обучения только американские учреждения США в общей сумме потеряли около \$1 млрд и израсходовали \$ 683 млн на финансовую поддержку иностранных студентов и сотрудников: ученых, преподавателей. Суммы, потраченные другими странами, также были значительными.

Так, Министерство образования, культуры, науки, технологий и спорта Японии выделило 500 млн долл. финансовой поддержки студентам посредством предоставления им в различной форме денежных пособий. В Великобритании для студентов, обучающихся за рубежом в рамках получения высшего образования, были скорректированы правила грантов и образовательных кредитов. Для иностранных студентов во Франции распространялись общие меры поддержки в сочетании с мерами по решению визовых вопросов. Что касается инвестиций в научно-исследовательскую деятельность вузов, так, например, Правительство Великобритании выделило около 100 млн фунтов на борьбу с коронавирусом нового типа. Канада субсидировала \$450 млн на поддержку канадских ученых и исследователей, компенсацию образовательным учреждениям и исследовательским центрам до 75 % зарплаты, покрытие расходов научным сотрудникам, связанных с исследовательской деятельностью. Правительство таких стран, как Германия, Нидерланды, Канада, Польша также субсидировали проведение исследований в области кризисов, социальных наук с целью уменьшения социальных последствий пандемии.

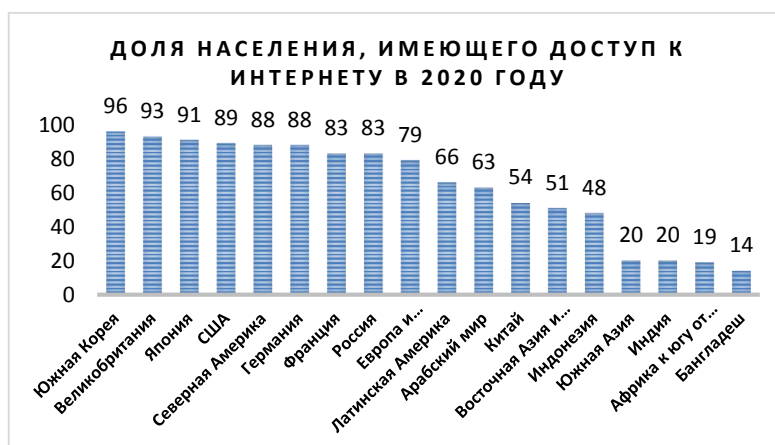


Рис. 5. Влияние пандемии на развитие высшего образования в мире. [Regional/National Perspectives on the Impact of COVID-19 on Higher Education. International Association of Universities, 2021]
 Fig. 5. The impact of the pandemic on the development of higher education in the world. [Regional/National Perspectives on the Impact of COVID-19 on Higher Education. International Association of Universities, 2021]

По оценкам экспертов, текущий кризис, возникший на рынке образовательных услуг, предоставил прекрасную возможность для внедрения нововведений и инноваций в процесс образования, позволяющий применять различные существующие и новые интерактивные и экспериментальные методы обучения, которые до пандемии применяли лишь некоторые образовательные и высшие учебные заведения. Например, можно выделить новые подходы для студентов, такие как: метод решения различных проблем, самообучение, взаимное

обучение, командное обучение, переключение учащихся в смешанный онлайн-офлайн режим, применение в процессе обучения интерактивных элементов, презентаций, моделирования и решение практических игр, что значительно расширит возможности в долгосрочной перспективе и повысит ожидаемый уровень качества онлайн-образования. Опрос, проведенный EUA, показал, что большинство учебных заведений намереваются после кризиса изучить и внедрить новые способы обучения (87 %) и расширить свои возможности в использовании цифровых технологий (70 %).

Заключение

Из результатов анализа следует:

1. Текущий кризис, вызванный пандемией, создал неблагоприятный климат для рынка образовательных услуг, что привело к необходимости его адаптации к произошедшим изменениям в кратчайшие сроки.

2. Авторами акцентировано внимание на то, что в рейтинге 2020 года стран мира по уровню образования с учетом Education Index являются лидерами Германия, Норвегия, Великобритания, Финляндия, Исландия, а Россия занимает 39 позицию (индекс 0,823), Иран – 61 (индекс 0,756), при минимальном значении индекса, где страну можно называть грамотной – 0,8.

3. В постпандемийный период необходимы новые меры поддержки научных институтов, университетов и учебных заведений, реструктуризации их деятельности с целью адаптации при повторных кризисных ситуациях и обеспечения непрерывности образовательного процесса.

4. Одним из путей выхода из сложившегося кризиса является опора на отечественное образование и науку, наукоемкое производство.

5. В странах-лидерах национальных систем высшего образования сформированы различные устойчивые системы развития рынка образовательных услуг и вкладывается значительный капитал. С учетом проанализированного успешного опыта стран и их принятых мер, считаем необходимым обеспечить поддержку финансовой устойчивости университетов, учебных заведений и научных институтов. Так, Китай за последние пять лет возглавил список стран с высоким вкладом венчурных инвестиций в образование. На него в 2020 году приходится более 60 % всех глобальных инвестиций в образование, на США – 15 %, Индию – 14 % и Европу – 5 %. Венчурные инвестиции в образование России и Ирана малы, и в этой связи некорректно утверждать об их глобальности, влиянии на процессы.

Настоятельной рекомендацией для таких стран, как Россия, является организация механизма частно-государственного финансирования и партнерства на рынке образовательных услуг в сопоставимых объемах стран-лидеров, что необходимо для обеспечения конкуренции и стратегического лидерства.

6. Среди важных мер финансовой и инфраструктурной поддержки целесообразно:

– выделение субсидий на научные исследования и эксперименты; создание дополнительных мест, оснащенных по последним технологиям, с доступом к интернет коммуникациям (поддержку цифрового развития вузов, модернизация цифровой инфраструктуры учебных заведений, научных организаций и университетов);

– осуществление поддержки сотрудников университетов, организация курсов и тренингов с целью получения компетенций по работе с новыми программными продуктами и обучения навыкам удаленной работы;

– оказание поддержки нуждающихся учащихся и студентов, предоставление доступа к учебной базе и ресурсам для обучения с учетом индивидуальных особенностей и в том числе потерявшим в связи с пандемией работу.

7. Успешность рынка образовательных услуг напрямую зависит от различных форм поддержки со стороны государства, субсидий, инвестиций со стороны частного сектора и разнообразия исследовательского потенциала, выступая в роли платформы для свободного

общения и коммуникации «креативного класса» разработчиков и потребителей научных идей, продуктов и технологий, а также свободного обмена знаниями и технологиями.

Рекомендации носят универсальный характер и могут применяться в практической деятельности государственных органов законодательной и исполнительной власти, представителей вузов и субъектов образовательного бизнеса России, Ирана и других государств, нацеленных на развитие рынка образовательных услуг с целью повышения конкурентоспособности экономики страны.

Список источников

1. Al-Samarrai, S., M. Gangwar and P. Gala. 2020. The Impact of the COVID-19 Pandemic on Education Financing, World Bank, Washington, DC URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33739> (accessed: June 14, 2021)
2. OECD 2020. “VET in a time of crisis: Building foundations for resilient vocational education and training systems”, Policy Brief, OECD, Paris. URL: https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=132_132718-fdwmrqsgmy&title=VET-in-a-time-ofcrisis-Building-foundations-for-resilient-vocational-education-and-training-systems (accessed: June 14, 2021)
3. Рейтинг стран мира по уровню образования. URL: <https://nonews.co/directory/lists/countries/education>. Universities research taskforce draws on large membership// ResearchProfessional News. (дата обращения: 13 июня 2021)
4. The world’s smartest source of education market intelligence. URL: <https://www.holoniq.com/research/> (accessed: June 13, 2021)
5. The World Bank Open Data. URL: <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=educationstatistics-all-indicators> (дата обращения: 13 июня 2021)
6. Universities research taskforce draws on large membership. URL: <https://www.researchprofessionalnews.com/rr-news-uk-2020-universities-research-taskforce-draws-on-large-membership/> (accessed: June 15, 2021)
7. Government support package for universities and students. Government of the United Kingdom. URL: <https://www.gov.uk/government/news/government-support-package-for-universities-and-students> (accessed: June 16, 2021)
8. Canada’s COVID-19 Economic Response Plan. Government of Canada. URL: <https://www.canada.ca/en/department-finance/economic-response-plan.html> (accessed: June 16, 2021)
9. Prime Minister announces support for research staff in Canada. Prime Minister of Canada. URL: <https://pm.gc.ca/en/news/news-releases/2020/05/15/prime-minister-announces-support-research-staff-canada> (accessed: June 16, 2021)
10. Regional/National Perspectives on the Impact of COVID-19 on Higher Education. International Association of Universities. URL: https://iau-aiu.net/IMG/pdf/iau_covid-19_regional_perspectives_on_the_impact_of_covid-19_on_he_july_2020_.pdf (accessed: June 16, 2021)

Список литературы

1. Лунько М.Е. 2014. Факторы и особенности развития мирового рынка услуг. NovaInfo, 24:1–4.
2. Родионов Д.Г., Кушнева О.А., Рудская И.А. 2013. Рейтинг университетов как инструмент в конкурентной борьбе на мировом рынке образовательных услуг. Инновации, 11 (181): 89–97.
3. Сахапов Р.Л., Абсалямова С.Г., Абсалямов Т.Б. 2016. Виртуальная мобильность как фактор повышения качества и доступности образования. Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева, 3 (91):140–146.
4. Safaie N., Romanovich M.A., Romanovich L.G, Yarmolenko I.V. 2020. Technopark and its role in improving the competitiveness of the country's economy: current issues in Russia and Iran. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 945, 012076.

References

1. Lun'ko M.E. 2014. Faktory i osobennosti razvitiya mirovogo rynka uslug [Factors and features of the global services market development], NovaInfo, 24:1–4.

2. Rodionov D.G., Kushneva O.A., Rudskaya I.A. 2013. Rejting universitetov kak instrument v konkurentnoj bor'be na mirovom rynke obrazovatel'nyh uslug [Rating of universities as a tool in the competitive struggle in the world market of educational services], *Innovation*, 11 (181): 89–97.

3. Sahapov R.L., Absalyamova S.G., Absalyamov T.B. 2016. Virtual'naya mobil'nost' kak faktor povysheniya kachestva i dostupnosti obrazovaniya. [Virtual mobility as a factor of improving the quality and accessibility of education] *I. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University Bulletin*, 3 (91):140–146.

4. Safaie N., Romanovich M.A., Romanovich L.G., Yarmolenko I.V. 2020. Technopark and its role in improving the competitiveness of the country's economy: current issues in Russia and Iran. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 945, 012076.

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

Романович Марина Алексеевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Marina A. Romanovich, PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Lifting and transport and road machines, BSTU named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia

Хоссеин Мохсени, кандидат наук по финансовому инжинирингу, доцент, доцент факультета промышленной инженерии Технологического университета имени Хаджеха Насира Туси (KNTU), г. Тегеран, Иран

Hossein Mohseni, PhD in Financial Engineering, Associate Professor, Assistant Professor of the Financial engineering Department, Faculty of Industrial Engineering, K.N. Toosi university of technology (KNTU), Tehran, Iran

Романович Людмила Геннадьевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и организации производства БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Liudmila G. Romanovich, PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Organization of Production, BSTU named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia

Кузнецова Ирина Анатольевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и организации производства БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Irina A. Kuznetsova, PhD in Economics, Associate Professor, Professor of the Department of Economics and Organization of Production, BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ PUBLIC AND BUSINESS FINANCE

УДК 336.7

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-726-734

Анализ макроэкономической динамики развития банковского сектора Ирака

Олейви Хуссейн Забун

Научный университет Аль-Карх,
Ирак, г. Багдад, Аль-Карх, Хайфский дворец Св. Хамады
E-mail: husszele@yahoo.com

Аннотация. На современном этапе восстановления экономики Ирака и реинтеграции ее в международное сообщество в качестве независимой экономической системы, особую актуальность приобретает анализ макроэкономической динамики развития банковского сектора Ирака и поиск возможностей для решения имеющихся проблем, прогнозирования и недопущения их в будущем. В силу того, что данное явление мало исследовано, проблема в такой постановке рассматривается впервые. В статье проведен анализ основных показателей экономики Ирака, в частности банковского сектора; рассмотрены основные проблемы и угрозы развития банковской деятельности в Ираке, а также приведены некоторые рекомендации, которые будут способствовать их решению.

Ключевые слова: прогнозирование, стабильность, ликвидность, доход, банковские риски, экономические показатели, денежные агрегаты.

Для цитирования: Олейви Хуссейн Забун. 2021. Анализ макроэкономической динамики развития банковского сектора Ирака. Экономика. Информатика. 48(4): 726–734. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-726-734.

Analysis of Macroeconomic Dynamics of the Iraqi Banking Sector Development

Oleiwi Hussein Zaboob

Al-Karkh University of Science,
Iraq, Baghdad, Al-Karkh Side, Haifa St. Hamada Palace
E-mail: husszele@yahoo.com

Abstract. At the present stage of rebuilding Iraq's economy and reintegrating it into the international community as an independent economic system, it is particularly relevant to analyze the macroeconomic dynamics of the Iraqi banking sector and to find opportunities to solve the existing problems, forecast and prevent them in the future. Due to the fact there is little research into this phenomenon, the problem is being addressed for the first time. The article provides an analysis of the main indicators of the Iraqi economy, in particular the banking sector; examines the main challenges and threats to the development of banking in Iraq; and provides some recommendations that will contribute to them.

Key words: forecasting, stability, liquidity, income, banking risks, economic indicators, monetary aggregates.

For citation: Oleiwi Hussein Zaboob. 2021. Analysis of Macroeconomic Dynamics of the Iraqi Banking Sector Development. Economics. Information technologies. 48(4): 726–734 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-726-734.

Введение

Современное состояние банковского сектора в Ираке нуждается в эффективном использовании имеющихся предпосылок, а также создании специальных условий для поэтапного восстановления и дальнейшего развития коммерческих банков и повышения их роли в экономике страны через удовлетворение потребностей в банковских услугах в первую очередь отечественного рынка.

Гармоничное, сбалансированное развитие банковской отрасли Ирака зависит как от состояния и перспектив развития каждого конкретного банка, наличия необходимых ресурсов и эффективной реализации его политики, так и от усиления действия системы мониторинга и прогнозирования банковских рисков.

В банковской сфере Ирака, в первую очередь, следует обратить внимание на совершенствование действующих и реализацию разработанных современных способов ведения бизнеса. С другой стороны, особую актуальность приобретает создание и развитие системы мониторинга, оценки, управления и прогнозирования финансовых рисков банковских институтов.

Также, дальнейшего решения требуют имеющиеся проблемы в банковском секторе Ирака, которые позволят экономике государства в целом достичь положительных результатов развития, что очень важно для исламского банкинга, который находится в зоне высокого риска и недоверия к его деятельности.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является процесс развития банковской деятельности Ирака.

В процессе научного исследования применялись различные методы, а именно: методы логического обобщения для раскрытия экономического, в частности банковского развития Ирака; системный и комплексный подходы – для обоснования и определения основных положений относительно эффективности банковской системы Ирака.

Результаты и их обсуждение

Чтобы понять истинную природу сегодняшних проблем формирования банковских рисков и выработать правильные решения по их нивелированию, важно проанализировать основные индикаторы развития экономики и предложить возможные сценарии развития на основе выявленных тенденций с учетом специфики Ирака в условиях политической нестабильности.

Основные показатели, характеризующие современное состояние экономического развития Ирака, наглядно представлены в таблице 1.

Таблица 1
Table 1

Основные экономические показатели Ирака за 2010–2020 гг. [Официальный сайт
Центрального банка Ирака; Официальный сайт ЦРУ США]
The main economic indicators of Iraq for 2010-2020. [Official website of the Central Bank
of Iraq; Official website of the US CIA]

Показатель	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Население (млн)	29,4	30,1	30,9	31,7	32,6	33,4	34,3	37,0	36,9	36,8	36,6
ВВП на душу населения (\$)	2020	2086	2145	2304	2530	2673	2438	4800	4584	5018	5546
ВВП (млрд ир. динаров)	131	111	138	186	218	232	224	130	151	172	172
Уровень безработицы (%)	15,3	15,3	15,2	15,2	15,4	15,1	16,4	16,4	16,1	16,0	14,8

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Уровень инфляции (индекс потребительских цен, годовая динамика в %)	11,0	6,37	6,0	5,6	6,1	1,9	2,2	1,4	1,2	0,1	0,4
Индекс потребительских цен	13	15	15	18	18	16	16	16	16	15	15
Торговый баланс (млрд \$)	33,5	-1,7	7,0	31,0	44,0	39,2	38,3	40,0	27,8	22,1	18,79
Объем экспорта (млрд \$)	63,7	39,7	51,7	79,6	94,2	89,7	83,9	85,2	74,1	62,1	57,56
Объем импорта (млрд \$)	30,1	41,5	43,9	47,8	50,1	50,4	45,2	42,9	40,9	39,1	38,77
Индекс коррупции	13	15	15	18	18	16	16	16	18	18	18
Доля промышленности, %	1,68	2,61	2,27	2,82	2,72	2,34	1,83	2,09	1,98	1,87	1,78

За последние 10 лет, как показывают представленные данные в таблице 1, экономика страны не развивается теми темпами, которые бы могли обеспечить ее стабильное развитие: уровень безработицы очень велик – 14,8 %; существует проблема отсутствия высококвалифицированных кадров; плохая инфраструктура не позволяет получать прибыль, которая соответствует потенциалу страны; снижается товарооборот.

Целесообразно проанализировать, оценить и выявить тенденцию денежных агрегатов в динамике, которые выступают инструментом воздействия на инфляцию в условиях неопределенности, и в значительной степени являются результатом изменения условий функционирования банковского бизнеса, сопряженного с рисками. Рассмотрим динамику изменения основной денежной массы Ирака за период с 2008 по 2020 годы (рис. 1).

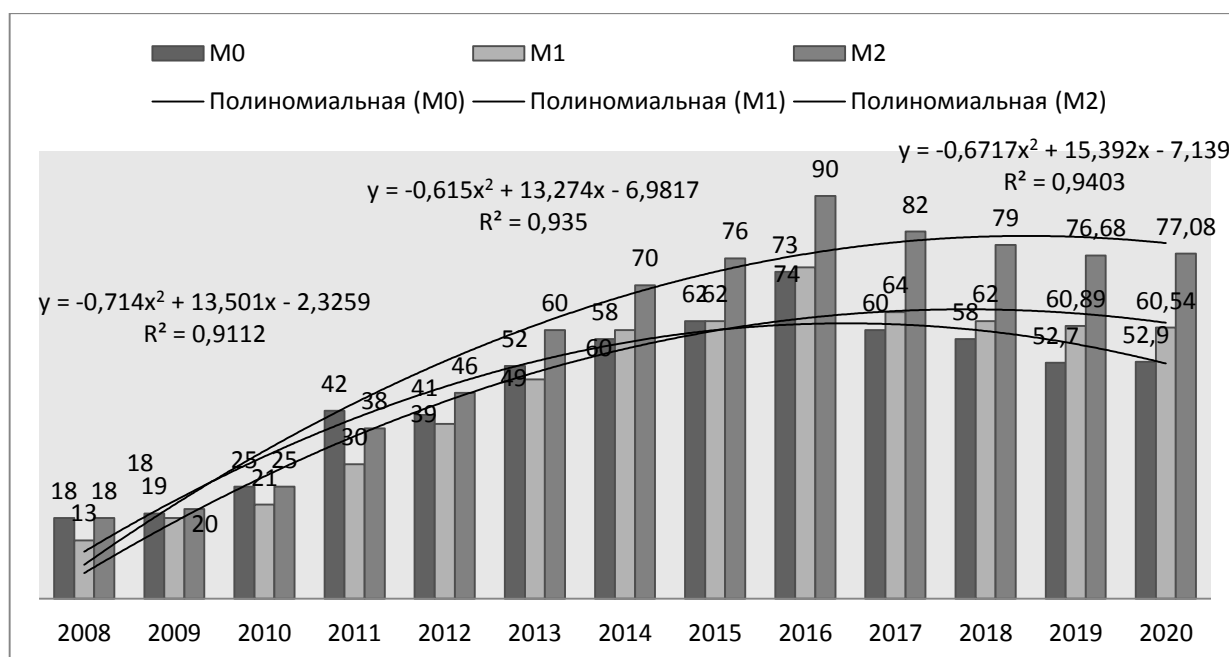


Рис. 1. Денежные агрегаты M0, M1, M2 за 2008–2020 гг., млрд динаров
 [Официальный сайт Центрального банка Ирака]

Fig. 1. Monetary aggregates M0, M1, M2 for 2008–2020, billion dinars
 [Official website of the Central Bank of Iraq]

Исследуемые денежные агрегаты имеют полиномиальную зависимость с весьма высокой степенью достоверности данных, о чем свидетельствуют полученные результаты R^2 . Так же наблюдается устойчивая тенденция уменьшения денежных агрегатов с 2016 года и по настоящее время. Сравним объем денежного агрегата M2 в соотношении с показателями других стран (рис. 2).

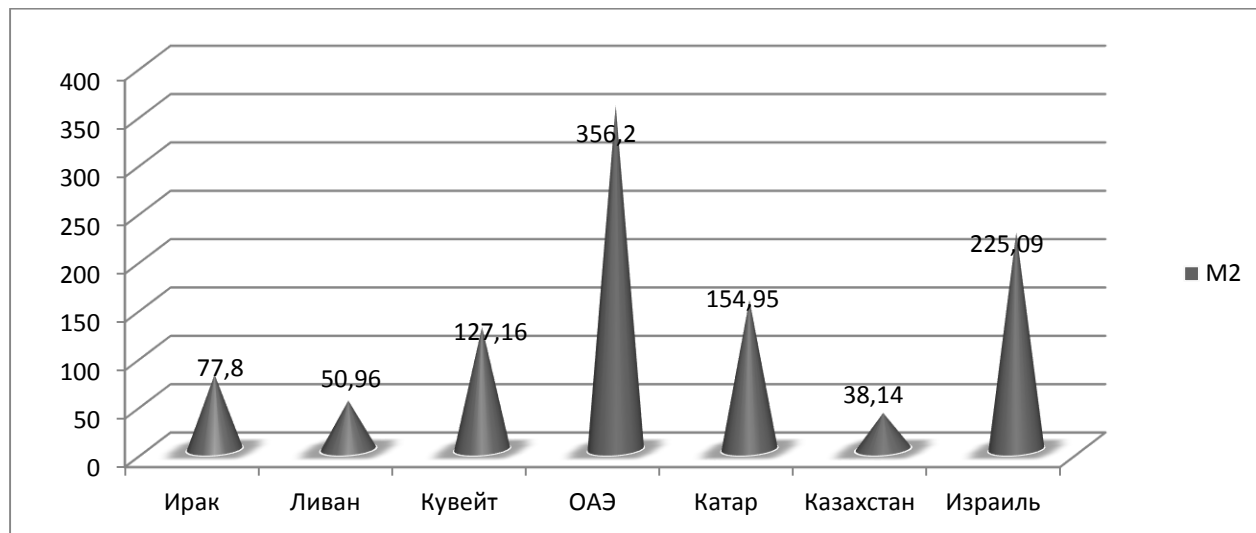


Рис. 2. Сравнительный денежный агрегат M2 по странам на 01.01.2021 г.
Fig. 2. Comparative monetary aggregate M2 by country as of 01.01.2021

По данным рисунка 2, Объединенные Арабские Эмираты показывают значительное превосходство по денежному агрегату M2, что свидетельствует о том, что ресурсы государства используются на благо каждого члена общества: местные жители освобождены от всех видов налогов, они оплачивают лишь малую часть коммунальных затрат, для строительства дома любой гражданин ОАЭ имеет право на беспроцентную ссуду сроком на 15–20 лет; имеют право на бесплатное образование в любой стране мира при условии, что после окончания учебного заведения вернуться на родину.

Основным ресурсом, обеспечивающим благосостояние Объединенных Арабских Эмиратов, является нефть. Однако добыча нефти в больших масштабах происходит также и в других странах мира, таких как Ирак, Россия и Мексика, но уровень жизни данных стран совершенно иной.

Достичь уровня макроэкономического развития ОАЭ в Ираке, России и Мексике возможно при выполнении определенных условий: деньги от продажи нефти не вкладывать в бизнес чужих стран и не злоупотреблять мошенничеством, а все до рубля вкладывать в собственную страну и людей, в ней живущих и трудящихся.

Показатели экономического роста, по данным, представленным Всемирным банком о развитии экономики Ирака за 2009–2020 годы, свидетельствуют, что среднее значение в течение этого периода составило 7,67%. Представленные Bankscore данные о доходности активов банковского сектора Ирака за период с 2009 по 2020 год, представленные на рисунке 3, показывают, что среднее значение в течение этого периода составило 2,74%. Наблюдается устойчивая положительная тенденция роста (в 2,82 раза) ВВП на душу населения за период с 2009 по 2020 год.

Банковская система является одним из важнейших инструментов функционирования хозяйственной системы и незаменима по целой совокупности своих свойств. Банковская система Ирака играет системную и образующую роль в финансово-кредитных отношениях при организации и осуществлении инвестиционных операций, что повсеместно присутствует и в мире, и в соседних странах, – в Ираке сегодня ситуация в банковской сфере разительно отличается от общепринятой практики.



Рис. 3. Динамика экономического роста и доходности активов банков Ирака в 2009–2020 гг.
 Fig. 3. Dynamics of economic growth and profitability of assets of banks in Iraq in 2009–2020

В совокупности в Ираке существует 55 банковских учреждений, из них 7 государственных и 16 иностранных, остальные – мелкие частные банки с небольшим уставным капиталом. Занимаются они либо текущим расчетно-кассовым обслуживанием, либо генерацией разного рода фиктивных авизо и счетов для конвертирования валюты при осуществлении импортных контрактов. Рассмотрим динамику показателей доступности банковской системы Ирака (табл. 2).

Таблица 2
 Table 2

Показатели доступности банковской системы Ирака за 2015–2020 гг.
 Indicators of availability of the banking system of Iraq for 2015–2020.

Показатель	2015	2016	2017	2018	2019	2018	2020
Банкоматы, шт. на 100 тыс. чел. (взрослых)	2,11	2,13	1,07	1,61	1,88	2,4	2,76
Отделения банков, шт. на 100 тыс. чел. (взрослых)	4,96	5,42	5,35	5,25	4,89	4,08	4,1
Банковский кредит частному сектору, % от ВВП	5,39	5,9	6,34	6,62	9,17	9,11	9,2

Представленные данные таблицы 2 свидетельствуют о низкой концентрации, недостаточной инфраструктуре банковской сферы, очень слабом уровне кредитования частного сектора. О развитости и доступности новых банковских продуктов в виде дебетовых и кредитовых карт наглядно свидетельствуют данные рисунка 4.

По сути тысячи офисов готовы обслуживать клиентов по всей стране, но доверие к банкам падает, что определяет низкую развитость и доступность банковских продуктов и услуг. Национальная банковская структура Ирака недостаточно развита и имеет ненадежную систему защиты. Это главная причина того, что финансы мигрируют в иностранные банки. Но главная проблема заключается в том, что нет целостности банковской системы (табл. 3). Из-за особенностей отношения населения к сегодняшним банкам и кредитно-финансовой

ситуации в стране многие из банков в действительности являются обычными меняльными конторами. Вся их деятельность сводится к спекуляции на разнице курсов и в скупке/продаже валюты оптом и в розницу. Еще они выполняют роль своеобразных сберкасс и расчетно-кассовых центров ЦБ страны, но валютные спекуляции – их основное занятие. Маленькие уставные капиталы банков не позволяют им заниматься основным банковским делом – кредитованием, а жажда быстрой наживы и недостатки в надзорной области приводят к регулярным скандалам с немногочисленными вкладчиками, рискнувшими доверить свои средства.

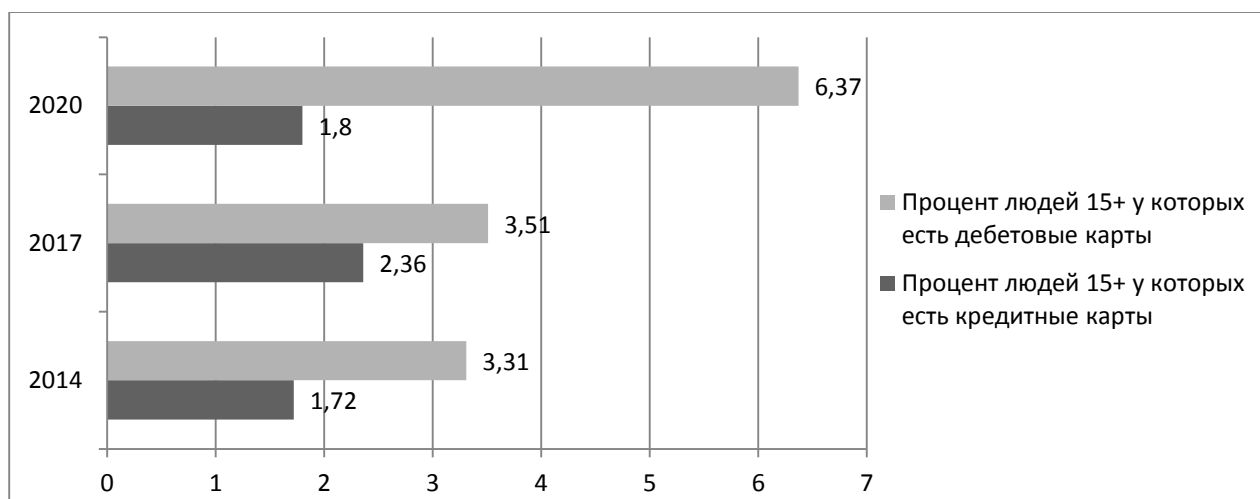


Рис. 4. Доля населения, имеющая дебетовые и кредитные карты за 2014–2020 гг.
 Fig. 4. The share of the population with debit and credit cards for 2014–2020

Таблица 3
 Table 3

Показатели стабильности банковской системы Ирака
 Indicators of stability of the banking system of Iraq

Показатель	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ликвидная задолженность, % от ВВП	31,22	30,17	30,4	33,23	41,97	42,92	43,1
Банковские кредиты, % от банковских депозитов	24,69	28,91	32,08	31,96	35,25	40,3	40,6
Ликвидные активы банков к депозитам и краткосрочным обязательствам	69,45	84,1	72,7	71,02	78,9	97,42	97,52
Сбережения, млрд долл.	83,37	91,19	64,36	64,89	29,15	18,57	18,49
Процентная ставка по кредитам, %	14,13	13,87	13,57	12,6	12,69	12,69	12,69

Наблюдается рост ликвидной задолженности на 37,5 % за последние шесть лет, снижаются сбережения на 78,8 %. К тому же, процентные ставки на вклады и депозиты в этих банках низкие и ничем не отличаются от ставок в государственных банках. Это препятствует взносам денежных средств от населения. При этом являясь банками по внешним, формальным признакам, они, по сути, организованы как меняльные конторы с рядом самых простых, базовых функций РКЦ. По мнению членов парламентской комиссии, решение проблемы кроется в изменении системы лицензирования банковской деятельности в стране, с тем, чтобы приблизить ее к мировым стандартам в этой области. В случае, когда ЦБ удастся прекратить деятельность подобных банков, то они тут же переводят средства в другие, аналогичные, либо открывают новые с тем, чтобы «выйти из-под удара» [Официальный сайт Центрального банка Ирака].

Кроме того, политика, проводимая государством, характеризуется недружелюбием по отношению к бизнесу, а также коррупция, полученная в наследство от старого режима, бюрократия, проблемы с транзакциями – все это не обеспечивает стабильность и делает банковский сектор в Ираке неэффективным (табл. 4).

Таблица 4
Table 4

Система показателей эффективности банковской системы Ирака
 The system of performance indicators of the banking system of Iraq

Показатели	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Активы банков к ВВП, %	28,91	32,08	31,96	35,25	34,93	35,12
Накладные расходы, %	2,36	2,1	2,5	3,22	3,28	3,49
Доходность активов банка, %	4,76	2,77	0,78	1,51	1,49	1,32
Рентабельность капитала банка, %	17,69	8,93	2,11	3,38	3,12	2,71
Непроцентный доход к совокупному доходу, %	81,19	69,86	79,1	71,5	68,5	58,7
Чистая процентная маржа, %	3,75	3,84	3,62	2,96	3,14	2,77
Соотношение доходов и расходов банка, %	33,09	42,09	42,1	41,73	39,71	38,6

Динамика доли активов банков к ВВП имеет выраженную тенденцию роста на 21,9 % только за четыре года при значительном снижении доходности на 79,3 % соответственно. Рентабельность капитала банков так же имеет тенденцию катастрофического уменьшения на 81,9 %, что свидетельствует о негативной тенденции. Соотношение доходов и расходов меньше 50 %. Специфика исламских банков четко выражена через результаты получения непроцентных доходов, которые преобладают над процентными и составляют 70 % и более в структуре доходов. С одной стороны, это может выступать положительным индикатором обеспечения снижения уровня банковских рисков. Непроцентные комиссионные доходы должны выступить направлением дальнейшего совершенствования в увеличении доходности и улучшения качества обслуживания клиентов по принципу универсализации.

Большинство счетов и платежных документов, предоставляемых местными банками для конвертации динара в иностранную валюту, являются фиктивными и не соответствуют действительности. То есть контракты, под которые эти документы оформлены – не существуют. Все это ни что иное, как вывод денежных средств за рубеж. Некоторые из этих средств используются для финансирования террористов, некоторые просто не возвращаются в страну, нанося тем самым удар экономике Ирака. В таких условиях правительству необходимо внести в бюджет пункты, ограничивающие и регулирующие импортные операции и запрещающие криминальные схемы импорта, активную роль в этом должен сыграть Центробанк страны.

Таким образом, решение вышеуказанных проблем позволит экономике Ирака, в частности банковскому сектору, достичь положительных результатов развития, так как исламский банкинг находится в зоне высокого риска и недоверия к его деятельности.

Заключение

Учитывая вышеизложенное, можно отметить, что дальнейшее развитие экономики Ирака, а в частности банковского сектора, становится более зависимым от способности каждого банка успешно организовать свою деятельность в рамках решения существующих проблем, которых в Ираке немало.

Поэтому одним из важных условий достижения основных целей экономического и банковского развития страны является необходимость развития системы мониторинга и прогнозирования банковских рисков, об эффективности которой свидетельствует мировая банковская практика.

Сегодня как никогда необходимы открытые обсуждения важных вопросов дальнейшего развития между правительством, гражданским обществом, бизнесом, учеными, учебными заведениями, финансовыми компаниями и другими заинтересованными сторонами о приоритетах будущих преобразований в государстве, регионах, в каждой отдельной отрасли.

Целостное видение банковского сектора требует как общего определения желаемого состояния, так и структуризации целей и их взаимосвязи.

Стратегическое развитие Ирака в значительной степени зависит от места, которое может занять его банковская система в системе межрегиональной и международной конкурентной стратегии.

Следует отметить, что глобализация мирового банковского бизнеса предопределяет качественное изменение статуса стран, а именно – превращает их в самостоятельных участников глобальных конкурентных отношений.

Вместе с тем развитие системы мониторинга и прогнозирования банковских рисков в Ираке обуславливает способность коммерческих банков отвечать на вызовы глобальной среды путем идентификации, наращивания защиты уникальных локальных конкурентных преимуществ.

Список источников

1. Официальный сайт Центрального банка Ирака. URL: <http://www.cbi.iq>TheCbi (дата обращения: 18.08.2021).
2. Официальный сайт ЦРУ США. URL: <https://www.cia.gov> (дата обращения: 12.08.2021).

Список литературы

1. Быканова Н.И. 2012. Проблемы и перспективы развития банковского кредитования малого бизнеса в России. *Экономические и гуманитарные науки*, 8 (247): 73–78.
2. Ваганова О.В. 2016. Методологические аспекты формирования механизмов интеграционного взаимодействия субъектов в региональных инновационных системах: автореферат дис. доктора экономических наук: 08.00.05: С.-Петербург. гос. экон. ун-т. Санкт-Петербург: 52.
3. Ваганова О.В., Коньшина Л.А. 2019. Особенности развития Финтех-индустрии в Российской Федерации на современном этапе развития. *Актуальные проблемы развития экономических, финансовых и кредитных систем: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции*. Белгород: ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ»: 97–101.
4. Ваганова О.В., Коньшина Л.А., Белоцерковский Е.Д. 2020. Перспективы развития ключевых сегментов финтеха в России. *Научный результат. Экономические исследования*, 6, 2: 3–13.
5. Вдовина Е.С., Гарбави Мохаммед Анвер Хиллави. 2017. Влияние состояния экономики Ирака на повышение капитализации компаний. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики*. Серия: Экономика и право, 5: 42–53.
6. Глаголев С.Н., Ваганова О.В. 2013. Финансовый механизм обеспечения инновационного процесса. *Всемирный журнал прикладных наук*, 25 (12): 1729–1734.
7. Каримов С.М. 2015. Основы современного риск-менеджмента и методики управления рисками. *Экономика и предпринимательство*, 11–1 (64–1): 850–858.
8. Мельникова Н.С., Мишенин В.В. 2018. Место банковского надзора в системе регулирования деятельности банков России. *Актуальные вопросы экономики, управления и менеджмента*: 69–73.
9. Олейви Х.З., Флигинских Т.Н., Тарасова Т.Ю., Букреева Л.М. 2018. Основные тенденции развития банковских кредитных продуктов для физических лиц. *Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки*, 3: 166–171.



10. Олейви Х.З., Флигинских Т.Н. 2019. Развитие риск-ориентированной оценки достаточности капитала компаний. Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки, 2: 145–149.
11. Руденко Л.Н. 2005. Восстановление и развитие экономики Ирака. Article printed from Институт Ближнего Востока. Electronic resource. Available at: <http://www.iimes.ru/?p=3897> (дата обращения: 12.08.2021)
12. Тарасова Т.Ю. 2020. Трансформация способов продвижения банковских продуктов в современных условиях. Научный результат. Экономические исследования, 6, 4: 110–118.
13. Юсеф Рагид. 2021. Перспективы развития электронных банковских услуг России. Научный результат. Экономические исследования, 7, 1: 5–12.

References

1. Bykanova N.I. 2012. Problems and Prospects of Bank Financing of Small Business in Russia. *Economics and Humanities*, no. 8 (247): 73–78. (in Russian)
2. Vaganova O.V. 2016. Methodological Aspects of the Formation of Mechanisms of Integration Interaction of Subjects In Regional Innovation Systems: dissertation ... Doctor of Economics: 08.00.05: St. Petersburg State University of Economics: 52. (in Russian)
3. Vaganova O.V., Konshina L.A. 2019. Features of the Development of the Fintech Industry in the Russian Federation at the Present Stage of Development. *Current Problems of the Development of Economic, Financial and Credit Systems: a collection of materials of the VII International Scientific and Practical Conference*. Belgorod: Publishing House "BelGU" NRU "BelGU": 97–101. (in Russian)
4. Vaganova O.V., Konshina L.A., Belotserkovsky E.D. 2020. Prospects for the Development of Key Segments of Fintech in Russia. *Research Result. Economic Research*, 6, 2: 3–13. (in Russian)
5. Vdovina E.S., Garbavi Mohammed Anver Hillavi, 2017. Influence of State of the Economy of Iraq on Increase in Capitalization of the Companies. *Modern Science: Current Problems of Theory and Practice*. Series: Economics and Law, 5: 42–53. (in Russian)
6. Glagolev S.N., Vaganova O.V. 2013. The Financial Mechanism To Ensure The Innovation Process. *World Journal of Applied Sciences*, 25 (12): 1729–1734. (in Russian)
7. Karimov S.M. 2015. Foundations of Modern Risk Management Techniques. *Economy and Entrepreneurship*, 11–1 (64–1): 850–858. (in Russian)
8. Melnikova N.S., Mishenin V.V. 2018. The Place of Banking Supervision in the System of Regulation of the Activities of Russian Banks. *Topical Issues of Economics and Management*: 69–73. (in Russian)
9. Oleiwi H.Z., Fliginskikh T.N., Tarasova T.Yu., Bukreeva L.M. 2018. The main Tendencies of Development of Banking Credit Products for Natural Persons. *Humanities, Socio-Economic and Social Sciences*, 3: 166–171. (in Russian)
10. Oleiwi H.Z., Fliginskikh T.N. 2019. Development of a Risk-Based Assessment of the Capital Adequacy of Companies. *Humanities, Socio-Economic and Social Sciences*, 2: 145–149. (in Russian)
11. Rudenko L.N. 2005. Recovery and Development of the Iraqi Economy. Article printed from Institute for the Middle East. Electronic resource. Available at: <http://www.iimes.ru/?p=3897> (date accessed: 12.08.2021) (in Russian)
12. Tarasova T.Yu. 2020. Transformation of Methods of Providing Banking Products in Modern Conditions. *Research Result. Economic Research*. 6, 4: 110–118. (in Russian)
13. Yousef Ragid. 2021. Prospects for the Development of Electronic Banking Services in Russia. *Research Result. Economic Research*, 7, 1: 5–12. (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

Олейви Хуссейн Забун, исследователь экономического факультета, Научный университет Аль-Карх, г. Багдад, Ирак

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Oleiwi Hussein Zaboon, Researcher of Faculty of Economics, Al-Karkh University of Science, Baghdad, Iraq

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 004.048

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-735-746

Распознавание паттернов двигательной активности нейронной сетью по непрерывным данным оптической томографии fNIRS

Асадуллаев Р.Г., Афонин А.Н., Щетинина Е.С.

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

E-mail: asadullaev@bsu.edu.ru, afonin@bsu.edu.ru, 1198621@bsu.edu.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке и апробации архитектуры нейронной сети для классификации паттернов двигательной активности по входным данным с оптического томографа. Целью данной работы является создание нейронной сети, способной осуществлять поиск паттернов двигательной активности в непрерывно поступающем сигнале с оборудования. В работе были проанализированы три типа архитектур нейронных сетей NN_LSTM, NN_ConvLST, NN_ResNet, каждая из которых представляет оригинальный подход для поиска логики в данных временных рядов. Подготовлен набор нейрофизиологических данных, полученных с оптического томографа, на основании которого проводилась апробация и качественная оценка нейронных сетей. Для этого был разработан план проведения эксперимента с учетом специфики физических основ получаемого сигнала, в частности запаздывание и инерция окси- и деокси- гемоглобина в крови. Построенный тайминг эксперимента позволяет однозначно идентифицировать события во время проведения эксперимента с целью выявления факта выполнения целевых команд испытуемым. Проведено обучение моделей нейронных сетей на двух целевых классах (сжать и разжать кисть руки). В результате показано, что модель NN_ResNet, адаптированная для обработки временных рядов, дает наилучший результат точности. Следующим этапом стало обучение моделей на трех классах (добавился класс иной двигательной активности). В результате достигнута наилучшая точность для модели NN_ResNet (accuracy 91 %). Таким образом, получена модель нейронной сети глубокого обучения, способная идентифицировать двигательные паттерны мозговой активности по данным fNIRS, в которых записан сторонний сигнал помимо целевых команд.

Ключевые слова: интерфейс мозг-компьютер, остаточная нейронная сеть, оптическая томография, рекуррентная нейронная сеть, сверточная нейронная сеть, нейронная сеть с длинной краткосрочной памятью.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-01178.

Для цитирования: Асадуллаев Р.Г., Афонин А.Н., Щетинина Е.С. 2021. Распознавание паттернов двигательной активности нейронной сетью по непрерывным данным оптической томографии fNIRS. Экономика. Информатика, 48 (4): 735–746. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-735-746.

Recognition of patterns of motor activity by a neural network based on continuous optical tomography fNIRS data

Rustam G. Asalullaev, Andrey N. Afonin, Ekaterina S. Shchetinina

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

E-mail: asadullaev@bsu.edu.ru, afonin@bsu.edu.ru, 1198621@bsu.edu.ru

Abstract. The article is devoted to the development and testing of the architecture of a neural network for the classification of patterns of motor activity according to the input data from an optical tomograph. The

aim of this work is to create a neural network capable of searching for patterns of motor activity in a continuously arriving signal from equipment. The work analyzed three types of neural network architectures NN_LSTM, NN_ConvLST, NN_ResNet, each of which represents an original approach for finding logic in time series data. The dataset of neurophysiological signals obtained from an optical tomograph was prepared for approbation and qualitative assessment of neural networks were carried out. The plan of the experiment was developed taking into account the specifics of the physical foundations of the received signal, for example, the lag and inertia of oxy- and deoxy-hemoglobin in the blood. The experiment timing allows to unambiguously identify events during the experiment in order to identify the fact of the execution of target commands by the experiment subject. The training of neural network models was carried out in two target classes (compress and unclench the hand). The next stage was the training of models in three classes (a class of other motor activity was added). As a result, the best accuracy was achieved for the NN_ResNet model (accuracy 91%). In this way, obtained the deep learning neural network model capable of identifying motor patterns of brain activity according to fNIRS-data, in which an external signal is recorded in addition to target commands.

Keywords: brain-computer interface, residual neural network, optical tomography, recurrent neural network, convolutional neural network, long short-term memory neural network.

Acknowledgements: research is supported by the RFBR grant 20-08-01178.

For citation: Asadullaev R.G., Afonin A.N., Shchetinina E.S. 2021. Recognition of patterns of motor activity by a neural network based on continuous optical tomography fNIRS data. Economics. Information technologies, 48 (4): 735–746 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-735-746.

Введение

Интерфейс мозг-компьютер (Brain-Computer Interface (BCI)) – автоматизированная система, позволяющая управлять компьютеризированными внешними устройствами, используя данные мозговой активности человека (нейробиоуправление).

Модели BCI, использующие метод получения данных ЭЭГ, характеризуются высокой скоростью работы и используются в задачах нейробиоуправления, однако используются не так часто по сравнению с другими методами сбора данных. Зачастую данные ЭЭГ слишком зашумлены из-за неустойчивости системы сбора данных [Y. Tomita et al., 2014]. Модели BCI, использующие данные фМРТ, имеют лучшие результаты классификации паттернов выполнения движения. Однако они требуют значительных технических и материальных ресурсов для сбора и обработки данных, а также оборудование является жестко лабораторным [Wang, WuReal, 2018]. Системы BCI, основанные на методе сбора данных мозговой активности fNIRS, отличаются более высокими темпами сбора и классификации полученных данных, более низкой стоимостью их получения по сравнению с фМРТ, более высоким качеством полученных «сырых» данных по сравнению с ЭЭГ и не требуют громоздкого лабораторного оборудования. Модели BCI, основанные на данных fNIRS, могут использоваться в режиме реального времени, что позволит поднять их спрос и использовать в повседневной жизни.

Разрабатываются модели BCI, работающие с использованием нескольких методов сбора данных мозговой активности (например, ЭЭГ и fNIRS) [Naseer, Hong, 2015]. Такие модели носят название двухконтурных моделей. Сущность заключается в том, что по одному контуру BCI регистрирует факт совершения какого-либо движения или действия человека, а по другому контуру BCI получает прошедший классификацию паттерн движения. Подобные модели BCI являются более эффективными и точными, однако имеют большую стоимость и требования к аппаратным ресурсам, по сравнению с одноконтурными моделями. В некоторых исследованиях строились BCI на двойной и тройной гибридной обработке данных. В данных исследованиях были собраны и проанализированы данные ЭЭГ и fNIRS, при этом данные fNIRS проходили классификацию дважды по различным контурам [Sung C. Jun. 2018].

Подходы построения интерфейса мозг-компьютер, основанные на совмещении различных видов мозговой активности, к примеру, fNIRS-томографии и ЭЭГ и других

комбинаций, отличаются сложной технической реализацией, а также большими затратами ресурсов. Для практической реализации ВСИ требуются подходы, обеспечивающие достаточное качество работы с минимально допустимым числом элементной и программной базы.

Разрабатываемые средства настоящего исследования ориентированы для построения ВСИ управления бионическими протезами. В частности, управления бионическими протезами кисти руки. Результатом работы fNIRS являются исходные сигналы, представляющие собой многомерные временные ряды. В настоящее время все большую обоснованную популярность при обработке многоканальных временных рядов получают нейронные сети глубокого обучения. Специфика нейронных сетей позволяет интегрировать слои различного назначения с целью формирования гибких архитектур для решения специфических задач. Таким примером может служить архитектура для обработки временных рядов с предварительным извлечением признаков, включающая слои CNN и LSTM. Такие сети способны не только хорошо формировать признаки входных данных, но и находить зависимости данных во времени, что позволяет более точно классифицировать временные ряды.

В исследовании оцениваются временные ряды данных с учетом пространственной и временной логики изменения fNIRS-сигнала. Основной задачей исследования является проверка возможности применения нейронных сетей для классификации паттернов по непрерывному сигналу, поступающему с оборудования fNIRS, который включает широкий спектр возможных сигналов, отличающихся от целевых.

Методы исследования и план эксперимента

В настоящем исследовании применялся оптический томограф NIRSport Model 88 производства NIRx Medical Technologies (Germany). Данная модель NIRС-томографа использует 16 датчиков (оптодов) (8 излучателей и 8 детекторов). Датчики крепятся к специальной шапке по международной системе «10–20» или «10–10». Частота регистрации данных составляет 7,8Гц.

Инфракрасная спектроскопия измеряет концентрацию гемоглобина в поверхностном слое коры головного мозга не более 3 см вглубь, когда расстояние между датчиками составляет 3 см. Для регистрации и обработки fNIRS-сигналов разработаны специализированные программные продукты от компании NIRx [NIRx fNIRS Technology & Service Overview, 2015]:

- Программное обеспечение Aurora fNIRS для сбора данных NIRSport 2;
- Программное обеспечение Turbo-Satori для анализа fNIRS данных в реальном времени;
- Программное обеспечение NIRStar 15.2 для сбора данных fNIRS;
- Программное обеспечение nirsLAB для анализа fNIRS данных.

В данном исследовании использовано программное обеспечение «NIRStar», разработанное как многоплатформенная инструментальная среда управления fNIRS-томографом (рис. 1). «NIRStar» предоставляет возможность управления и отображения данных в режиме реального времени.

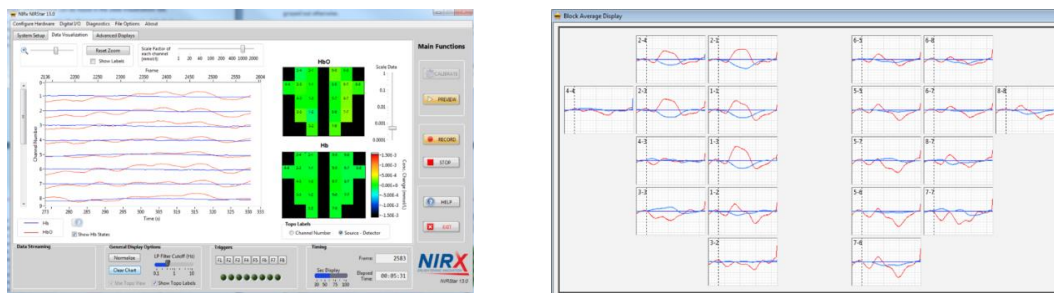


Рис. 1. Интерфейс программы «NIRStar»

Fig. 1. Program interface «NIRStar»

Устройства fNIRS состоят из двух видов оптодов: источников света и детекторов света. Каналы определяются как пары источник-детектор, а расположение каналов определяется как средняя точка между источником и детектором.

Информация о расположении каналов и набор пар источник-детектор хранится в файле с расширением «.hdr». Исходные данные хранятся в файлах типа «NIRS-date_number.wl1» и «NIRS-date_number.wl2», что соответствует двум разным длинам волн.

Каждый файл представляет собой двумерный массив размером CountFrame x 64, где 64 – количество каналов, а CountFrame – количество регистрируемых фреймов по каждому каналу (7,8Frame=1с.). Канал данных является парой источник-детектор. Количество каналов равняется произведению числа источников света на число детекторов света. Временной интервал равняется длительности эксперимента.

Впоследствии из сырых данных удаляются каналы, которые имеют слишком большую длину между источником и детектором света.

Для сбора данных в настоящем исследовании применялась схема «10–20» с дистанцией между оптодами 3 см (рис. 2). Оптоды располагались в области двусторонней моторной коры, отвечающей за планирование, контроль и выполнение произвольных движений.



Рис. 2. Процесс монтажа оптодов fNIRS
Fig. 2. Installation process for fNIRS-optodes

Разработан план проведения эксперимента в лабораторных условиях для сбора данных fNIRS. Собранные данные формируют репрезентативную выборку для обучения модели искусственного интеллекта на предмет распознавания паттернов мозговой активации с учетом специфики регистрируемых сигналов.

Необходимые условия выполнения эксперимента:

- эксперимент должен проводиться в комнате, без проникновения прямых солнечных лучей;
- эксперимент должен проводиться в звукоизолированной комнате;
- эксперимент должен проводиться в присутствии участника и исследователя, без присутствия посторонних людей в комнате проведения эксперимента;
- обязательным условием для начала проведения эксперимента является заранее проведенная калибровка лабораторного оборудования для участника эксперимента;

– участнику эксперимента до начала эксперимента должны быть предоставлены план и тайминг сроки эксперимента.

В рамках эксперимента выполняются две команды:

- одновременное сжатие всех пальцев правой руки в кулак;
- одновременное разжатие всех пальцев правой руки.

Тайминг и количество выполнений заданных команд:

1. В начале эксперимента испытуемому дается 1 минута на расслабление для снижения числа сердечных сокращений и давления.

2. Затем выполняется 15 циклов, состоящих из следующей последовательности действий:

– Выполняется сжатие кисти руки. Кисть руки в сжатом виде удерживается в течение 20 сек.

– Выполняется разжатие кисти руки. Кисть руки в разжатом виде удерживается в течение 30 сек.

Требование к выполнению команд сжатие и разжатие кисти руки:

– Выполнять команды следует в спокойном ритме, то есть в течение 1–2 сек.

– После выполнения команды следует расслабиться. После сжатия кисти руки необходимо оставить руку в сжатом виде, но при этом не продолжать удерживать ее в этом состоянии с применением усилия (максимально расслабить мышцы руки).

Материалы

Предварительная обработка и формирование набора данных fNIRS

Разработка собственного программного кода предварительной обработки данных fNIRS обосновывается минимизацией требований к конечному устройству обработки сигнала в составе ВСИ и соответственно удешевлением технологии. В ходе обработки данных было произведено два преобразования «сырых» данных fNIRS: сначала – преобразование сырых данных в оптическую плотность, далее – преобразование из оптической плотности в концентрацию оксигемоглобина (HbO) и дезоксигемоглобина (HbR).

Оптическая плотность – мера ослабления света прозрачными объектами или отражения света непрозрачными объектами, вычисляемая как десятичный логарифм отношения потока излучения, падающего на объект, к потоку излучения, прошедшего через него.

Концентрация оксигемоглобина и дезоксигемоглобина была вычислена с помощью модифицированного закона Бугера – Ламберта – Бера (Бера – Ламберта). Модифицированный закон Бера – Ламберта – это эмпирическое описание распространения света в толстых тканях, широко используемое в fNIRS [Гагарин, 1988.], которое рассчитывается по формуле:

$$I(l) = I_0 e^{-k_\lambda l}, \quad (1)$$

где $I(l)$ – интенсивность света, прошедшего слой вещества толщиной l , I_0 – интенсивность света на входе в вещество, k_λ – показатель поглощения.

При этом используется «коэффициент дифференциальной длины пути», который дает отношение средней длины пути фотона к расстоянию до детектора источника.

Концентрация оксигемоглобина и дезоксигемоглобина фильтруется с помощью полосового фильтра. Верхняя и нижняя частота среза равняются 0.9 Гц и 0.05 Гц соответственно. Фильтрация применяется с целью исключить из данных посторонние факторы, такие как: сердцебиение, волны Майера и дыхание. Однако в работе [Ma T et.al., 2021] авторы демонстрируют, что при обучении нейронных сетей лучше не применять фильтрацию.

Для решения задачи формирования набора нейрофизиологических данных fNIRS для обучения моделей машинного обучения был написан ряд функций при помощи инструментов языка программирования Python (рис. 3).

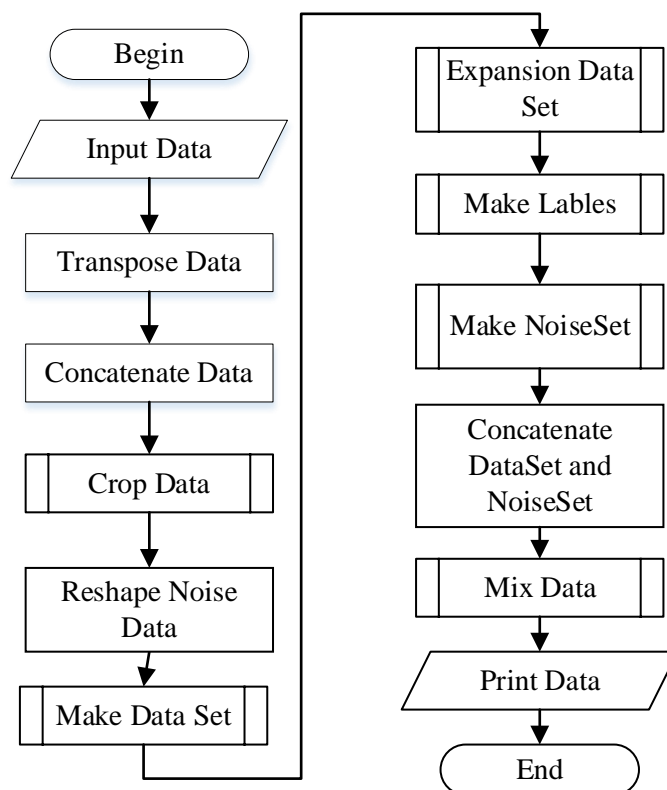


Рис. 3. Блок-схема алгоритма формирования набора нейрофизиологических данных
Fig. 3. Block diagram of the algorithm for generating a set of neurophysiological data

Блок-схема выполняет следующие функции:

- Удаление данных, не содержащих полезный сигнал;
- Разделение данных всего эксперимента на команды-составляющие, соответствующие командам «сжатие» и «разжатие»;
- Нарезка полезного сигнала, соответствующего выполнению одной команды, на интервалы заданного размера с перекрытием;
- Формирование набора данных «шум»;
- Перемешивание данных с метками команд в наборе данных.

Настоящий алгоритм описывается с позиции подготовки данных для обучения нейронной сети. Однако данный алгоритм с незначительными изменениями может быть модифицирован для работы в конечном устройстве.

Разработанный алгоритм состоит из следующих процессов:

1. **Input Data.** Загрузка и запись в массивы «сырых» данных файлов типа «NIRS-date_number.wl1» и «NIRS-date_number.wl2» с целевыми командами. Данные содержат информацию о динамике содержания оксигемоглобина и дезоксигемоглобина в крови человека во время совершения целевого движения.

2. **Transpose Data.** Транспонирование загруженных данных для формирования конечного массива всего набора данных.

3. **Concatenate Data.** Соединение начальных транспонированных массивов и формирование единого массива размером $128 \times \text{CountFrame}$, где CountFrame – количество регистрируемых фреймов по каждому каналу ($7,8\text{Frame}=1\text{c.}$).

Для формирования набора данных необходимо разбить концентрацию оксигемоглобина и дезоксигемоглобина на протяжении всего эксперимента по маркерам событий. Маркеры указывают на начало команды сжатия или разжатия кисти. Из общего массива данных формируются 2 отдельных массива, содержащих концентрацию

оксигемоглобина и дезоксигемоглобина, согласно маркерам событий. Затем создается массив концентрации общего гемоглобина (HbT) по формуле: $HbT = HbO + HbR$.

4. Crop Data. Удаление нецелевых экспериментальных данных. Удаление происходит исходя из длины входного массива, при этом обрезаются данные, не содержащие полезной информации, а именно первые 60 секунд концентрации респондента на проведении эксперимента, а также шум, снятый после окончания эксперимента, зафиксированный томографом. Для формирования датасета необходимо разбить концентрацию оксигемоглобина и дезоксигемоглобина на протяжении всего эксперимента по маркерам событий. Маркеры указывают на начало команды сжатия или разжатия кисти. Так, для формирования датасета берутся данные с 0 по 4 секунду каждого маркера события.

5. Reshape Noise Data. Аналогично процессу Crop Data function формируется единый массив нецелевых команд (шум).

6. Make Data Set. Формирует из единого потока начальных обрезанных данных два набора команд, которые были записаны в соответствии с планом эксперимента.

7. Expansion Data Set. Аугментация данных, заключающаяся в искусственном увеличении количества полезной информации и удаления из массивов данных, не содержащих целевых команд. Формирует новый массив данных, который содержит отдельные экземпляры данных с заданной длиной сигнала (измеряется в фреймах или количествах точек сигнала) и заданным размером перекрытия данных в процессе формирования выборок экземпляров данных из одной команды.

8. Make Lables. Сформированные данные объединяются в общий массив и проводится процедура присвоения каждому примеру класса команды с соответствующей меткой.

9. Make NoiseSet. Формирование данных нецелевых движений и шумов (набор данных включает в себя двадцатиминутный эксперимент, который содержит произвольные движения ногами на протяжении всего временного отрезка) для расширения валидности набора данных и формирования у нейронной сети способности отличать целевые паттерны от прочего сигнала.

10. Concatenate DataSet and NoiseSet. Объединение полученных наборов данных с целевыми и нецелевыми командами (шумами).

11. Mix Data. Полученные массивы команд и меток перемешиваются между собой в случайном порядке.

Исходный набор данных представляет собой 17 экспериментов с командами на сжатие и разжатие кисти правой руки, длительностью 20 и 30 секунд соответственно. В течение эксперимента последовательно выполняются 15 циклов сжатия и разжатия кисти.

Итоговый набор данных содержит в 2435 экземпляров сигнала, из которых: 765 экземпляров сжатие кисти, 765 экземпляров разжатия кисти и 905 экземпляров сигнала шум, включая хаотичные движения ног. Данные случайным образом разбили на выборку для обучения модели (1830 экземпляров данных) и выборку для тестирования точности (605 экземпляров данных) обученной модели машинного обучения.

Для нормализации данных был использован метод нормализации с нулевым средним (Z-нормализация), который пересчитывает каждое значение по формуле:

$$X^* = \frac{(x-\mu)}{std}, \quad (2)$$

где X^* – обработанные данные соответствуют стандартному нормальному распределению, x – текущее значение данных, μ – среднее значение всех данных выборки во временном измерении, std – стандартное отклонение. Нормализация применяется ко всему набору данных.

Проектирование архитектуры нейронной сети

Реализация нейронных сетей проводилась при помощи tensorflow версии 2.5.0 [TensorFlow, 2020]. Процесс разработки и обучения нейронных сетей реализовывался в облачном сервисе Google Colaboratory [Colaboratory, 2021]

Для решения задачи классификации были построены и обучены 3 архитектуры нейронных сетей:

1. Архитектура рекуррентной нейронной сети (NN_LSTM), основными вычислительными элементами которой являются слои длинной краткосрочной памяти (Long Short-Term Memory (LSTM)). LSTM – это модификация рекуррентной нейронной сети с обратной связью, которая может использовать долгосрочную память [Hochreiter, Schmidhuber, 1997]. Сети LSTM хорошо подходят для классификации, обработки и прогнозирования данных временных рядов. Архитектура разработанной рекуррентной модели включает в себя 2 слоя LSTM с функцией активации tanh, полносвязный слой, слой «Dropout» и слой «Softmax», который выводит оценки вероятности для каждого класса. Разработанная архитектура позволяет оценивать тенденцию в многомерном временном ряду fNIRS данных и по отличительным паттернам поведения ряда во времени производить классификацию.

2. Архитектура нейронной сети со сверточно-рекуррентными слоями convLSTM (NN_ConvLSTM) [Wang, WuReal, 2018]. Применение слоев convLSTM вместо чистых LSTM позволяет выявить временные и пространственные признаки временного ряда. Операция свертки позволяет сжать признаковое пространство входного временного ряда, то есть выбрать наиболее информативные данные из исходного временного ряда. Затем полученные данные подаются на слой LSTM, который ищет паттерны во времени в сжатом признаковом пространстве.

3. Архитектура нейронной сети Resnet (NN_ResNet) [He et.al., 2015]. Это известная архитектура нейронной сети, основанная на остаточных блоках, которая хорошо себя зарекомендовала в задачах компьютерного зрения. Представляет собой глубокую нейронную сеть с 11 уровнями, в которой первые девять слоев представляют собой сверточные слои с методом пакетной нормализации и функцией активации ReLU, а последние два уровня включают в себя слой «Global Average Pooling» и слой «Softmax». Данная архитектура была адаптирована для обработки временных последовательностей посредством замены 2D сверток на 1D свертки.

С целью сравнения результатов для трех моделей были использованы общие параметры: размер входного пакета данных – 64, скорость обучения – 0.0001, количество эпох обучения – 20, оптимизатор – Adam, функция ошибки – категориальная кросс-энтропия. В ходе исследования были использованы метрики, по которым оценивалось качество работы моделей. Нами были выбраны метрики Accuracy, Precision, Recall и F1-score. Также для каждой модели была построена матрица ошибок.

Результаты и их обсуждение

В процессе обучения моделей нейронных сетей было реализовано два подхода:

1 подход. Обучение моделей на наборе данных, который включает только два целевых класса (сжатие и разжатие кисти руки) без сигналов, содержащих иные метки. Это позволило оценить точность работы моделей в идеальных условиях и сравнить модели с точки зрения качества классификации.

2 подход. Обучение моделей на полном наборе данных, включающем как целевые классы (сжатие и разжатие кисти руки), так и фоновые записи. Это позволило оценить работоспособность моделей в реальных условиях, когда на вход модели непрерывно поступают данные и ей необходимо выявить паттерны среди различных вариаций данных.

В процессе реализации 1-го подхода были получены метрики качества на тестовых данных для двух классов (табл. 1).

Исходя из результатов, представленных в таблице 1, и рисунка 4, можно сделать вывод о том, что модель NN_ResNet показала наилучший результат по метрикам Accuracy и F1-score среди представленных моделей. При этом метрика Recall для команды «Сжать кисть» в сущности не изменяется, в отличие от команды «Разжать кисть».

Таблица 1
 Table 1

Метрики качества моделей
 Model quality metrics

Модель NN	Выполняемая команда	Precision	Recall	F1-score	Accuracy
NN_LSTM	Сжать кисть	0.67	0.85	0.75	71 %
	Разжать кисть	0.79	0.58	0.67	
NN_convLSTM	Сжать кисть	0.72	0.87	0.79	76 %
	Разжать кисть	0.83	0.66	0.73	
NN_ResNet	Сжать кисть	0.80	0.86	0.83	91 %
	Разжать кисть	0.85	0.78	0.81	

На рисунке 4 представлены матрицы ошибок (рис. 4).

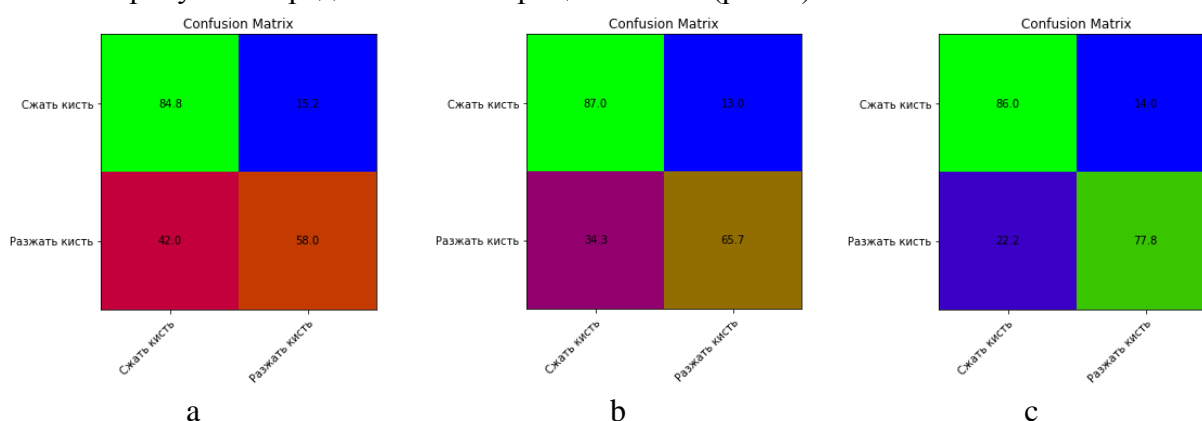


Рис. 4. Матрица ошибок: а – NN_LSTM; б – NN_convLSTM; в – NN_ResNet
 Fig. 4. Confusion matrix: a – NN_LSTM; b – NN_convLSTM; c – NN_ResNet

В дальнейшем, для подтверждения гипотезы о том, что модель нейронной сети NN_ResNet показывает наилучший результат для поставленной задачи, был проведен ряд экспериментов по обучению представленных моделей на тестовых данных для 3 классов, реализующих 2 подход. Были получены метрики качества, представленные в таблице 2.

Таблица 2
 Table 2

Метрики качества моделей
 Model quality metrics

Модель NN	Выполняемая команда	Precision	Recall	F1-score	Accuracy
NN_LSTM	Сжать кисть	0.56	0.74	0.64	85 %
	Разжать кисть	0.82	0.42	0.56	
	Произвольные движения	0.96	1.00	0.98	
NN_convLSTM	Сжать кисть	0.41	0.42	0.41	78 %
	Разжать кисть	0.50	0.51	0.50	
	Произвольные движения	0.95	0.94	0.94	
NN_ResNet	Сжать кисть	0.80	0.85	0.83	91 %
	Разжать кисть	0.93	0.80	0.86	
	Произвольные движения	0.98	1.00	0.99	

На рисунке 5 представлены матрицы ошибок.

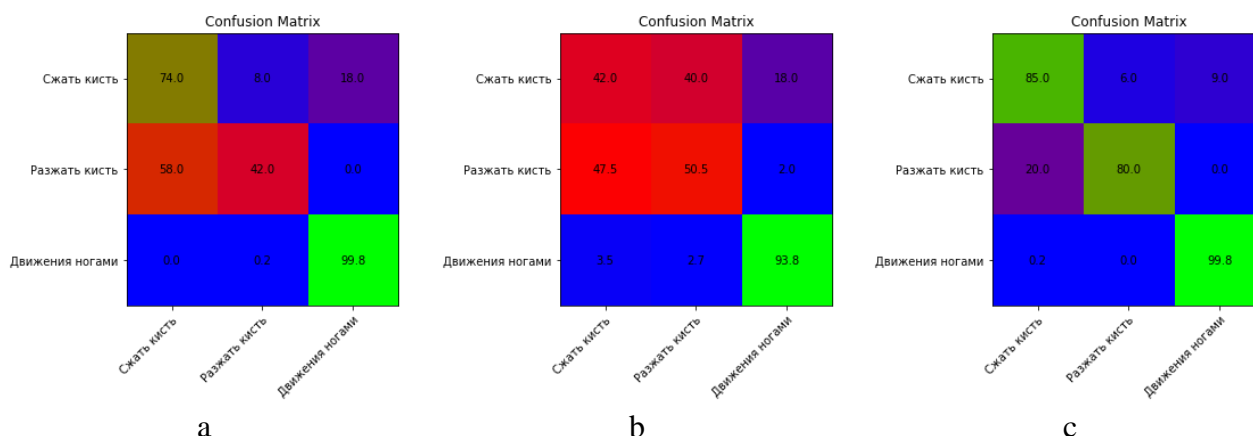


Рис. 5. Матрица ошибок: а – NN_LSTM; б – NN_convLSTM; в – NN_ResNet
 Fig. 5. Confusion matrix: a – NN_LSTM; б – NN_convLSTM; в – NN_ResNet

Проведя анализ полученных результатов, был сделан вывод о том, что с появлением дополнительного класса «Произвольные движения» в тестовой выборке метрика «Accuracy» также показала наилучший результат для модели NN_ResNet, равный метрике подхода 1. Однако появление третьего класса повлияло на метрику «Accuracy» других моделей. Так, модель нейронной сети NN_LSTM оказалась наиболее восприимчива к появлению новых данных, в отличие от гибридной модели NN_convLSTM. Метрики «Precision», «Recall» и «F1-score» для подхода 2 с появлением дополнительного класса показали неудовлетворительные результаты, менее 60 %, в распознавании основных классов «Сжать кисть» и «Разжать кисть» моделями NN_LSTM и NN_ConvLSTM.

Вывод

Проведен анализ трех архитектур нейронных сетей на предмет возможности поиска паттернов двигательной активности. Было показано, что нейронная сеть NN_ResNet, адаптированная для анализа временных рядов, дает лучшую точность (accuracy 91 %) в сравнении со специализированными архитектурными решениями, в основе которых лежат рекуррентные слои. NN_ResNet показала устойчивость решения при добавлении к данным примеров, относящихся к фоновой записи и движениям ногами. Результаты работы демонстрируют практическую возможность реализации процесса распознавания паттернов движений кисти руки нейронной сетью глубокого обучения по данным fNIRS. Повышение точности возможно за счет сбора набора данных для обучения большего размера и введения в план эксперимента дополнительных возмущающих воздействий, однако это не являлось целью этого исследования и будет реализовано в последующих работах.

В настоящем исследовании собраны данные активности головного мозга с 1 человека. То есть в работе демонстрируется возможность индивидуального поиска паттернов. В дальнейшем планируется сбор данных с группы испытуемых и оценка возможности нейронной сети поиска паттернов по групповым данным. Это позволит оценить возможность выявления общих закономерностей для оценки паттернов движений. С другой стороны, расширенный набор данных позволит применить технологию трансферного обучения (transfer learning) для предварительного обучения нейронной сети на общих данных с последующим дообучением на индивидуальном наборе данных конкретного индивида.

Список литературы

1. Гагарин А.П. 1988. Бугера – Ламберта – Бера закон. В кн.: Физическая энциклопедия (в 5 т.). М., Советская энциклопедия: 232–233.

2. Добро пожаловать в Colaboratory! 2021. URL: https://colab.research.google.com/?utm_source=scs-index (дата обращения 13.10.2021).
3. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. 2015. Deep Residual Learning for Image Recognition. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), DOI:10.1109/cvpr.2016.90: 12p.
4. Ma T, Chen W, Li X, Xia Y, Zhu X, He S. 2021. fNIRS Signal Classification Based on Deep Learning in Rock-Paper-Scissors Imagery Task. Applied Sciences, 11(11): 18p.
5. Naseer N., Hong K-S. 2015. fNIRS-based brain-computer interfaces: a review. Frontiers in Human Neuroscience, 9: 15p.
6. NIRx fNIRS Technology & Service Overview. 2015. URL: <https://nirx.net> (дата обращения 13.10.2021).
7. S. Hochreiter; J. Schmidhuber. 1997. Long short-term memory. Neural Computation, 9(8): 1735-1780.
8. Shi X., Chen Z., Wang H., Yeung D.-Y., Wong W., Woo W. 2015. Convolutional LSTM Network: a machine learning approach for precipitation nowcasting. NIPS'15: Proceedings of the 28th International Conference on Neural Information Processing Systems, 1: 802–810.
9. Sung C. Jun. 2018. A Ternary Hybrid EEG-NIRS Brain-Computer Interface for the Classification of Brain Activation Patterns during Mental Arithmetic, Motor Imagery, and Idle State. Frontiers in Neuroinformatics, 12A(5): 9p.
10. TensorFlow Federated: машинное обучение на децентрализованных данных. 2020. URL: <https://www.tensorflow.org/federated> (дата обращения 14.10.2021).
11. Tomita Y., Vialatte F. B., Dreyfus G., Mitsukura Y., Bakardjian H., Cichocki A. 2014. Bimodal BCI using simultaneously NIRS and EEG. IEEE Trans. Biomed Eng., 61: 1274–1284.
12. Wang Y., WuReal D. 2018. Real-time fMRI-based Brain Computer Interface: A Review. IEEE. Computer Science, 1: 10p.

References

1. Gagarin A. P. 1988. Booger - Lambert - Bera law. In.: Physical encyclopedia (in vol.5). M., Soviet encyclopedia: 232—233.
2. Welcome to Colaboratory! 2021. URL: https://colab.research.google.com/?utm_source=scs-index (дата обращения 13.10.2021).
3. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. 2015. Deep Residual Learning for Image Recognition. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), DOI:10.1109/cvpr.2016.90: 12p.
4. Ma T, Chen W, Li X, Xia Y, Zhu X, He S. 2021. fNIRS Signal Classification Based on Deep Learning in Rock-Paper-Scissors Imagery Task. Applied Sciences, 11(11): 18p.
5. Naseer N., Hong K-S. 2015. fNIRS-based brain-computer interfaces: a review. Frontiers in Human Neuroscience, 9: 15p.
6. NIRx fNIRS Technology & Service Overview. 2015. URL: <https://nirx.net> (дата обращения 13.10.2021).
7. S. Hochreiter; J. Schmidhuber. 1997. Long short-term memory. Neural Computation, 9(8): 1735-1780.
8. Shi X., Chen Z., Wang H., Yeung D.-Y., Wong W., Woo W. 2015. Convolutional LSTM Network: a machine learning approach for precipitation nowcasting. NIPS'15: Proceedings of the 28th International Conference on Neural Information Processing Systems, 1: 802–810.
9. Sung C. Jun. 2018. A Ternary Hybrid EEG-NIRS Brain-Computer Interface for the Classification of Brain Activation Patterns during Mental Arithmetic, Motor Imagery, and Idle State. Frontiers in Neuroinformatics, 12A(5): 9p.
10. TensorFlow Federated: Machine Learning on Decentralized Data. 2020. URL: <https://www.tensorflow.org/federated> (дата обращения 14.10.2021).
11. Tomita Y., Vialatte F. B., Dreyfus G., Mitsukura Y., Bakardjian H., Cichocki A. 2014. Bimodal BCI using simultaneously NIRS and EEG. IEEE Trans. Biomed Eng., 61: 1274–1284.
12. Wang Y., WuReal D. 2018. Real-time fMRI-based Brain Computer Interface: A Review. IEEE. Computer Science, 1: 10p.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Асадуллаев Рустам Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Rustam R. Asadullaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Афонин Андрей Николаевич, доктор технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Andrey N. Afonin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Robotic Systems, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Щетинина Екатерина Сергеевна, магистрант 2 года обучения кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Ekaterina S. Shchetinina, 2-year undergraduate student of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 621.397

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-747-763

Субполосные свойства фрагментов изображений морской поверхности

¹⁾ Голиков В.С., ²⁾ Черноморец Д.А.

¹⁾ Автономный университет, Кармен, Мехико

²⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: daria013ch@yandex.ru

Аннотация. В работе оценивание различий субполосных свойств областей изображений морской поверхности предложено осуществлять путем сравнения распределения информативных долей квадрата нормы соседних областей изображения, а также сравнения отличий соседних областей и их информативных субполосных компонент на основании значений соответствующих среднеквадратических отклонений и коэффициентов корреляции. Приведены соотношения для вычисления информативных подобластей пространственных частот заданных изображений и соответствующих информативных субполосных компонент, а также соотношения, позволяющие вычислить на основе среднеквадратического отклонения и коэффициента корреляции анализируемые меры отличия заданных матриц. Проведенные вычислительные эксперименты показали, что значения рассматриваемых мер отличия при анализе заданных центральной и соседних областей различных размеров изменяются несущественно. На примере гистограмм показано, что наличие или отсутствие малозаметного объекта на изображениях анализируемых областей изменяет распределение значений исследуемых мер отличия незначительно.

Ключевые слова: изображение морской поверхности, соседние области изображения, субполосные свойства, информативные подобласти пространственных частот, информативные субполосные компоненты, мера отличия.

Для цитирования: Голиков В.С., Черноморец Д.А. 2021. Субполосные свойства фрагментов изображений морской поверхности. Экономика. Информатика. 48(4): 747–763. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-747-763.

The subband properties of the sea surface image fragments

¹⁾ Viktor S. Golikov, ²⁾ Daria A. Chernomorets

¹⁾ Autonomous University, Carmen, Mexico

²⁾ Belgorod National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: daria013ch@yandex.ru

Abstract. In this paper, author proposes to evaluate the differences in the subband properties of the sea surface image areas by comparing the distribution of informative parts of the squared norm of the adjacent image areas as well as comparing the differences between adjacent areas and their informative subband components based on the values of the corresponding standard deviations and the correlation coefficients. The author gives ratios for calculating the informative spatial frequencies subdomains of the given images and the corresponding informative subband components, as well as the ratios that allow calculating the analyzed measures of the given matrices difference on the basis of the standard deviation and the correlation coefficient. The conducted computing experiments have shown that the values of the considered measures of difference do not change significantly when analyzing the given central and adjacent areas of various sizes. Using the example of histograms, author shows that the presence or absence of an inconspicuous object in the analyzed image areas changes the values distribution of the studied difference measures slightly.

Keywords: image of the sea surface, adjacent image areas, subband properties, informative subdomains spatial frequencies, informative subband components, measure of difference.

For citation: Golikov V.S., Chernomorets D.A. 2021. The subband properties of the sea surface image fragments. Economics. Information technologies. 48(4): 747–763 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-747-763.

Введение

Обработка изображений взволнованной морской поверхности с целью обнаружения изображений плавающих малозаметных объектов является важной задачей при организации систем наблюдения в прибрежной зоне, организации поиска объектов в открытом море с помощью различных летательных аппаратов и т. п. Одна из проблем данной задачи обнаружения состоит в том, что яркость пикселей на изображениях малозаметных плавающих объектов мало отличается от яркости пикселей изображений моря. В настоящее время предложены различные методы обнаружения на изображениях объектов, плавающих на морской поверхности, среди них выделим следующие: методы, основанные на вычислении согласованного подпространственного детектора, методы поиска особенных точек, методы поиска по прецеденту, статистические и нейросетевые методы и др. [Golikov et al., 2016; Krizhevsky et al., 2012.; Жилияков, 2007].

Отметим, для применения многих известных методов обнаружения объектов требуется наличие сведений об их форме, размерах и других характеристиках. Однако в большинстве случаев сведения об искомом объекте отсутствуют. В известных методах также зачастую требуется, чтобы объект контрастировал с фоном, что в случае малозаметных объектов не выполняется. Таким образом, объект целесообразно искать, исходя из отличий его изображений от изображений морской поверхности [Golikov, Lebedeva, 2013; Conte et al., 2001].

Учитывая, что на изображениях взволнованной морской поверхности можно выделить квазипериодические составляющие, то представляет интерес для решения рассматриваемой задачи оценить различия отдельных областей изображения на основе анализа их субполосных свойств [Жилияков, Ефимов, 2015; Черноморец, Болгова, 2016; Жилияков и др., 2013].

Субполосные свойства соседних областей изображений

Анализируемое изображение морской поверхности, размерности $N_1 \times N_2$ пикселей, представим в виде матрицы $\Phi = (f_{ij})$, $i = 1, 2, \dots, N_1$, $j = 1, 2, \dots, N_2$, яркости пикселей. Для исследования субполосных свойств изображения по матрице Φ будем перемещать скользящее окно (центральная область), размерности $M_1 \times M_2$ пикселей, например, 10×10 , 10×20 , 20×10 , 20×20 пикселей.

Соседними областями изображения относительно заданного положения скользящего окна I_0 будем называть области (матрицы) $I_1 - I_8$, положение которых схематично показано на рис. 1.

I_2	I_3	I_4
I_1	I_0	I_5
I_8	I_7	I_6

Рис. 1. Схема расположения анализируемых соседних областей
Fig. 1. The layout of the analyzed adjacent areas

В предлагаемом исследовании будем рассматривать области $I_0 - I_8$ одинакового размера – $M_1 \times M_2$ пикселей.

Анализ субполосных свойств изображений (областей) $I_0 - I_8$ предлагается осуществлять с позиций разбиения области пространственных частот $D_{2\pi}$,

$$D_{2\pi} = \{(u, v) \mid -\pi \leq u < \pi, \quad -\pi \leq v < \pi\},$$

на $R_1 \times R_2$ подобластей пространственных частот (ППЧ) $V_{r_1 r_2}$, $r_1 = 1, 2, \dots, R_1$, $r_2 = 1, 2, \dots, R_2$, одинаковых по площади [Черноморец и др., 2019],

$$V_{r_1 r_2} = \left\{ (u \in [-u_{r_1 2}, -u_{r_1 1}] \cup [u_{r_1 1}, u_{r_1 2}]) \cap (v \in [-v_{r_2 2}, -v_{r_2 1}] \cup [v_{r_2 1}, v_{r_2 2}]) \right\}, \quad (1)$$

$$u_{11} = 0, \quad u_{R_1, 2} = \pi, \quad u_{r_1+1, 1} = u_{r_1 2},$$

$$v_{11} = 0, \quad v_{R_2, 2} = \pi, \quad v_{r_2+1, 1} = v_{r_2 2},$$

$$r_1 = 1, 2, \dots, R_1, \quad r_2 = 1, 2, \dots, R_2.$$

Субполосную долю $P_{r_1 r_2}(I)$ квадрата нормы заданного изображения (матрицы) I , соответствующую ППЧ $V_{r_1 r_2}$, вычислим на основании следующего соотношения [Жиляков, Черноморец, 2020; Горелик, Скрипкин, 2004] (из изображения предварительно вычтено его среднее арифметическое значение):

$$P_{r_1 r_2}(I) = \frac{\text{tr}(A_{r_1} B_{r_2} I^T)}{\text{tr}(I I^T)}, \quad (2)$$

где tr – операция вычисления следа матрицы, A_{r_1} , B_{r_2} – субполосные матрицы, соответствующие ППЧ $V_{r_1 r_2}$. Распределение значений долей $P_{r_1 r_2}(I)$ квадрата нормы изображения по ППЧ будем рассматривать в виде матрицы $P(I) = (P_{r_1 r_2}(I))$, $r_1 = 1, 2, \dots, R_1$, $r_2 = 1, 2, \dots, R_2$.

Значения элементов субполосных матриц $A_{r_1} = (a_{in}^{r_1})$, $i, n = 1, 2, \dots, N_1$, $B_{r_2} = (b_{km}^{r_2})$, $k, m = 1, 2, \dots, N_2$, вычисляются на основании следующих соотношений [Жиляков и др., 2016]:

$$a_{in}^{r_1} = \begin{cases} \frac{\sin(u_{r_1 2}(i-n)) - \sin(u_{r_1 1}(i-n))}{\pi(i-n)}, & i \neq n, \\ \frac{u_{r_1 2} - u_{r_1 1}}{\pi}, & i = n, \end{cases} \quad (3)$$

$$b_{km}^{r_2} = \begin{cases} \frac{\sin(v_{r_2 2}(k-m)) - \sin(v_{r_2 1}(k-m))}{\pi(k-m)}, & k \neq m, \\ \frac{v_{r_2 2} - v_{r_2 1}}{\pi}, & k = m, \end{cases} \quad (4)$$

При проведении анализа субполосного распределения долей квадрата нормы изображений будем использовать информативные ППЧ, которые для заданного изображения I определяются следующим образом [Жиляков и др., 2009; Scharf, Friedlander, 1994]:

ППЧ $V_{r_1 r_2}$ будем считать информативной для изображения I , если выполняется неравенство:

$$P_{r_1 r_2}(I) > \frac{s_{r_1 r_2}}{\pi^2}, \quad (5)$$

где $s_{r_1 r_2}$ – площадь ППЧ $V_{r_1 r_2}$,

$$s_{r_1 r_2} = (u_{r_1 2} - u_{r_1 1})(v_{r_2 2} - v_{r_2 1}).$$

Обозначим, $S(I_0)$ – множество информативных ППЧ для изображения I_0 ,

$$S(I_0) = \{(r_1, r_2) \mid P_{r_1 r_2}(I_0) > \frac{S_{r_1 r_2}}{\pi^2}\}, \quad (6)$$

$S(I_i)$, $i = 1, 2, \dots, 8$, – множество информативных ППЧ для изображения I_i ,

$$S(I_i) = \{(r_1, r_2) \mid P_{r_1 r_2}(I_i) > \frac{S_{r_1 r_2}}{\pi^2}\}, \quad (7)$$

$P(I_0)$, $P(I_i)$, $i = 1, 2, \dots, 8$, – матрицы, размерности $R_1 \times R_2$, долей квадрата нормы изображений I_0 и I_i , $i = 1, 2, \dots, 8$, соответствующих информативным ППЧ $V_{r_1 r_2}$, $r_1 = 1, 2, \dots, R_1$, $r_2 = 1, 2, \dots, R_2$.

Сравнивать субполосные распределения $P(I_0)$, $P(I_i)$, $i = 1, 2, \dots, 8$, долей квадрата нормы, соответствующих информативным ППЧ изображений I_0 и I_i , $i = 1, 2, \dots, 8$, предлагается на основе среднеквадратического отклонения соответствующих матриц [Жиляков и др., 2016; Felzenszwalb et al., 2010]:

$$\sigma(P(I_0), P(I_i)) = \sqrt{\frac{\sum_{(r_1 r_2) \in S(I_0) \cap S(I_i)} (P_{r_1 r_2}(I_0) - P_{r_1 r_2}(I_i))^2}{\sum_{(r_1 r_2) \in S(I_0) \cap S(I_i)} P_{r_1 r_2}^2(I_0)}}. \quad (8)$$

Сравнивать информативные субполосные компоненты $Y(I_0)$ и $Y(I_i)$ изображений I_0 и I_i , $i = 1, 2, \dots, 8$, соответствующих информативным ППЧ $V_{r_1 r_2}$, $r_1 = 1, 2, \dots, R_1$, $r_2 = 1, 2, \dots, R_2$, предлагается на основе среднеквадратического отклонения:

$$\sigma(Y(I_0), Y(I_i)) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} (Y_{jk}(I_0) - Y_{jk}(I_i))^2}{\sum_{j=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} Y_{jk}^2(I_0)}}, \quad (9)$$

где информативные субполосные компоненты $Y(I_0)$ и $Y(I_i)$ изображений I_0 и I_i , $i = 1, 2, \dots, 8$, определим следующим образом (из соответствующего изображения предварительно вычтено его среднее арифметическое значение) [Жиляков и др., 2017; Wu et al., 2008]:

$$Y(I_0) = \sum_{(r_1 r_2) \in S(I_0)} A_{r_1} I_0 B_{r_2}, \quad (10)$$

$$Y(I_i) = \sum_{(r_1 r_2) \in S(I_i)} A_{r_1} I_i B_{r_2}. \quad (11)$$

Сравнивать изображения I_0 и I_i , $i = 1, 2, \dots, 8$, предлагается на основе среднеквадратического отклонения:

$$\sigma(I_0, I_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} (I_0(j, k) - I_i(j, k))^2}{\sum_{j=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} I_0^2(j, k)}}. \quad (12)$$

Для сравнения различных областей, субполосных компонент изображений и распределений долей квадрата нормы изображений по подобластям пространственных частот в работе также использован следующий коэффициент корреляции [Черноморец, 2021; Zhilyakov et al., 2020]:

$$r(X, Y) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (X_{mn} - \bar{x})(Y_{mn} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (X_{mn} - \bar{x})^2 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (Y_{mn} - \bar{y})^2}}, \quad (13)$$

где X, Y – сравниваемые матрицы размерности $m \times n$ элементов, \bar{x}, \bar{y} – соответствующие среднеарифметические значения,

$$\bar{x} = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N X_{mn}, \quad \bar{y} = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N Y_{mn}.$$

Результаты вычислительных экспериментов

Для проведения вычислительных экспериментов выбрана из открытых источников Интернет видеозапись, содержащая изображение взволнованной морской поверхности, а также объекта на поверхности моря, яркость пикселей которого незначительно отличается от яркости пикселей морской поверхности (рис. 2).



Рис. 2. Исходное изображение и примеры анализируемых фрагментов
 Fig. 2. Initial image and examples of analyzed fragments

Оценивание различий изображений соседних и центральной областей.

На рис. 2 для примера выделены 2 фрагмента кадра (квадраты, размером 30×30 пикселей), которые в процессе вычислительных экспериментов планируется разбить на 8 соседних областей и центральную область, размерности 10×10 пикселей, в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1.

Центральной и соседним областям для вычислительных экспериментов также были заданы соседние области размером 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей.

В табл. 1 приведены значения среднеквадратического отклонения (СКО) (12) и коэффициента корреляции (13) соседних областей изображений I_i , $i = 1, 2, \dots, 8$, и центральной области I_0 (размером 10×10 пикселей), а также областей, размером 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей, заданных таким образом, чтобы координаты левого верхнего угла центральной области в соответствующих случаях совпадали (области содержат изображение морской поверхности).

Данные, приведенные в табл. 1, показывают, что для заданных соседних областей, содержащих изображение морской поверхности, их размер не влияет существенно на меру различия соседних и центральной областей.

В табл. 2 приведены значения СКО (12) и коэффициента корреляции соседних областей изображений I_i , $i = 1, 2, \dots, 8$, и центральной области I_0 (размером 10×10 пикселей), а также областей, размером 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей, заданных таким образом, чтобы координаты левого верхнего угла центральной области в соответствующих случаях совпадали (области содержат изображение морской поверхности и объекта).

Таблица 1
Table 1

Значения среднеквадратического отклонения (12) и коэффициента корреляции соседних областей $I_1 \div I_8$ и области I_0 , размером 10×10 , 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей (области содержат изображение морской поверхности)
 The values of the standard deviation (12) and the correlation coefficient of adjacent areas $I_1 \div I_8$ and area I_0 with sizes of 10×10 , 10×20 , 20×10 and 20×20 pixels (areas contain the sea surface image)

Соседняя область	Среднеквадратическое отклонение				Коэффициент корреляции			
	10×10	10×20	20×10	20×20	10×10	10×20	20×10	20×20
I_1	0,136	0,135	0,142	0,153	-0,056	0,066	0,178	0,132
I_2	0,160	0,189	0,171	0,168	0,010	-0,276	-0,121	0,075
I_3	0,111	0,124	0,176	0,194	0,139	0,035	-0,256	-0,361
I_4	0,076	0,149	0,174	0,181	0,440	0,056	-0,373	-0,140
I_5	0,133	0,156	0,125	0,189	0,173	0,165	0,518	0,043
I_6	0,204	0,154	0,172	0,174	-0,331	0,452	-0,116	-0,185
I_7	0,160	0,193	0,188	0,194	-0,184	-0,244	-0,062	-0,071
I_8	0,171	0,161	0,149	0,179	-0,329	-0,133	0,348	0,252
Среднее арифмет.	0,144	0,158	0,162	0,179	-0,017	0,015	0,014	-0,032

Таблица 2
Table 2

Значения среднеквадратического отклонения (12) и коэффициента корреляции соседних областей $I_1 \div I_8$ и области I_0 , размером 10×10 , 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей (области содержат изображения морской поверхности и объекта)
 The values of the standard deviation (12) and the correlation coefficient of adjacent areas $I_1 \div I_8$ and area I_0 with sizes of 10×10 , 10×20 , 20×10 and 20×20 pixels (areas contain the sea surface and object images)

Соседняя область	Среднеквадратическое отклонение				Коэффициент корреляции			
	10×10	10×20	20×10	20×20	10×10	10×20	20×10	20×20
I_1	0,228	0,246	0,203	0,206	-0,023	-0,209	0,291	0,293
I_2	0,219	0,244	0,214	0,255	0,001	-0,056	-0,028	-0,270
I_3	0,230	0,248	0,251	0,274	0,034	0,007	-0,315	-0,327
I_4	0,247	0,292	0,254	0,297	0,092	-0,044	-0,245	-0,240
I_5	0,242	0,260	0,194	0,239	0,310	0,254	0,456	0,272
I_6	0,249	0,216	0,302	0,232	0,054	0,208	-0,078	0,091
I_7	0,246	0,272	0,302	0,296	-0,190	-0,169	0,006	0,084
I_8	0,252	0,243	0,307	0,334	0,181	0,232	0,080	0,088
Среднее арифмет.	0,239	0,253	0,253	0,267	0,057	0,028	0,021	-0,001

Данные, приведенные в табл. 2, показывают, что для заданных соседних областей $I_1 \div I_8$ и области I_0 , содержащих изображения морской поверхности и плавающего объекта, размер областей не влияет существенно на меру различия соседних областей $I_1 \div I_8$ и центральной области I_0 . Следует отметить, что значения СКО в табл. 2 (случай наличия изображения

объекта) незначительно выше, чем в табл. 1 (изображение объекта отсутствует), однако, в связи с тем, что в табл. 1 СКО имеет достаточно большие значения, то значения СКО в данных случаях нецелесообразно использовать в качестве признака наличия или отсутствия объекта.

Рассмотрим результаты вычисления меры отличия соседних областей $I_1 \div I_8$ и центральной области I_0 для фрагментов кадра, указанных на рис. 3 (левый прямоугольник указывает область, содержащую изображение морской поверхности, правый прямоугольник – область, содержащую изображение морской поверхности и объект).



Рис. 3. Анализируемые фрагменты кадра
Fig. 3. Analyzed frame fragments

На рис. 4а и 4б приведены гистограммы, показывающие соответственно относительное количество различных значений СКО и коэффициента корреляции соседних областей $I_1 \div I_8$ и центральной области I_0 при всевозможных положениях центральной области в левом прямоугольнике на рис. 3 (изображение объекта отсутствует, размеры областей 10×10 пикселей, количество положений центральной области – 1232).

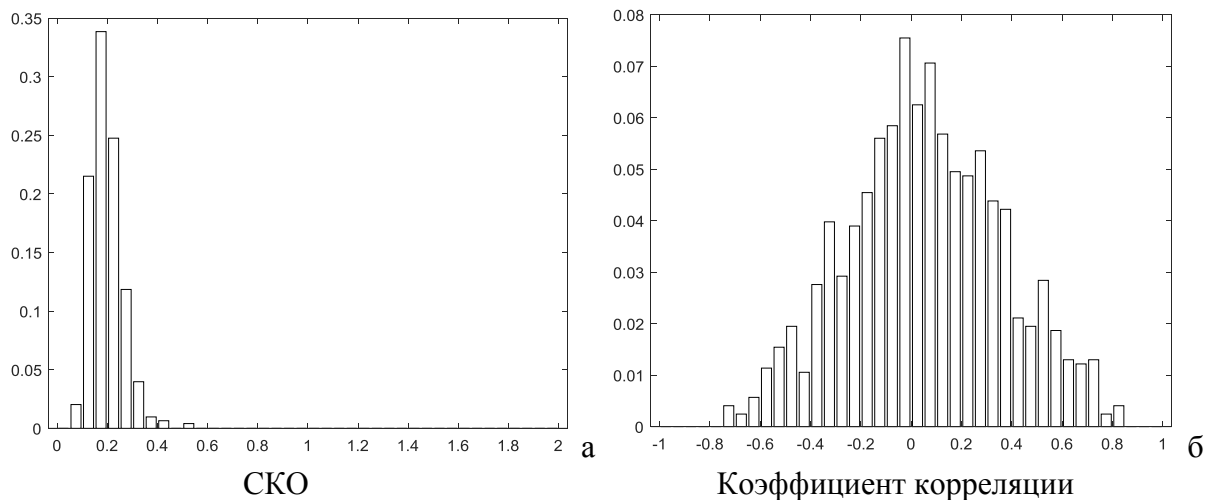


Рис. 4. Распределение значений СКО и коэффициента корреляции соседних областей $I_1 \div I_8$ и центральной области I_0 (левый прямоугольник на рис. 3, изображение объекта отсутствует)

Fig. 4. Distribution of the standard deviation values and the correlation coefficient of adjacent areas $I_1 \div I_8$ and the central area I_0 (left rectangle in Fig. 3, the object image is absent)

На рис. 5а и 5б приведены гистограммы, показывающие соответственно относительное количество различных значений СКО и коэффициента корреляции соседних областей $I_1 \div I_8$ и центральной области I_0 при всевозможных положениях центральной области в правом прямоугольнике на рис. 3 (изображение объекта присутствует, размеры областей 10×10 пикселей, количество положений центральной области – 1232).

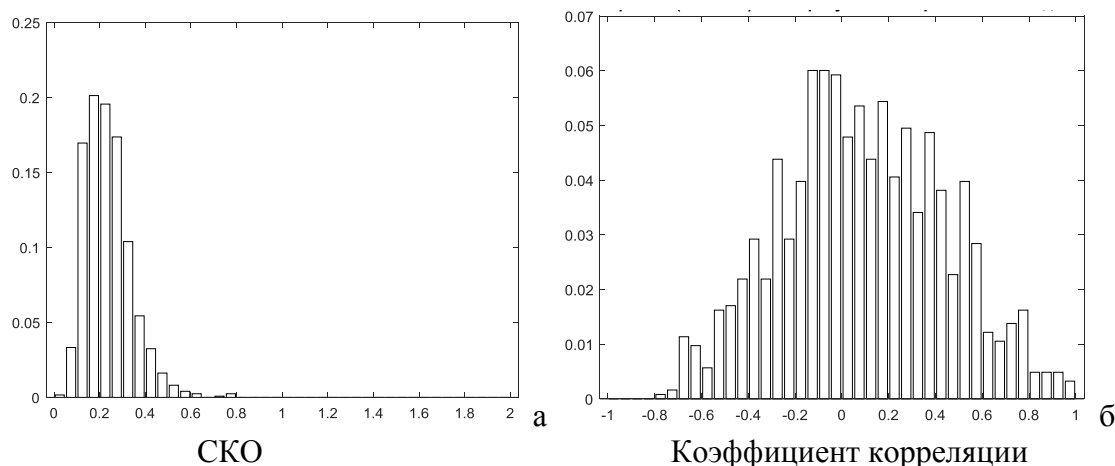


Рис. 5. Распределение значений СКО и коэффициента корреляции соседних областей $I_1 \div I_8$ и центральной области I_0 (правый прямоугольник на рис. 3, изображение объекта присутствует)

Fig. 5. Distribution of the standard deviation values and the correlation coefficient of adjacent areas $I_1 \div I_8$ and the central area I_0 (right rectangle in Fig. 3, the object image is present)

Результаты, приведенные на рис. 4 и 5, показывают, что наличие или отсутствие изображения объекта в анализируемых фрагментах кадра практически не влияет на распределение значений СКО и коэффициента корреляции соседних областей $I_1 \div I_8$ и центральной области I_0 , на которые разбиваются фрагменты кадра.

Оценивание различий распределения долей квадрата нормы изображений соседних и центральной областей.

Рассмотрим примеры вычисления матриц $P_1 \div P_8$ и P_0 , с элементами вида (2), распределения долей квадрата нормы изображений соседних и центральной областей по информативным (5) подобластям пространственных частот.

В проведенных вычислительных экспериментах количество ППЧ было выбрано равным 5×5 , что не снижает общности полученных результатов, для анализа были выбраны фрагменты кадра, отмеченные на рис. 2.

Для экспериментов были вычислены матрицы долей квадрата нормы соответствующих областей размером 10×10 , 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей.

В табл. 3 приведены значения среднеквадратического отклонения (8) и коэффициента корреляции (13) матриц $P_1 \div P_8$ и матрицы P_0 долей квадрата нормы соответствующих изображений соседних областей I_i , $i = 1, 2, \dots, 8$, и центральной области I_0 (размером 10×10 пикселей), а также областей, размером 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей, заданных таким образом, чтобы координаты левого верхнего угла центральной области в соответствующих случаях совпадали (области содержат изображение морской поверхности).

Данные, приведенные в табл. 3, показывают, что для заданных соседних областей, содержащих изображение морской поверхности, их размер не влияет существенно на меру различия матриц $P_1 \div P_8$ и матрицы P_0 долей квадрата нормы соответствующих изображений соседних и центральной областей. Следует отметить, что с увеличением размеров областей имело место увеличение значений коэффициента корреляции соответствующих матриц долей квадрата нормы изображений.

В табл. 4 приведены значения СКО (8) и коэффициента корреляции матриц $P_1 \div P_8$ и матрицы P_0 долей квадрата нормы соответствующих изображений соседних областей изображений I_i , $i = 1, 2, \dots, 8$, и центральной области I_0 (размером 10×10 пикселей), а также областей, размером 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей, заданных таким образом, чтобы

координаты левого верхнего угла центральной области в соответствующих случаях совпадали (области содержат изображение морской поверхности и объекта).

Таблица 3
Table 3

Значения среднеквадратического отклонения (8) и коэффициента корреляции матриц $P_1 \div P_8$ и матрицы P_0 долей квадрата нормы изображений соседних областей $I_1 \div I_8$ и области I_0 , размером 10×10 , 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей (области содержат изображение морской поверхности)

Values of the standard deviation (8) and the correlation coefficient of the matrices $P_1 \div P_8$ and the matrix P_0 of parts of the squared norm of the adjacent image areas $I_1 \div I_8$ and area I_0 , with sizes of 10×10 , 10×20 , 20×10 and 20×20 pixels (areas contain the sea surface image)

Матрица долей квадрата нормы изображения	Среднеквадратическое отклонение				Коэффициент корреляции			
	10×10	10×20	20×10	20×20	10×10	10×20	20×10	20×20
P_1	0,426	0,846	0,375	0,393	0,879	0,630	0,906	0,904
P_2	0,758	0,357	0,310	0,350	0,714	0,925	0,936	0,926
P_3	0,588	0,507	0,338	0,383	0,806	0,827	0,948	0,908
P_4	0,481	0,547	0,536	0,287	0,848	0,834	0,834	0,952
P_5	1,058	0,578	0,463	0,357	0,576	0,766	0,890	0,921
P_6	0,786	0,249	0,746	0,400	0,703	0,967	0,629	0,909
P_7	0,676	0,402	0,664	0,484	0,766	0,918	0,719	0,850
P_8	0,482	0,304	0,475	0,484	0,840	0,944	0,850	0,849
Среднее арифмет.	0,657	0,474	0,489	0,392	0,766	0,851	0,839	0,902

Данные, приведенные в табл. 4, показывают, что для заданных соседних областей $I_1 \div I_8$ и области I_0 , содержащих изображения морской поверхности и плавающего объекта, размер областей не влияет существенно на меру различия матриц $P_1 \div P_8$ и матрицы P_0 долей квадрата нормы изображений соседних областей $I_1 \div I_8$ и центральной области I_0 . Следует отметить, что значения СКО в табл. 4 (случай наличия изображения объекта) выше, чем в табл. 3 (изображение объекта отсутствует), однако, в связи с тем, что в табл. 3 СКО имеет достаточно большие значения, то значения СКО в данных случаях нецелесообразно использовать в качестве признака наличия или отсутствия объекта.

Рассмотрим результаты вычисления меры отличия матриц $P_1 \div P_8$ и матрицы P_0 долей квадрата нормы изображений соседних областей $I_1 \div I_8$ и центральной области I_0 для фрагментов кадра, указанных на рис. 3.

На рис. 6а и 6б приведены гистограммы, показывающие соответственно относительное количество различных значений СКО и коэффициента корреляции матриц $P_1 \div P_8$ и матрицы P_0 долей квадрата нормы изображений соседних областей $I_1 \div I_8$ и центральной области I_0 при всевозможных положениях центральной области в левом прямоугольнике на рис. 3 (изображение объекта отсутствует, размеры областей 10×10 пикселей, количество положений центральной области – 1232).

Таблица 4
Table 4

Значения среднеквадратического отклонения (8) и коэффициента корреляции матриц $P_1 \div P_8$ и матрицы P_0 долей квадрата нормы изображений соседних областей $I_1 \div I_8$ и области I_0 , размером 10×10 , 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей (области содержат изображения морской поверхности и объекта)

Values of the standard deviation (8) and the correlation coefficient of the matrices $P_1 \div P_8$ and the matrix P_0 of parts of the squared norm of the adjacent image areas $I_1 \div I_8$ and area I_0 , with sizes of 10×10 , 10×20 , 20×10 and 20×20 pixels (areas contain the sea surface and object images)

Матрица долей квадрата нормы изображения	Среднеквадратическое отклонение				Коэффициент корреляции			
	10×10	10×20	20×10	20×20	10×10	10×20	20×10	20×20
P_1	1,354	0,625	1,007	0,754	0,276	0,730	0,581	0,716
P_2	0,425	0,611	0,944	0,694	0,877	0,811	0,565	0,728
P_3	1,264	1,068	1,725	1,278	0,322	0,401	0,165	0,420
P_4	1,494	1,249	1,767	1,272	0,248	0,295	0,161	0,387
P_5	0,466	0,428	0,570	0,363	0,907	0,885	0,845	0,916
P_6	0,942	0,495	1,183	0,543	0,569	0,841	0,439	0,808
P_7	0,672	0,812	1,039	0,970	0,711	0,643	0,631	0,622
P_8	0,940	0,893	1,136	1,249	0,620	0,635	0,559	0,487
Среднее арифмет.	0,945	0,773	1,171	0,890	0,566	0,655	0,493	0,635

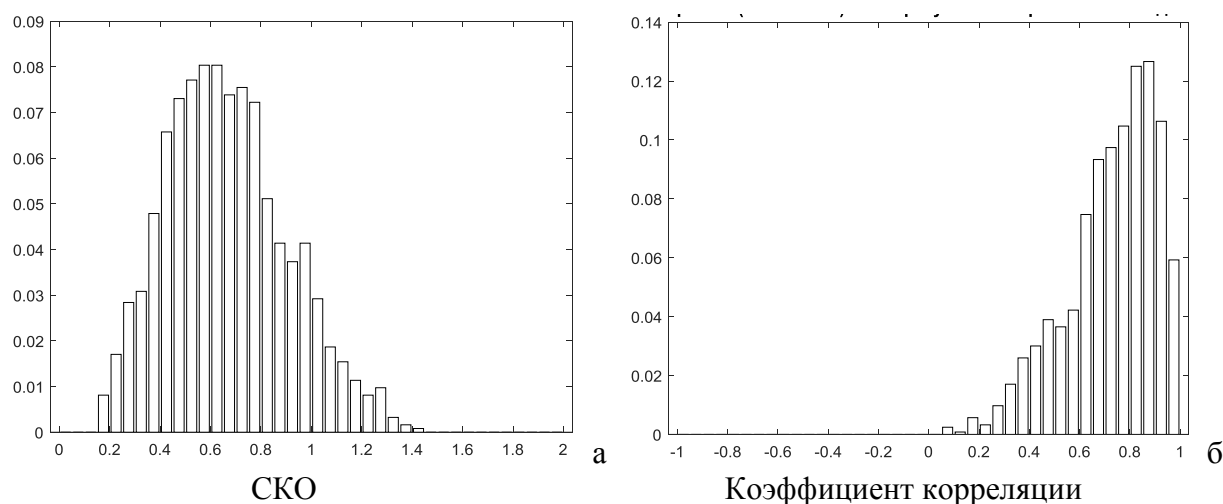


Рис. 6. Распределение значений СКО и коэффициента корреляции матриц $P_1 \div P_8$ и матрицы P_0 долей квадрата нормы изображений соседних областей $I_1 \div I_8$ и центральной области I_0 (левый прямоугольник на рис. 3, изображение объекта отсутствует)

Fig. 6. Distribution of the standard deviation values and the correlation coefficient of the matrices $P_1 \div P_8$ and the matrix P_0 of parts of the squared norm of the adjacent image areas $I_1 \div I_8$ and the central area I_0 (left rectangle in Fig. 3, the object image is absent)

На рис. 7а и 7б приведены гистограммы, показывающие соответственно относительное количество различных значений СКО и коэффициента корреляции матриц

$P_1 \div P_8$ и матрицы P_0 долей квадрата нормы изображений соседних областей $I_1 \div I_8$ и центральной области I_0 при всевозможных положениях центральной области в правом прямоугольнике на рис. 3 (изображение объекта присутствует, размеры областей 10×10 пикселей, количество положений центральной области – 1232).

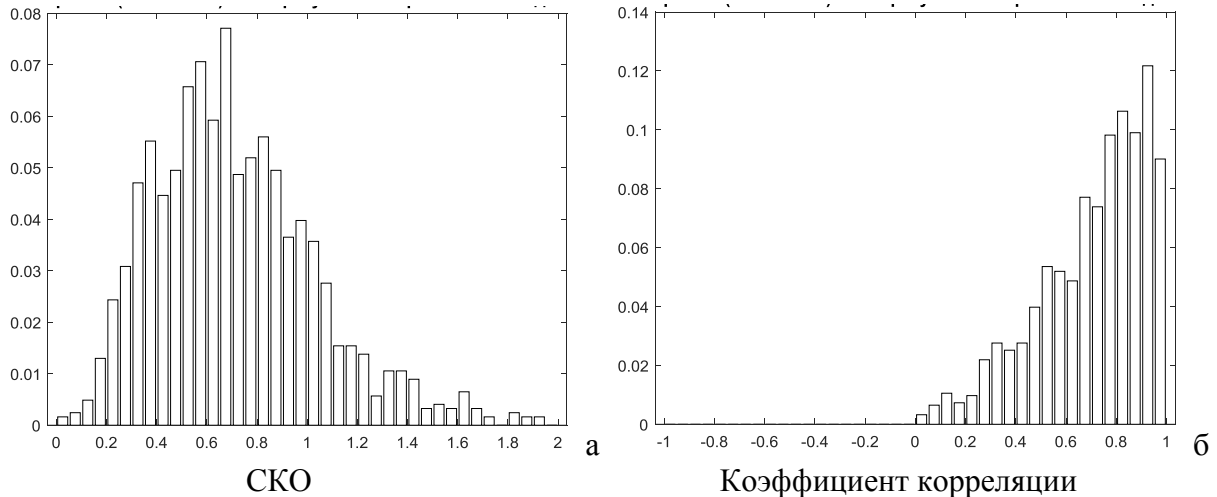


Рис. 7. Распределение значений СКО и коэффициента корреляции матриц $P_1 \div P_8$ и матрицы P_0 долей квадрата нормы изображений соседних областей $I_1 \div I_8$ и центральной области I_0 (правый прямоугольник на рис. 3, присутствует изображение объекта)

Fig. 7. Distribution of the standard deviation values and the correlation coefficient of the matrices $P_1 \div P_8$ and the matrix P_0 of parts of the squared norm of the adjacent image areas $I_1 \div I_8$ and the central area I_0 (right rectangle in Fig. 3, the object image is present)

Результаты, приведенные на рис. 6 и 7, показывают, что наличие или отсутствие изображения объекта в анализируемых фрагментах кадра практически не влияет на распределение значений СКО и коэффициента корреляции матриц $P_1 \div P_8$ и матрицы P_0 долей квадрата нормы изображений соседних областей $I_1 \div I_8$ и центральной области I_0 , на которые разбиваются фрагменты кадра.

Оценивание различий информативных субполосных компонент изображений соседних и центральной областей.

Рассмотрим примеры вычисления информативных субполосных компонент Y_0 и $Y_1 \div Y_8$, вида (10) и (11), соответствующих изображений центральной и соседних областей.

В проведенных вычислительных экспериментах количество ППЧ было выбрано равным 5×5 , что не снижает общности полученных результатов, для анализа были выбраны фрагменты кадра, отмеченные на рис. 2.

Для экспериментов были вычислены информативные субполосные компоненты изображений соответствующих областей размером 10×10 , 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей.

В табл. 5 приведены значения среднеквадратического отклонения (9) и коэффициента корреляции (13) информативных субполосных компонент Y_0 и $Y_1 \div Y_8$ соответствующих изображений центральной области I_0 и соседних областей I_i , $i=1,2,\dots,8$ (размер 10×10 пикселей), а также областей, размером 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей, заданных таким образом, чтобы координаты левого верхнего угла центральной области в соответствующих случаях совпадали (области содержат изображение морской поверхности).

Таблица 5
 Table 5

Значения среднеквадратического отклонения (9) и коэффициента корреляции информативных субполосных компонент Y_0 и $Y_1 \div Y_8$ соответствующих изображений центральной области I_0 и соседних областей $I_1 \div I_8$, размером 10×10 , 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей (области содержат изображение морской поверхности)
 The values of the standard deviation (9) and the correlation coefficient of informative subband components Y_0 and $Y_1 \div Y_8$ of the corresponding images of the central area I_0 and adjacent areas $I_1 \div I_8$, with sizes of 10×10 , 10×20 , 20×10 , and 20×20 pixels (the areas contain the sea surface image)

Информативная субполосная компонента	Среднеквадратическое отклонение				Коэффициент корреляции			
	10×10	10×20	20×10	20×20	10×10	10×20	20×10	20×20
Y_1	0,945	1,125	1,212	1,441	-0,167	0,187	0,406	0,205
Y_2	1,341	1,478	1,882	1,990	0,253	0,202	-0,218	0,007
Y_3	0,618	1,076	2,006	2,195	0,638	0,445	-0,665	-0,303
Y_4	0,579	1,549	2,072	1,809	0,616	0,384	-0,583	-0,142
Y_5	1,038	1,631	0,929	1,971	0,240	0,014	0,518	-0,154
Y_6	1,557	1,393	1,055	1,883	-0,557	0,466	0,191	-0,073
Y_7	1,649	1,386	1,085	1,060	-0,241	-0,220	0,281	0,390
Y_8	1,938	1,780	1,511	1,329	-0,271	0,004	0,549	0,387
Среднее арифмет.	1,208	1,427	1,469	1,710	0,064	0,185	0,060	0,040

Данные, приведенные в табл. 5, показывают, что для заданных соседних областей, содержащих изображение морской поверхности, их размер не влияет существенно на меру различия информативных субполосных компонент Y_0 и $Y_1 \div Y_8$ соответствующих изображений центральной и соседних областей.

В табл. 6 приведены значения СКО (9) и коэффициента корреляции информативных субполосных компонент Y_0 и $Y_1 \div Y_8$ соответствующих изображений центральной области I_0 и соседних областей I_i , $i = 1, 2, \dots, 8$ (размер 10×10 пикселей), а также областей, размером 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей, заданных таким образом, чтобы координаты левого верхнего угла центральной области в соответствующих случаях совпадали (области содержат изображение морской поверхности и объекта).

Данные, приведенные в табл. 6, показывают, что для заданных соседних областей $I_1 \div I_8$ и области I_0 , содержащих изображения морской поверхности и плавающего объекта, размер областей не влияет существенно на меру различия информативных субполосных компонент Y_0 и $Y_1 \div Y_8$ соответствующих изображений центральной области I_0 и соседних областей $I_1 \div I_8$.

Рассмотрим результаты вычисления меры отличия информативных субполосных компонент Y_0 и $Y_1 \div Y_8$ соответствующих изображений центральной области I_0 и соседних областей $I_1 \div I_8$ для фрагментов кадра, указанных на рис. 3.

На рис. 8а и 8б приведены гистограммы, показывающие соответственно относительное количество различных значений СКО и коэффициента корреляции информативных субполосных компонент Y_0 и $Y_1 \div Y_8$ соответствующих изображений центральной области I_0 и соседних областей $I_1 \div I_8$ при всевозможных положениях

центральной области в левом прямоугольнике на рис. 3 (изображение объекта отсутствует, размеры областей 10×10 пикселей, количество положений центральной области – 1232).

Таблица 6
Table 6

Значения среднеквадратического отклонения (9) и коэффициента корреляции информативных субполосных компонент Y_0 и $Y_1 \div Y_8$ соответствующих изображений центральной области I_0 и соседних областей $I_1 \div I_8$, размером 10×10 , 10×20 , 20×10 и 20×20 пикселей (области содержат изображения морской поверхности и объекта)
 The values of the standard deviation (9) and the correlation coefficient of informative subband components Y_0 and $Y_1 \div Y_8$ of the corresponding images of the central area I_0 and adjacent areas $I_1 \div I_8$, with sizes of 10×10 , 10×20 , 20×10 , and 20×20 pixels (the areas contain the sea surface and object images)

Информативная субполосная компонента	Среднеквадратическое отклонение				Коэффициент корреляции			
	10×10	10×20	20×10	20×20	10×10	10×20	20×10	20×20
Y_1	1,414	1,479	1,869	1,315	-0,164	-0,040	0,278	0,456
Y_2	1,126	0,880	1,980	1,813	-0,053	0,379	-0,417	-0,650
Y_3	1,781	1,948	2,580	2,424	-0,035	0,121	-0,417	-0,677
Y_4	2,144	3,710	2,751	3,577	-0,085	-0,209	-0,318	-0,555
Y_5	0,922	1,115	1,100	1,678	0,396	0,418	0,468	0,171
Y_6	1,170	1,333	2,975	1,194	0,273	0,092	-0,110	0,099
Y_7	1,243	1,791	2,790	2,299	-0,468	0,042	-0,038	0,024
Y_8	1,370	2,012	3,117	3,037	0,024	0,170	-0,060	-0,073
Среднее арифмет.	1,396	1,784	2,395	2,167	-0,014	0,122	-0,077	-0,150

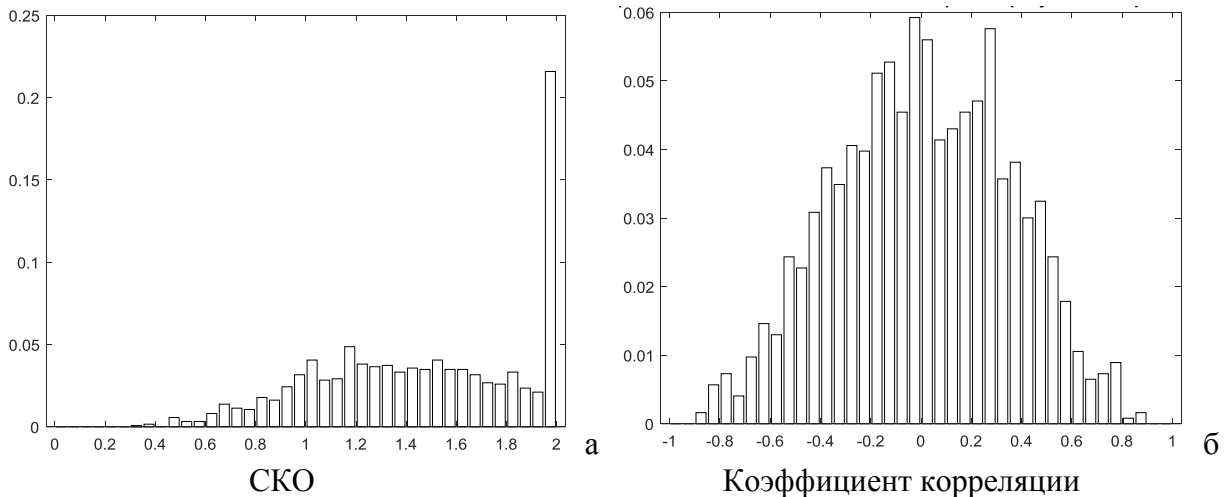


Рис. 8. Распределение значений СКО и коэффициента информативных субполосных компонент Y_0 и $Y_1 \div Y_8$ соответствующих изображений центральной области I_0 и соседних областей $I_1 \div I_8$ (левый прямоугольник на рис. 3, изображение объекта отсутствует)

Fig. 8. Distribution of the standard deviation values and the correlation coefficient of informative subband components Y_0 and $Y_1 \div Y_8$ of the corresponding images of the central area I_0 and adjacent areas $I_1 \div I_8$ (left rectangle in Fig. E 3, the object image is absent)

На рис. 8а и 9а значения СКО, большие 2, отображены в правом столбце гистограммы.

На рис. 9а и 9б приведены гистограммы, показывающие соответственно относительное количество различных значений СКО и коэффициента корреляции информативных субполосных компонент Y_0 и $Y_1 \div Y_8$ соответствующих изображений центральной области I_0 и соседних областей $I_1 \div I_8$ при всевозможных положениях центральной области в правом прямоугольнике на рис. 3 (изображение объекта присутствует, размеры областей 10×10 пикселей, количество положений центральной области – 1232).

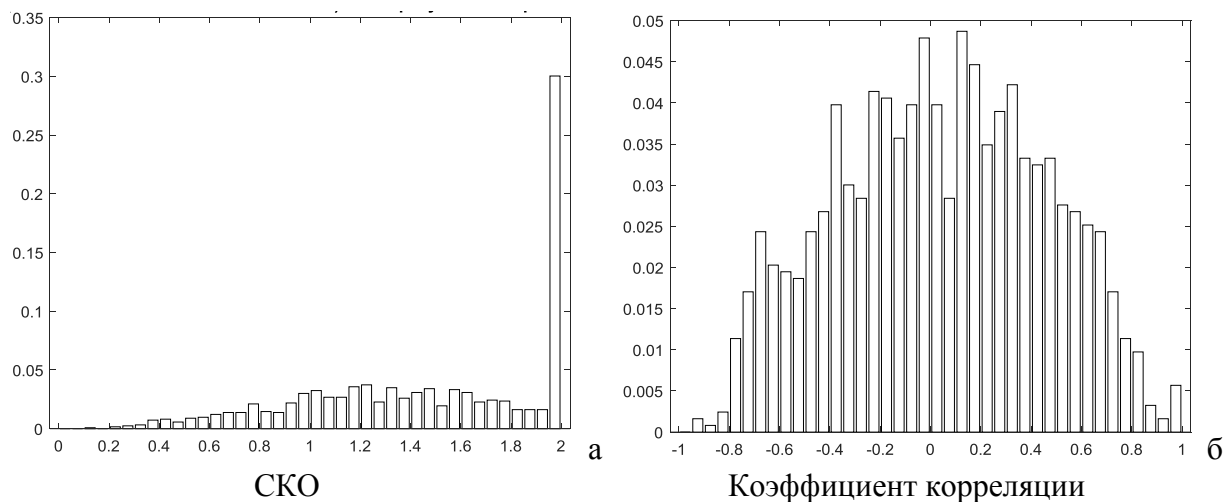


Рис. 9. Распределение значений СКО и коэффициента корреляции информативных субполосных компонент Y_0 и $Y_1 \div Y_8$ соответствующих изображений центральной области I_0 и соседних областей $I_1 \div I_8$ (правый прямоугольник на рис. 3, присутствует изображение объекта)
Fig. 9. Distribution of the standard deviation values and the correlation coefficient of informative subband components Y_0 and $Y_1 \div Y_8$ of the corresponding images of the central area I_0 and adjacent areas $I_1 \div I_8$ (right rectangle in Fig. E 3, the object image is present)

Результаты, приведенные на рис. 8 и 9, показывают, что наличие или отсутствие изображения объекта в анализируемых фрагментах кадра практически не влияет на распределение значений СКО и коэффициента корреляции информативных субполосных компонент Y_0 и $Y_1 \div Y_8$ соответствующих изображений центральной области I_0 и соседних областей $I_1 \div I_8$, на которые разбиваются фрагменты кадра.

Заклучение

В работе исследованы подходы оценивания отличий областей изображений взволнованной морской поверхности на основе вычисления среднеквадратических отклонений и коэффициентов корреляции матриц значений пикселей центральной и соседних с ней областями, на которые разбиваются фрагменты изображений, а также матриц значений долей квадрата нормы изображений заданных областей, соответствующих информативным подобластям пространственных частот, и матриц информативных субполосных компонент изображений заданных областей.

Приведены соотношения для вычисления информативных подобластей пространственных частот заданных изображений и соответствующих информативных субполосных компонент, а также соотношения, позволяющие вычислить на основе среднеквадратического отклонения и коэффициента корреляции анализируемые меры отличия заданных областей изображений, матриц распределения долей квадрата их нормы

по информационным подобластям пространственных частот и информативных субполосных компонент.

Для проведения вычислительных экспериментов выбрано изображение взволнованной морской поверхности, содержащее изображение малозаметного объекта. Показано, что значения рассматриваемых мер отличия при анализе центральной и соседних областей различных размеров изменяются несущественно.

На основании результатов вычислительных экспериментов были построены гистограммы, которые показали, что наличие или отсутствие малозаметного объекта на изображениях анализируемых областей изменяет распределение значений исследуемых мер отличия незначительно. Таким образом, показано, что исследованные субполосные характеристики фрагментов изображений морской поверхности не содержат инвариантов, слабо изменяющихся от фрагмента к фрагменту, на которых отсутствует изображение объекта, и существенно изменяющихся для фрагментов, на которых объект присутствует.

Список литературы

1. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. 2004. Методы распознавания. М., Высшая школа: 264.
2. Жилияков Е.Г. 2007. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным на основе частотных представлений. Белгород, Издательство БелГУ, 160 с.
3. Жилияков Е.Г., Ефимов Н.О. 2015. О субполосном анализе изображений. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика, 1 (198): 118–124.
4. Жилияков, Е.Г., Черноморец А.А., Белов А.С., Болгова Е.В. 2013. О субполосных свойствах изображений. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика, 7 (150):175–182.
5. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В. 2016. Об информационных подобластях пространственных частот изображений. Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика, 23 (244): 87–92.
6. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В. 2017. О субинтервальных матрицах на основе унитарных преобразований. Научный результат. Информационные технологии, 2 (1): 55–63.
7. Жилияков, Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В. 2016. Субполосные модели в обработке изображений. Белгород, ООО «ГиК», 155 с.
8. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Заливин А.Н. 2009. Об эффективности метода оценивания значений долей энергии изображений на основе частотных представлений. Информационные системы и технологии, 2 (52): 12–22.
9. Жилияков Е.Г., Черноморец Д.А. 2020. Об информативности субполосного анализа потока изображений при обнаружении объектов. Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2020): сборник материалов VIII Международной научно-технической конференции, 24–25 сентября 2020, Белгород: 65–68.
10. Черноморец А.А., Болгова Е.В. 2016. Об исследовании субполосных свойств изображений земной поверхности. Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика, 9 (230): 188–196.
11. Черноморец Д.А., Болгова Е.В., Черноморец А.А., Барсук А.А. 2019. Представление изображений на основе базиса собственных векторов субполосных матриц косинус-преобразования. Научный результат. Информационные технологии, 4 (1): 3–8.
12. Черноморец Д.А. 2021. О свойствах взаимных корреляций фрагментов изображений морской поверхности в видеопотоке. XXVIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов», 12–23 апреля 2021, Москва, МГУ им. М.В.Ломоносова.
13. Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Gool L.V. 2008. SURF: Speeded-up robust features. *Comput Vis Image Und*, 110 (3): 346–359.
14. Conte E., De Maio A., Ricci G. 2001. GLRT-based adaptive detection algorithms for rangespread targets. *IEEE Trans. Signal Process*, 49(7): 1336–1348.
15. Zhilyakov Evgeniy G., Golikov Victor, Chernomoretz Daria A., Samovarov Oleg I., Babarinov Sergei L. 2020. Detection of Slow-Moving Objects Floating on an Agitated Sea Surface based on Subband Analysis within the Cosine Transform. *Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems*, 12, 05-Special Issue: 1314–1325. DOI: 10.5373/JARDCS/V12SP5/20201891.

16. Felzenszwalb P., Girshick R., McAllester D., Ramanan D. 2010. Object detection with discriminatively trained part-based models. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 32(9):1627–1645.
17. Golikov V., Lebedeva O. 2013. Adaptive detection of subpixel targets with hypothesis dependent background power. *IEEE Signal Process*, 20 (8): 751–754.
18. Golikov V., Rodriguez-Blanco M., Lebedeva O. 2016. Robust multipixel matched subspace detection with signal-dependent background power. *Journal of applied remote sensing*, 10(1): 015006-1-015006-11.
19. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. 2012. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, 25: 1106–1114.
20. Scharf L.L, Friedlander B. 1994. Matched subspace detectors. *Signal Process* 571, *IEEE Transactions*, 42 (8): 2146–2157.

References

1. Gorelik A.L., Skripkin V.A. 2004. *Metodi raspoznavaniya [Recognition methods]*. M., *Visshaya shkola*: 264.
2. Zhilyakov E.G. 2007. *Variatsionnie metodi analiza i postroeniya funktsiy po empiricheskim dannim na osnove chastotnih predstavleniy [Variational methods of analysis and functions construction from empirical data based on frequency representations]*. Belgorod: Publ. BelGU, 160 p.
3. Zhilyakov E.G., Efimov N.O. 2015. O subpolosnom analize izobrazheniy [On subband image analysis]. *Nauchnye vedomosti BelGU. Seriya: Ekonomika. Informatika*. 1 (198): 118–124.
4. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Belov A.S., Bolgova E.V. 2013. O subpolosnih svoystvakh izobrazheniy [On the subband image properties]. *Nauchnye vedomosti BelGU. Seriya: Ekonomika. Informatika*. 7 (150):175–182.
5. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V. 2016. About information on subdomain spatial frequencies of images. *Nauchnye vedomosti BelGU. Seriya: Ekonomika. Informatika*. 23 (244): 87–92 (in Russian).
6. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V. 2017. About subinterval matrices based on unitary transformations. *Research result. Information Technologies*, 2 (1): 55–63 (in Russian).
7. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V. 2016. Subpolosnie modeli v obrabotke izobrazheniy [Subband models in image processing]. Belgorod, Publ. “GiK”, 155 p.
8. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Zalivin A.N. 2009. On efficiency of the estimation method of image energy parts values on the basis of frequency representations. *Information Systems and Technologies*, 2 (52): 12–22 (in Russian).
9. Zhilyakov E.G., Chernomorets D.A. 2020. On the informativeness of image flow subband analysis when detecting the objects. *Information technologies in science, education and production (itsep-2020): Collection of works of the VIII International Conference on Science and Technology, 24–25 September 2020, Belgorod*: 65–68 (in Russian).
10. Chernomorets A.A., Bolgova E.V. 2016. About research of earth surface images subband properties. *Nauchnye vedomosti BelGU. Seriya: Ekonomika. Informatika*. 9 (230): 188–196. (in Russian).
11. Chernomorets D.A., Bolgova E.V., Chernomorets A.A., Barsuk A.A. 2019. Images presentation based on subband cosine transform matrix eigenvectors basis. *Research result. Information Technologies*, 4 (1): 3–8 (in Russian).
12. Chernomorets D.A. 2021. O svoystvakh vzaimnih korrelyatsiy fragmentov izobrazheniy morskoy poverhnosti v videopotoke [On the properties of mutual image fragments correlations of the sea surface in the video stream]. *XXVIII International Scientific Conference for Undergraduate and Graduate Students and Young Scientists "Lomonosov"*, 12–23 April 2021, Moscow, Lomonosov Moscow State University.
13. Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Gool L.V. 2008. SURF: Speeded-up robust features. *Comput Vis Image Und*, 110 (3): 346–359.
14. Conte E., De Maio A., Ricci G. 2001. GLRT-based adaptive detection algorithms for rangspread targets. *IEEE Trans. Signal Process*, 49(7): 1336–1348.
15. Zhilyakov Evgeniy G., Golikov Victor, Chernomorets Daria A., Samovarov Oleg I., Babarinov Sergei L. 2020. Detection of Slow-Moving Objects Floating on an Agitated Sea Surface based on Subband Analysis within the Cosine Transform. *Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems*, 12, 05-Special Issue: 1314-1325. DOI: 10.5373/JARDCS/V12SP5/20201891.

16. Felzenszwalb P., Girshick R., McAllester D., Ramanan D. 2010. Object detection with discriminatively trained part-based models. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 32(9):1627–1645.
17. Golikov V., Lebedeva O. 2013. Adaptive detection of subpixel targets with hypothesis dependent background power. *IEEE Signal Process*, 20 (8): 751–754.
18. Golikov V., Rodriguez-Blanco M., Lebedeva O. 2016. Robust multipixel matched subspace detection with signal-dependent background power. *Journal of applied remote sensing*, 10(1): 015006-1-015006-11.
19. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. 2012. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, 25: 1106–1114.
20. Scharf L.L, Friedlander B. 1994. Matched subspace detectors. *Signal Process* 571, *IEEE Transactions*, 42 (8): 2146–2157.

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

Голиков Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор, Автономный университет, Кармен, Мехико

Черноморец Дарья Андреевна, ассистент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем института инженерных и цифровых технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Viktor S. Golikov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Autonomous University, Carmen, Mexico

Daria A. Chernomorets, Assistant of the Department of Mathematical and Software Information Systems, Institute of Engineering and Digital Technologies, Belgorod State University, Belgorod, Russia

УДК 004.85
DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-764-770

Использование технологии гиперпоточности в целях повышения скорости обработки ML-алгоритмов

¹⁾ Воробьев А.В., ²⁾ Распопин Д.И.

¹⁾ Курский государственный университет
Россия, г. Курск, ул. Радищева, 33
E-mail: 505216@inbox.ru

²⁾ Юго-Западный государственный университет
Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94
E-mail: dr9524934961@gmail.com

Аннотация

В статье проведен анализ скорости обработки данных алгоритмами машинного обучения в зависимости от доступных вычислительных ресурсов CPU и объема набора данных. Испытания проводились на синтезированных тестовых наборах нарастающей размерности от 100 наблюдений и 100 предикторов до 2000 наблюдений и 2000 предикторов с использованием модернизированного ансамблевого алгоритма. В результате исследования определено, что при использовании исключительно доступных вычислительных ресурсов CPU прирост скорости выполнения алгоритма требует значительно опережающего темпа приростов суммарной вычислительной мощности, определена исчисляемая пропорция прироста для частной задачи. Рассмотрена технология гиперпоточности в качестве инструмента повышения производительности CPU. В ходе экспериментов определено, что обработка алгоритмов машинного обучения в однопоточном приложении – языковой среде Python – не является ограничением использования гиперпоточности, напротив, применение данной технологии может повысить скорость обработки ML-алгоритмов.

Ключевые слова: машинное обучение, ансамблевые алгоритмы, гиперпоточность, однопоточное приложение.

Для цитирования: Воробьев А.В., Распопин Д.И. 2021. Использование технологии гиперпоточности в целях повышения скорости обработки ML-алгоритмов. Экономика. Информатика. 48 (4): 764–770. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-764-770.

Using hyperthreading technology to increase the processing speed of ML algorithms

¹⁾ Alexander V. Vorobyev, ²⁾ Daniil I. Raspopin

¹⁾ Kursk State University
33 Radisheva St, Kursk, Russia
E-mail: 505216@inbox.ru

²⁾ South-West State University,
94 50 let Oktyabrya St, Kursk, Russia
E-mail: dr9524934961@gmail.com

Abstract

The paper analyzes the data processing speed of machine learning algorithms depending on available CPU computing resources and data set size. Tests were conducted on synthesized test suites of increasing dimensionality, from 100 observations and 100 predictors, to 2000 observations and 2000 predictors, using a modern ensemble algorithm. As a result of the research it is determined that to increase the training speed of an ML-algorithm a much larger increase in computational power is required, given that the only computational power used is that of the CPU. A numerical exemplary proportion valid for a specific task is

provided. Hyperthreading technology as a tool for increasing CPU performance is considered. In the course of experiments it is determined that processing of machine learning algorithms in a single threaded application – Python language environment – is not a limitation for hyperthreading; on the contrary, using this technology can increase the processing speed of ML algorithms.

Keywords: machine learning, ensemble algorithms, hyperthreading, single-threaded application.

For citation: Vorobyev A.V., Raspopin D.I. 2021. Using hyperthreading technology to improve the processing speed of ML algorithms. Economics. Information technologies. 48 (4): 764–770 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-764-770.

Введение

Вычисления общего назначения с использованием графического процессора (GPU), были представлены в начале 2000-х годов и с тех пор стали популярной концепцией. Первыми примерами были ускорение простых алгоритмов, таких как умножение матрицы на матрицу, путем перефразирования алгоритма в виде операций над графическими примитивами [Larsen и др., 2001]. Это было громоздко, и не существовало инструментов разработки для вычислений общего назначения. Тем не менее многие алгоритмы были реализованы на графическом процессоре в качестве доказательства концепции, демонстрируя значительное ускорение по сравнению с центральной обработкой на процессоре (CPU) [Seung Won Min и др. 2021]. Сегодня среда разработки для вычислений на графическом процессоре значительно эволюционировала и является одновременно зрелой и стабильной: доступны передовые отладчики и профилировщики, что делает отладку, разработку на основе профилей и оптимизацию производительности проще, чем когда-либо [Rex Ying и др., 2018; Seung Won Min и др., 2021]. При этом изменения в глобальной конъюнктуре рынка GPU 2020–2021 годов под влиянием ряда факторов (дефицит полупроводников, рост курсов криптовалют и др.) определили снижение массовой доступности высокоэффективных графических процессоров. В данной работе мы рассматриваем практику использования вычисления алгоритмов машинного обучения с обработкой на CPU, определением зависимости скорости обработки от объема доступных вычислительных мощностей и использование технологий, позволяющих увеличить производительность.

Влияние вычислительной мощности на скорость обработки ML-алгоритмов

В целях определения влияния вычислительной мощности на скорость обучения ML-алгоритмов был сформирован код с генерацией тестового набора данных нарастающей размерности от 100 наблюдений и 100 предикторов до 2000 наблюдений и 2000 предикторов соответственно. Таким образом общее количество значений к обработке в наборе варьировалось от 10 тысяч до 4 миллионов. Тестовый алгоритм был построен в языковой среде Python с использованием одного из наиболее распространённых и популярных алгоритмов машинного обучения – XGBoost, основанного на градиентном бустинге деревьев решений [Chen и др., 2016; Guolin Ke и др., 2017; Воробьев, 2021].

В качестве основных мощностей для проверки были выбраны ЭВМ с идентичной или схожей операционной системой, CPU с датой выхода до 2014года и техпроцессом 22-32 нм (Windows 10 для Intel(R) Core(TM) i5-4210U и AMD FX(tm)-8320; Windows 10 СЕРВЕР для Intel(R) Xeon(R) E5-2660). Вычисления выполнялись исключительно на CPU.

Для соблюдения возможности сопоставимости результатов в плоскости «время обработки – доступные вычислительные ресурсы», для представленных CPU была рассчитана условная общая частота по методике VMware (для хоста ESXi): соответствует произведению количества физических ядер, их тактовой частоте и количеству сокетов [Рекомендации по повышению производительности для VMware].

Таблица 1
 Table 1

Ключевые характеристики CPU ЭВМ при проведении тестирования
 Main technical details of PC's CPU in testing

Ключевые характеристики	Intel(R) Core(TM) i5-4210U	AMD FX(tm)-8320	Intel(R) Xeon(R) E5-2660
Количество физических ядер	2	8	8
Количество потоков	4	8	16
Базовая тактовая частота процессора (GHz)	1,7	3,5	2,2
Условная общая частота (GHz)	3,4	28	35,2

Полученные данные ожидаемо демонстрируют зависимость снижения скорости реализации алгоритма при увеличении размера доступных вычислительных ресурсов (рис. 1, а) [Namotskiy и др., 2017; Kochura Y. и др., 2017; Holm и др., 2020]. При этом наблюдается изменение данной зависимости с линейной для CPU с относительно высоким показателем общей частоты на экспоненциальную для CPU с минимальным размером ресурсов.

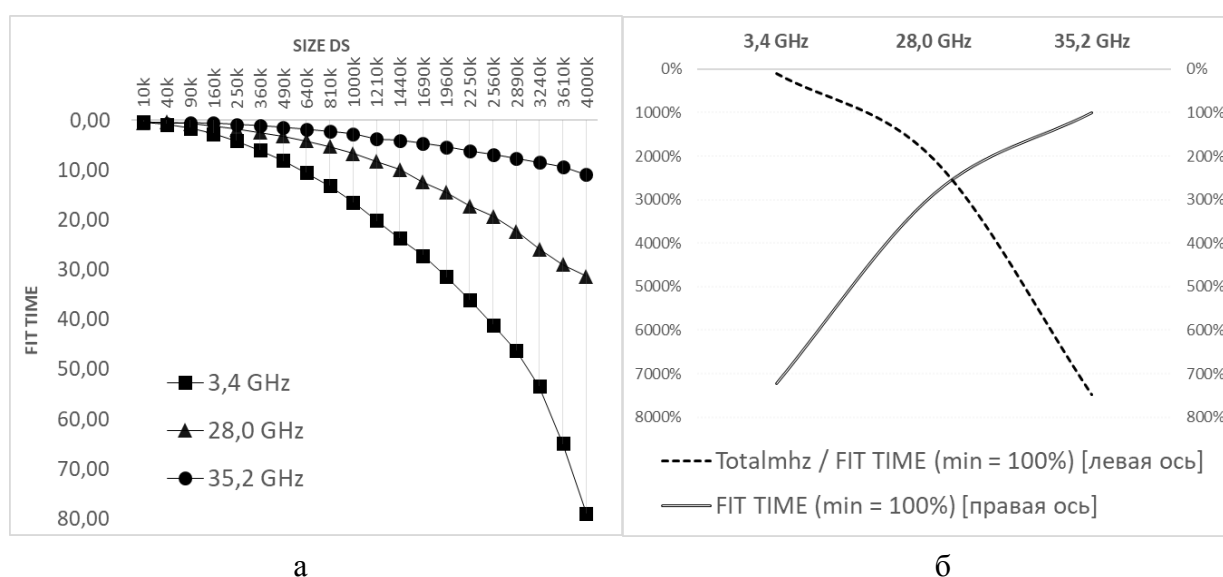


Рис. 1. Скорость выполнения ML-алгоритма в зависимости от размерности набора данных (а) и отношение доступных вычислительных ресурсов к скорости выполнения алгоритма в конечной точке наблюдения (б)

Fig. 1. The speed of ML-algorithm execution as a function of data set size (a) and the ratio of available computational resources to the algorithm's execution speed at the final point of observation (b)

Более выраженная диспропорция наблюдается при рассмотрении условного показателя «Totalmhz / FIT TIME» (рис. 1, б) в конечной точке наблюдения (набор данных размерностью 2000 x 2000), характеризующего отношение доступных вычислительных ресурсов к скорости выполнения алгоритма в данной точке наблюдения. Характер динамики данного показателя, в совокупности с рассмотрением относительного изменения скорости выполнения алгоритма свидетельствует о необходимости значительного наращивания размера доступных вычислительных ресурсов для повышения скорости выполнения тестового алгоритма. Так, исключительно в тестовых наборах увеличение скорости выполнения алгоритма на 1 % требует увеличения вычислительных ресурсов на 10 %.

Использование технологии hyper-threading в целях повышения скорости ML-алгоритмов на однопоточном приложении

Гиперпоточность – это технология Intel, которая обеспечивает второй набор регистров (т. е. второе архитектурное состояние) на одном физическом процессорном ядре. Это позволяет операционной системе или гипервизору компьютера получить доступ к двум логическим процессорам для каждого физического ядра системы (рис. 2). Гиперпоточность прошла долгий путь с тех пор, как она была впервые выпущена в 2002 году. Во многом это улучшение обусловлено улучшенной поддержкой гиперпотоков в операционных системах и гипервизорах [Witten и др., 2016; Zhen Jia и др., 2019].

Hyper-threading создает два логических процессора из одного физического процессорного ядра. Он делает это, предоставляя два набора регистров (называемых архитектурными состояниями) на каждом ядре. Когда в сокетe Intel включена многопоточность, второе архитектурное состояние каждого ядра может принимать потоки от операционной системы (или гипервизора). Эти два потока по-прежнему будут совместно использовать внутренние компоненты микроархитектуры, называемые исполнительными блоками. Это может привести к увеличению производительности обработки до 30 % в одной системе сокетов. В системах с двумя разъемами гиперпоточность может обеспечить улучшение до 15 % [Sahil Munjal и др. 2014]

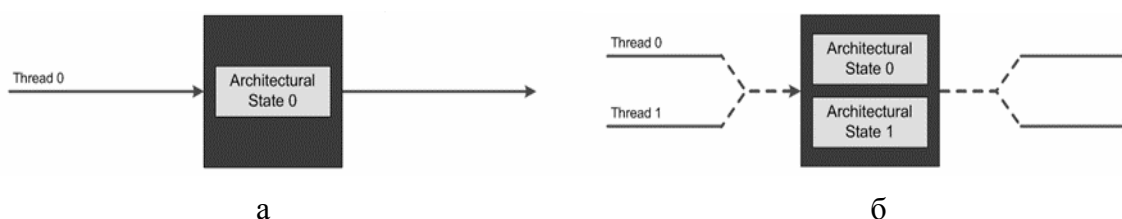


Рис. 2. Доступ к логическим процессорам для каждого физического ядра системы без технологии Hyper-threading (а) и с учетом ее применения (б)

Fig. 2. Access to logical processors for each physical core of the system without Hyper-threading technology (a) and with its application (b)

Однако гиперпоточность не всегда способствует повышению производительности системы. В ряде случаев включение гиперпоточности может снизить ее производительность [Hassanein и др. 2008].

Гиперпоточность может привести к незначительному улучшению, отсутствию улучшения или снижению производительности системы в случаях:

- наличия большого количества физических ядер CPU,
- операционная система не поддерживает гиперпоточность (например: Windows Server 2003),
- приложение является однопоточным или не может эффективно обрабатывать несколько потоков,
- приложение уже разработано таким образом, чтобы максимально использовать исполнительные блоки в каждом ядре, или приложение имеет очень высокую скорость ввода-вывода памяти.

В целях определения влияния гиперпоточности на скорость выполнения ML-алгоритма в однопоточном приложении (Python) с использованием CPU со значительным количеством физических ядер (8), т. е. в случае нескольких ограничивающих использование гиперпоточности факторов, был проведен дополнительный тест на Intel(R) Xeon(R) E5-2660, демонстрирующим лучшие результаты скорости обработки алгоритма среди тестовых ЭВМ.

В проведенном эксперименте наблюдается разнонаправленное отклонение значений скорости выполнения обработки алгоритма. При размерности набора обрабатываемых данных до 1300 x 1300 более высокие показатели фиксируются при использовании доступных вычислительных ресурсов CPU без гиперпоточности – в среднем показатели лучше более чем на 1/3. С ростом объема тестового набора данных использование технологии hyper-threading позволяет улучшить результаты, линейно увеличивая их пропорционально растущему объему. При размерности набора свыше 1600 x 1600 диапазон улучшения варьируется от 10 % до 12 %, что близко к заявленным, по росту производительности, параметрам Intel.

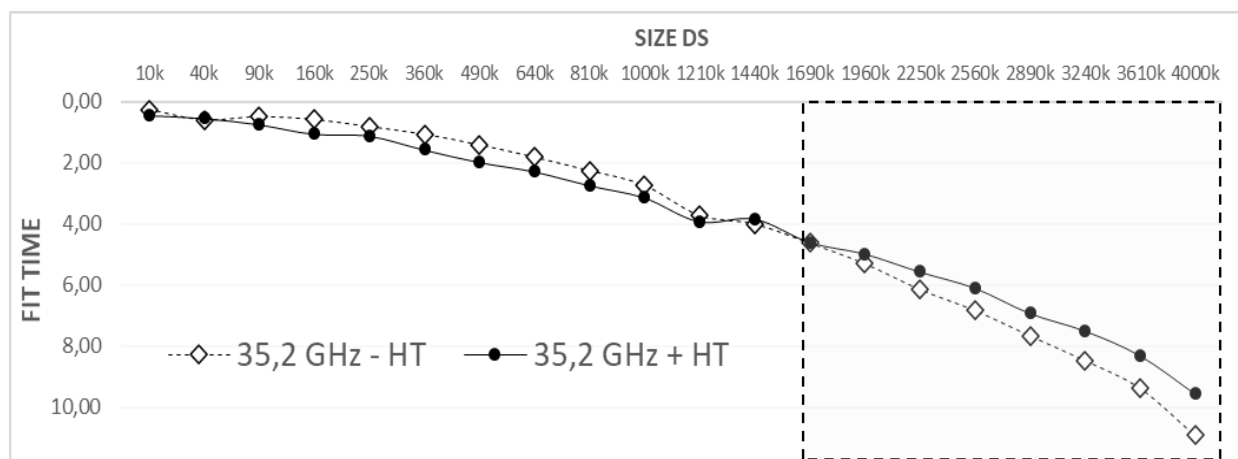


Рис. 3. Скорость выполнения ML-алгоритма в зависимости от размерности набора данных без технологии Hyper-threading (-HT) и с учетом ее применения (+HT)
Fig. 3. ML-algorithm execution speed as a function of data set size without Hyper-threading (-HT) and with Hyper-threading (+HT)

Таким образом, использование технологии hyper-threading допустимо при выполнении ML-алгоритмов в однопоточном приложении с допущением необходимости тестирования производительности системы в зависимости от методов обработки и объема набора данных.

Заключение

Рост производительности вычислительных мощностей не всегда приводит к пропорциональному снижению скорости обучения. При работе с ML-алгоритмами в однопоточной среде (Python) с использованием исключительно доступных вычислительных ресурсов CPU прирост скорости выполнения алгоритма требует значительно опережающего темпа приростов суммарной вычислительной мощности (до 1 к 10).

Использование гиперпоточности может повысить скорость обработки ML-алгоритмов в однопоточной среде до 10–15 %, при этом рост производительности может быть нелинейен и зависит от содержания и объема набора данных, используемых алгоритмов и методов обработки, количества потоков. Необходимо тестирование производительности системы с включенной гиперпоточностью и без нее для каждой частной задачи обработки ML-алгоритмов в целях определения оптимального значения количества потоков под конкретную размерность выбранного DS.

Список литературы

1. Воробьев А.В. 2021. Метод выбора модели машинного обучения на основе устойчивости предикторов с применением значения Шепли. Экономика. Информатика, 48 (2): 350–359. DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-2-350-359.

2. Chen T., Guestrin C. 2016. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. arXiv:1603.02754. DOI: 10.1145/2939672.2939785.
3. Gordienko, Y. et al (2015). IMP Science Gateway: from the Portal to the Hub of Virtual Experimental Labs in e-Science and Multiscale Courses in e-Learning. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 27(16), 4451–4464.
4. Guolin Ke, Qi Meng, Thomas Finley, Taifeng Wang, Wei Chen, Weidong Ma, Qiwei Ye, Tie-Yan Liu: LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree. *Advances in Neural Information Processing Systems* 30 (NIPS 2017).
5. Hamotskyi, S., Rojbi, A., Stirenko, S., Gordienko, Y.: Automatized generation of alphabets of symbols for multimodal human computer interfaces. In: *Proceedings of Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS-2017, Prague, Czech Republic (2017)*.
6. Håvard H. Holm, André R. Brodtkorb and Martin L. Sætra. GPU Computing with Python: Performance, Energy Efficiency and Usability. *Computation*. MDPI. 01/2020 Volume 8. <https://doi.org/10.3390/computation8010004>.
7. Kochura Y., Stirenko S., Alienin O., Novotarskiy M., Gordienko Y. Performance Analysis of Open Source Machine Learning Frameworks for Various Parameters in Single-Threaded and Multi-threaded Modes. *Advances in Intelligent Systems and Computing II* pp 243–256. DOI 10.1007/978-3-319-70581-1_17.
8. Larsen E.; McAllister D. Fast matrix multiplies using graphics hardware. In *Proceedings of the 2001. ACM/IEEE Conference on Supercomputing, SC'01, Denver, CO, USA, 10–16 November 2001*.
9. Performance Best Practices for VMware vSphere® 5.1. VMware, Inc. 3401 Hillview Ave. Palo Alto, CA 94304. Revision: 20120910. https://www.vmware.com/pdf/Perf_Best_Practices_vSphere5.1.pdf
10. Rex Ying, Ruining He, Kaifeng Chen, Pong Eksombatchai, William L. Hamilton, and Jure Leskovec. 2018. Graph Convolutional Neural Networks for Web-Scale Recommender Systems. In *Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining (London, United Kingdom) (KDD '18)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 974–983. <https://doi.org/10.1145/3219819.3219890>.
11. Sahil Munjal, Nikhil Singla, Nitin Sinha. Hyper-Threading Technology in Microprocessor. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*. Volume 2 Issue X. 2014.
12. Seung Won Min, Kun Wu, Sitao Huang, Mert Hidayetoğlu, Jinjun Xiong, Eiman Ebrahimi, Deming Chen, Wen-mei Hwu. Large Graph Convolutional Network Training with GPU-Oriented Data Communication Architecture. arXiv:2103.03330 (2021).
13. Wessam M. Hassanein, Layali K. Rashid & Moustafa A. Hammad. Analyzing the Effects of Hyperthreading on the Performance of Data Management Systems. *International Journal of Parallel Programming* volume 36, pages 206–225 (2008) DOI:10.1007/s10766-007-0066-x.
14. Witten I. H., Frank E., Hall M. A., Pal C. J. (2016). *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann.
15. Zhen Jia, Wanling Gao, Yingjie Shi, Sally A. McKee, Zhenyan Ji, Jianfeng Zhan, Lei Wang, Lixin Zhang. Understanding Processors Design Decisions for Data Analytics in Homogeneous Data Centers. *IEEE Transactions on Big Data*. Volume: 5, Issue: 1.2019. DOI 10.1109/TBDATA.2017.2758792.

References

1. Vorobev A. 2021. Feautre stability based machine learning model selection method with usage of Shapley values. *Economics. IT*, 48 (2): 350–359. DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-2-350-359.
2. Chen T., Guestrin C. 2016. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. arXiv:1603.02754. DOI: 10.1145/2939672.2939785.
3. Gordienko, Y. et al. 2015. IMP Science Gateway: from the Portal to the Hub of Virtual Experimental Labs in e-Science and Multiscale Courses in e-Learning. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 27(16), 4451–4464.
4. Guolin Ke, Qi Meng, Thomas Finley, Taifeng Wang, Wei Chen, Weidong Ma, Qiwei Ye, Tie-Yan Liu: LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree. *Advances in Neural Information Processing Systems* 30 (NIPS 2017).
5. Hamotskyi, S., Rojbi, A., Stirenko, S., Gordienko, Y. 2017. Automatized generation of alphabets of symbols for multimodal human computer interfaces. In: *Proceedings of Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS-2017, Prague, Czech Republic*.



6. Håvard H. Holm, André R. Brodtkorb and Martin L. Sætra. GPU Computing with Python: Performance, Energy Efficiency and Usability. *Computation*. MDPI. 01/2020 Volume 8. <https://doi.org/10.3390/computation8010004>
7. Kochura Y., Stirenko S., Alienin O., Novotarskiy M., Gordienko Y. Performance Analysis of Open Source Machine Learning Frameworks for Various Parameters in Single-Threaded and Multi-threaded Modes. *Advances in Intelligent Systems and Computing II* pp 243–256. DOI 10.1007/978-3-319-70581-1_17
8. Larsen E.; McAllister D. Fast matrix multiplies using graphics hardware. In *Proceedings of the 2001. ACM/IEEE Conference on Supercomputing, SC'01, Denver, CO, USA, 10–16 November 2001*.
9. Performance Best Practices for VMware vSphere® 5.1. VMware, Inc. 3401 Hillview Ave. Palo Alto, CA 94304. Revision: 20120910. https://www.vmware.com/pdf/Perf_Best_Practices_vSphere5.1.pdf
10. Rex Ying, Ruining He, Kaifeng Chen, Pong Eksombatchai, William L. Hamilton, and Jure Leskovec. 2018. Graph Convolutional Neural Networks for Web-Scale Recommender Systems. In *Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining (London, United Kingdom) (KDD '18)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 974–983. <https://doi.org/10.1145/3219819.3219890>
11. Sahil Munjal, Nikhil Singla, Nitin Sinha. Hyper-Threading Technology in Microprocessor. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*. 2 (X). 2014.
12. Seung Won Min, Kun Wu, Sitao Huang, Mert Hidayetoğlu, Jinjun Xiong, Eiman Ebrahimi, Deming Chen, Wen-mei Hwu. Large Graph Convolutional Network Training with GPU-Oriented Data Communication Architecture. *arXiv:2103.03330* (2021).
13. Wessam M. Hassanein, Layali K. Rashid & Moustafa A. Hammad. Analyzing the Effects of Hyperthreading on the Performance of Data Management Systems. *International Journal of Parallel Programming* volume 36, pages 206–225 (2008) DOI:10.1007/s10766-007-0066-x
14. Witten I. H., Frank E., Hall M. A., Pal C. J. (2016). *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann.
15. Zhen Jia, Wanling Gao, Yingjie Shi, Sally A. McKee, Zhenyan Ji, Jianfeng Zhan, Lei Wang, Lixin Zhang. Understanding Processors Design Decisions for Data Analytics in Homogeneous Data Centers. *IEEE Transactions on Big Data*. Volume: 5, Issue: 1.2019. DOI 10.1109/TBDATA.2017.2758792

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

Воробьев Александр Викторович, аспирант кафедры ПОАИС Курского государственного университета, Курск, Россия

Распопин Даниил Игоревич, студент кафедры таможенного дела и мировой экономики факультета государственного управления и международных отношений Юго-западный государственный университет, Курск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander V. Vorobyev, Postgraduate Cathedra of SISA, Kursk State University, Kursk, Russia

Daniil I. Raspopin, Student of the Department of Customs and Global Economy of South-West State University, Kursk, Russia

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 629.7.017.1

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-771-783

Оценивание надежности спутников в зависимости от типа орбиты

Брусков А.А.

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Московской области «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова»,
Россия, 141074, Московская область, г. Королев, ул. Гагарина, д. 42
E-mail: bruskov.art@yandex.ru

Аннотация. Надежность уже давно является одним из основных факторов при проектировании космических систем и в последние годы она даже стала важной составляющей при проектировании космических аппаратов для исследования космического пространства. Цель настоящей работы заключается в статистическом получении и сопоставлении результатов надежности спутников в зависимости от типа орбиты, а именно геосинхронных орбит, низких околоземных орбит и средних околоземных орбит. Для каждой орбиты предусмотрены графики надежности спутников как функции высоты орбиты, а также доверительные границы по этим оценкам. Используя аналитические методы, такие как оценка максимального правдоподобия, параметрические подгонки проводятся на предыдущих непараметрических результатах надежности с использованием единичного распределения Вейбулла и комбинации распределений.

Ключевые слова: надежность, распределение Вейбулла, сбои, аномалии, оценщик Каплана – Мейера, спутники.

Для цитирования: Брусков А.А. 2021. Получение и сопоставление результатов надежности спутников в зависимости от типа орбиты. Экономика. Информатика, 48(4): 771–783. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-771-783.

Evaluation of the reliability of satellites depending on the type of orbit

Artem A. Bruskov

State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow region "Technological
University named after twice Hero of the Soviet Union, Cosmonaut A.A. Leonov",
42 Gagarin St, Korolev, Moscow region, 141074, Russia
E-mail: bruskov.art@yandex.ru

Abstract. Reliability has long been a major factor in the design of space systems, and in recent years it has even become an important component in the design of spacecraft for space exploration. The purpose of this work is to statistically obtain and compare the results of satellite reliability depending on the type of orbit, namely geosynchronous orbits, low Earth orbits and medium Earth orbits. For each orbit, satellite reliability graphs are provided as a function of the orbit height, as well as confidence bounds on these estimates. Using analytical methods such as maximum likelihood estimation, parametric fittings are performed on previous nonparametric reliability results using the unit Weibull distribution and a combination of distributions.

Keywords: reliability, Weibull distribution, failures, anomalies, Kaplan – Meyer estimator, satellites.

For citation: Bruskov A.A. 2021. Obtaining and comparing satellite reliability results depending on the type of orbit. Economics. Information technologies, 48(4): 771–783 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-771-783.

Введение

Надежность уже давно признается в качестве важнейшего признака космических систем, и потенциальные причины отказов на орбите тщательно изучаются для выявления и устранения посредством тщательного анализа и выбора деталей, а также испытаний спутников перед запуском. К сожалению, несмотря на признание важности надежности, в технической литературе имеются ограниченные данные об отказах на орбите и в статистическом анализе надежности спутников. Чтобы помочь восполнить этот пробел, автор собрал данные об отказе 1584 спутников на околоземной орбите, успешно запущенных в период с 1990 года по 2020 год. Автор провел непараметрический анализ надежности спутников и предоставил эмпирические кривые надежности спутников с 95 % доверительным интервалом, как показано на рисунке 1. Одним из ограничений является объединение всех спутников на околоземной орбите в одну категорию и статистический анализ их «коллективного» поведения при отказе.

Следствием этого является то, что при отсутствии «массового производства спутников» статистический анализ данных об отказе спутника и надежности сталкивается с дилеммой выбора между вычислением точной «средней» надежности спутника, с одной стороны, или получением, с другой стороны, «специфической» надежности спутника [Брусков, 2020].

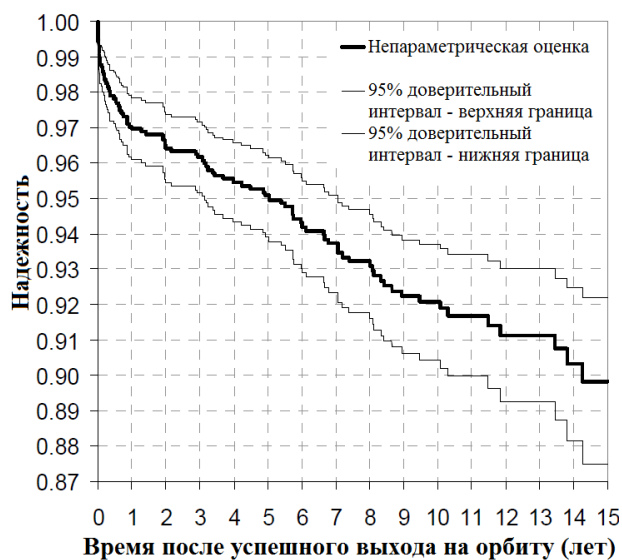


Рис. 1. Надежность спутника с 95 % доверительными интервалами
Fig. 1. Satellite reliability with 95 % confidence intervals

Эта дилемма объясняется следующими двумя возможными подходами. Первый подход заключается в объединении различных спутников и анализе их «коллективного» поведения при отказе на орбите (предполагая, что время отказа спутников независимо и одинаково распределено).

Преимущество этого состоит в том, что можно работать с относительно большой выборкой и таким образом получать некоторую точность и узкий доверительный интервал для анализируемой «коллективной» надежности. Недостаток заключается в том, что предположение может быть нереалистичным, а вычисленная «коллективная» надежность может не отражать специфическую надежность конкретного типа космических аппаратов. Второй подход заключается в специализации данных, например, для конкретной платформы космического аппарата или типа миссии, или для спутников на определенных орбитах. Преимущество этого заключается в том, что анализируемая надежность зависит от типа

рассматриваемого космического аппарата (это больше не «коллективная» надежность на орбите). Недостатком является то, что размер выборки уменьшается, и, как следствие, доверительный интервал расширяется (т. е. результаты становятся все более неопределенными). Учитывая имеющееся количество спутников (несколько тысяч), специализация данных, которая могла бы уменьшить размер выборки до менее чем ста точек данных, привела бы к значительно большим доверительным интервалам и, таким образом, к высокорассредоточенным и неопределенным «специфическим» расчетам надежности спутников. В настоящей статье я придерживаюсь второго подхода [Кринецкий и др., 1980].

Со статистической точки зрения на вероятность отказа спутников могут влиять несколько параметров или характеристик конструкции. Например, сложность космического аппарата, его орбита, количество приборов на борту или размер его полезной нагрузки, которая имеет некоторые последствия для надежности спутника. Одним из факторов, влияющих на надежность спутника, может быть тип орбиты, поскольку выбор орбиты может повлиять на выбор конструкции на борту космического аппарата, а также на рабочую среду системы [Бровкини др., 2010]. За этим наблюдением следует несколько вопросов: например, соотносятся ли разные орбиты космических аппаратов с различным поведением отказов на орбите? Имеют ли спутники на низкой околоземной орбите иной характер отказа, чем спутники на геосинхронной орбите? Показывают ли спутники на разных орбитах различную степень «младенческой смертности»?

В этой статье я провожу статистический анализ надежности спутника с орбитой в качестве ковариаты. Анализ основан на наборе данных из 1584 спутников на околоземной орбите, успешно запущенных в период с января 1990 года по октябрь 2020 года. Я сначала классифицирую эти спутники по орбите: геостационарной орбите, низкой околоземной орбите и средней околоземной орбите. А затем проводится непараметрический анализ надежности спутника для каждой категории орбиты с помощью оценщика Каплана – Мейера. Используя аналитические методы, такие как оценка максимального правдоподобия и регрессия наименьших квадратов, затем проводится параметрический анализ, предполагая распределение комбинаций Вейбулла. Основываясь на этих параметрических подходах, предлагается сравнительный анализ надежности, выявляющий сходства и различия в поведении надежности спутников на этих трех типах орбит. Наконец, помимо статистического анализа, я завершаю эту работу несколькими гипотезами для структурных/причинно-следственных объяснений этих тенденций и различий в поведении отказа на орбите.

Описание базы данных и данных

Для этого исследования мною использована база данных SpaceTrak. Эта база данных представляет собой историю отказов и аномалий спутников на орбите, а также истории запусков с 1957 года и считается одной из самых авторитетных в космической отрасли с данными по более чем 6400 космическим аппаратам. Я проанализировал 1584 спутников, и ограничил настоящее исследование спутниками на околоземной орбите, успешно запущенными в период с 1990 года по 2020 год. Для вычисления надежности я использовал то, что в базе данных называется отказом I класса, то есть выбытием спутника из-за отказа. Для каждого космического аппарата я собирал:

- 1) тип его орбиты;
- 2) дату его запуска;
- 3) дату его отказа, если произошел сбой;
- 4) «время выбора», если не произошло отказа.

Этот последний момент дополнительно объясняется в следующем разделе, где обсуждается цензура данных и оценка Каплана – Мейера. Шаблон сбора данных и образцы данных для анализа приведены в таблице 1.

В таблице 2 представлены основные характеристики трех категорий орбит, а на рисунке 2 показано количество спутников на каждую категорию орбит в период с 1990 по 2020 год (т. е. размер выборки для каждого типа орбиты).

Таблица 1
Table 1

Шаблон сбора данных и выборочные данные для статистического анализа надежности спутников
 Data collection template and sample data for statistical analysis of reliability-satellite news

Номер	Орбита	Дата запуска	Дата отказа (если произошел сбой)	Время выборки(если сбой не произошел)
Спутник № 1	Геосинхронная орбита	06.11.1998	15.11.1998	-
Спутник № 2	Низкая околоземная орбита	01.03.2002	-	02.10.2020
...
Спутник № 1584	Средняя околоземная орбита	26.04.2004	28.03.2006	-

Таблица 2
Table 2

Характеристика орбиты
Orbit characteristics

Орбита	Особенности
Геосинхронная орбита	окружность с апогеем и перигеем на расстоянии около 36 000 км
Низкая околоземная орбита	апогей и перигей до 2000 км
Средняя околоземная орбита	окружность с апогеем и перигеем на расстоянии около 20 000 км

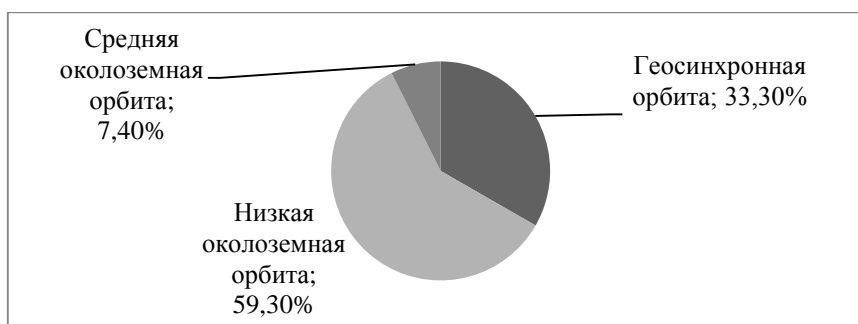


Рис. 2. Распределение спутников по орбитам от 1990 до 2020 г.
 Fig. 2. Distribution of satellites by orbits from 1990 to 2020 г.

Непараметрический анализ надежности спутника. В этом разделе я кратко рассмотрю цензуру в анализе статистических данных и оценку надежности Каплана – Мейера, когда основные данные подвергаются правой цензуре, как это происходит в моей выборке.

Непараметрический означает, что статистический анализ не предполагает какого-либо конкретного параметрического распределения (также иногда называемого анализом без распределения). Затем я предоставляю результаты надежности для спутников на геосинхронной орбите, низкой околоземной орбите и средней околоземной орбите.

Выборка данных и оценщик Каплана-Мейера

Цензура происходит, когда данные для статистического анализа набора элементов являются неполными, что и происходит в данной выборке. Более конкретно, здесь есть

цензура типа IV (также известная как случайная цензура), то есть правая цензура с шахматным вводом. Это означает следующее:

1) Спутники в этой выборке активируются в разные моменты времени (т. е. спутники запускаются в различные календарные даты), но все эти времена активации в моей выборке известны.

2) Ошибки даты и цензура являются стохастическими.

3) Цензура происходит либо потому, что спутник удаляется из выборки до сбоя, либо потому, что спутник все еще работает в конце окна наблюдения.

Цензура требует тщательного внимания: получение функции надежности из цензурированных данных о жизни не является тривиальным, и важно, чтобы это было сделано должным образом, чтобы результаты были значимыми и непредвзятыми. В этой работе я использую оценщик Каплана – Мейера, который лучше всего подходит для работы с тем типом цензуры, который в моей выборке. Оценщик Каплана – Мейера функции надёжности с цензурированными данными задан уравнением (1):

$$\hat{R}(t) = \prod_{\substack{\text{все } i \\ \text{такие, что } t_{(i)} \leq t}} \hat{p}_i = \prod_{\substack{\text{все } ei \\ \text{такие, что } t_{(i)} \leq t}} \frac{n_i - 1}{n_i}, \quad (1)$$

где:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{(i)} - \text{время до } i - \text{го отказа (в порядке возрастания)} \\ n_i = \text{количество операционных единиц непосредственно перед } t_{(i)} = \\ n - [\text{количество цензурированных единиц непосредственно перед } t_{(i)}] \\ \quad - [\text{количество отказавших блоков непосредственно перед } t_{(i)}] \\ \hat{p}_i = \frac{n_i - 1}{n_i} \end{array} \right. \quad (2)$$

Если в моменты времени отказа имеются связи, скажем, единицы $m_{(i)}$ отказывают точно при $t_{(i)}$ – эта ситуация называется связью кратности m , тогда уравнение 2 заменяется на:

$$\hat{p}_i = \frac{n_i - m_i}{n_i}. \quad (3)$$

Если время цензуры точно равно времени сбоя, принимается соглашение, предполагающее, что цензура произошла сразу после сбоя (то есть на бесконечно малом временном интервале после сбоя).

Непараметрические результаты надежности спутников на геосинхронной орбите, низкой околоземной орбите и средней околоземной орбите

С помощью этого краткого обзора цензуры и оценщика Каплана – Мейера я теперь могу анализировать надежность спутника на орбите на основе цензурированных наборов данных. Для проанализированных 1584 спутников и рассмотренных здесь 3 орбитальных категорий я получил 22 отказа класса I для геосинхронной орбиты, 70 – для низкой околоземной орбиты и 2 – для средней околоземной орбиты. Затем данные обрабатывались с помощью оценщика Каплана – Мейера (Выражение 1), и я получил непараметрические результаты надежности спутников на геосинхронной орбите, низкой околоземной орбите и средней околоземной орбите, показанные на рисунках 3а и 3б.

Рисунки 3а и 3б – графики надежности Каплана. Вертикальные разрезы на рисунке 3 читаются, например, следующим образом:

1) Наиболее вероятная оценка надежности спутников на геосинхронной орбите при $t = 1$ год на орбите составляет $\hat{R} = 98,7 \%$.

2) Наиболее вероятная оценка надежности спутников на геосинхронной орбите при $t = 7$ лет на орбите составляет $\hat{R} = 96,8 \%$.

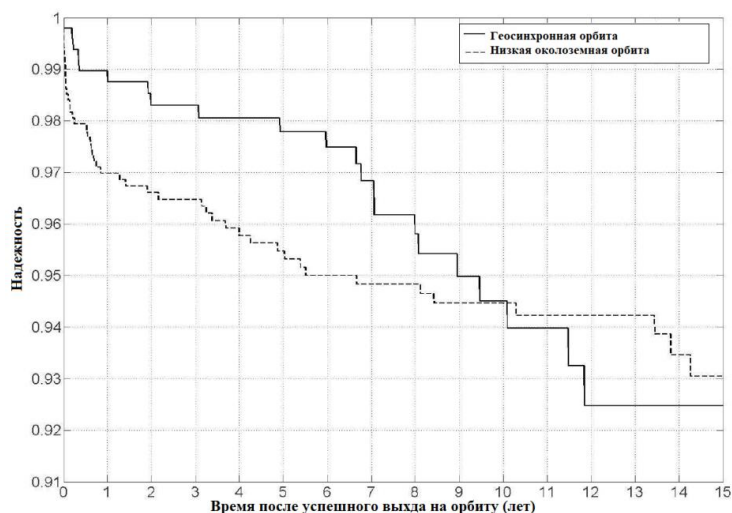


Рис. 3а. Непараметрические результаты надежности спутников на геосинхронной орбите, низкой околоземной орбите

Fig. 3a. Nonparametric results of reliability of satellites in geosynchronous orbit, low Earth orbit

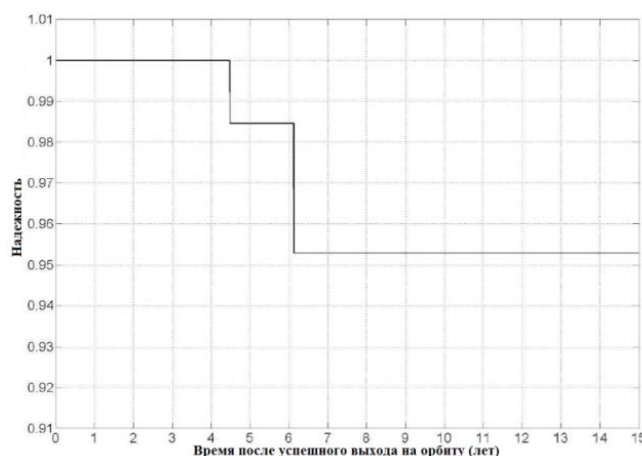


Рис. 3б. Непараметрический результат надежности спутников на средней околоземной орбите

Fig. 3b. Nonparametric result of the reliability of satellites in medium Earth orbit

Графики Каплана для спутников на геосинхронной орбите, низкой околоземной орбите и средней околоземной орбите позволяют визуально выявить некоторые важные тенденции в надежности спутника и поведении отказа на орбите. Например:

1. Спутники на геосинхронной орбите демонстрируют небольшую «младенческую смертность», надежность которой падает примерно до 98,7 % через год. Кроме того, геостационарные спутники демонстрируют явный износ от 6 до 12 лет, при этом надежность падает с 97,5 % до 92,5 % (рис. 3а).

2. Спутники на низкой околоземной орбите демонстрируют значительную «младенческую смертность», надежность падает до 97 % через год. Кроме того, в период с третьего по шестой год можно наблюдать «легкое» поведение при износе с падением надежности примерно с 96,5 % до 95 % (рисунок 3а).

3. Для спутников на средней околоземной орбите (рисунок 3б) можно наблюдать только два отказа на 111 спутниках на средней околоземной орбите. В результате нельзя сделать существенных выводов о непараметрических результатах надежности этих спутников.

Эти тенденции будут более тщательно и аналитически изучены далее.

Параметрический анализ надежности

Непараметрический анализ дает важные результаты, поскольку расчет надежности не ограничен каким-либо заранее определенным распределением срока службы. Однако эта гибкость делает непараметрические результаты не простыми и не удобными для использования в различных целях, часто встречающихся при проектировании. Кроме того, некоторые тенденции и закономерности отказов более четко идентифицируются и распознаются с помощью параметрического анализа [Легостаев и др., 2009; Ветошкин, 2020]. Существует несколько возможных методов подгонки параметрического распределения под непараметрическую функцию надежности (обеспечиваемую оценщиком Каплана – Мейера). Далее я представляю два параметрических метода, основанных на распределении Вейбулла, чтобы соответствовать непараметрической надежности спутников в каждой категории орбиты, обсуждавшихся ранее.

Распределение Вейбулла. Распределение Вейбулла является одним из наиболее часто используемых при анализе надежности. Его функция надежности (или выжившего) может быть записана следующим образом:

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \text{ для } t \geq 0, \quad (4)$$

где β – параметр формы (безразмерный) и θ – параметр масштаба (единицы времени), оба неотрицательные. Причиной широкого принятия распределения Вейбулла является то, что оно достаточно гибкое, и при соответствующем выборе параметра формы β оно может улавливать различные виды поведения отказов. Например, когда $0 < \beta < 1$, распределение Вейбулла моделирует «младенческую смертность» (что соответствует снижению частоты отказов).

Когда $\beta = 1$, распределение Вейбулла становится эквивалентным экспоненциальному распределению (постоянная частота отказов) и когда $\beta > 1$, модели распределения Вейбулла изнашивают отказы (что соответствует возрастающей частоте отказов).

В этой работе я сначала получаю распределение Вейбулла для трех непараметрических результатов надежности, используя процедуру максимального правдоподобия.

Тем не менее параметрические результаты будут показаны в пределах 0,6–3,2 % от «эталонных» непараметрических результатов, но для моих целей эти результаты недостаточно точны. Поэтому я приступаю к получению комбинации распределений Вейбулла для непараметрических результатов, где демонстрируется значительное улучшение точности параметрических посадок.

Оценка максимального правдоподобия одинарного распределения Вейбулла

При применении к непараметрическим результатам надежности, показанным на рисунках 3а и 3б, процедура максимального правдоподобия дает оценки параметров Вейбулла для каждой категории орбиты спутника. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Table 3

Оценки максимального правдоподобия параметров Вейбулла для надежности спутников по трем категориям орбит

Maximum likelihood estimates of Weibull parameters for the reliability of satellites in three categories of orbits

Орбита	β	θ (лет)
Геосинхронная орбита	0.7190	582.5
Низкая околоземная орбита	0.3473	34048.9
Средняя околоземная орбита	1.6347	79.4

Информация в таблице 3 выглядит следующим образом. Рассмотрим, например, спутники на геосинхронной орбите. Его непараметрическая надежность лучше всего аппроксимируется следующим распределением Вейбулла, полученным из оценки максимального правдоподобия:



$$R_{\text{rco}}(t) = \exp \left[-\left(\frac{t}{582.5}\right)^{0.7190} \right]. \quad (5)$$

Значения параметра формы ($\beta = 0,7190$) и параметра шкалы ($\Theta = 582,5$) являются оценками максимального правдоподобия. На рисунке 4 показана непараметрическая кривая надежности, рассчитанная по Вейбуллу максимальная оценка правдоподобия для трех категорий орбит.

Для спутников на низкой околоземной орбите на рисунке 4 представлена визуальная проверка того, что распределение Вейбулла, полученное из оценки максимального правдоподобия, удовлетворяет непараметрической надежности. Трудно сделать такой же вывод для двух других категорий орбит.

Качество соответствия распределения Вейбулла отражается в этой работе максимальными и средними ошибками за 15 лет между непараметрическими результатами надежности («эталонными» результатами) и посадкой Вейбулла. В таблице 4 приведены максимальные и средние погрешности между непараметрической надежностью и вписыванием Вейбулла для трех категорий орбит. Несмотря на эту разумную точность параметрического соответствия, на рисунке 4 показано, что одно распределение Вейбулла не полностью фиксирует тенденции отказов в данных, особенно для спутников на геосинхронной орбите и средней околоземной орбите.

Чтобы улучшить качество параметрического соответствия, я получаю в следующем подразделе распределения Вейбулла для непараметрических результатов надежности, полученных ранее.

Таблица 4
Table 4

Погрешность между непараметрической надежностью и пригодностью оценки максимального правдоподобия параметров Вейбулла для каждой категории спутников
 The error between nonparametric reliability and the suitability of the maximum likelihood estimation of the Weibull parameters for each category of satellites

Орбита	Максимальная ошибка (%)	Средняя ошибка (%)
Геосинхронная орбита	1.6	0.7
Низкая околоземная орбита	0.6	0.2
Средняя околоземная орбита	3.2	1.0

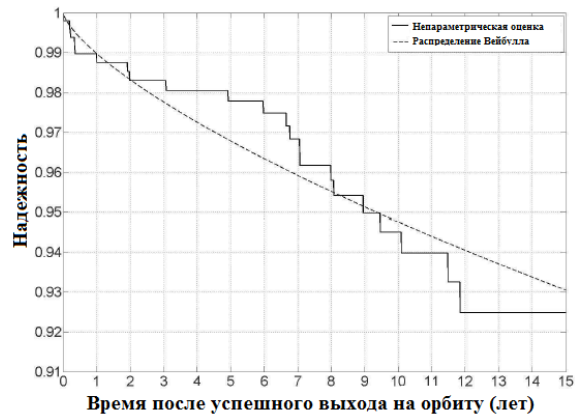
Комбинация распределений

Несколько распределений, таких как экспоненциальное распределение Вейбулла или логнормальное, могут использоваться в качестве основы для линейной комбинации для генерации распределения комбинаций. В этом подразделе сохраняется распределение Вейбулла в качестве основы для моих параметрических вычислений и получается комбинация двух распределений Вейбулла для непараметрической надежности спутника каждой категории орбиты [Волков, Шишкевич, 1975; Кринецкий, Александровская, 1975]. Параметрическая модель надежности с комбинацией двух распределений Вейбулла может быть выражена следующим образом:

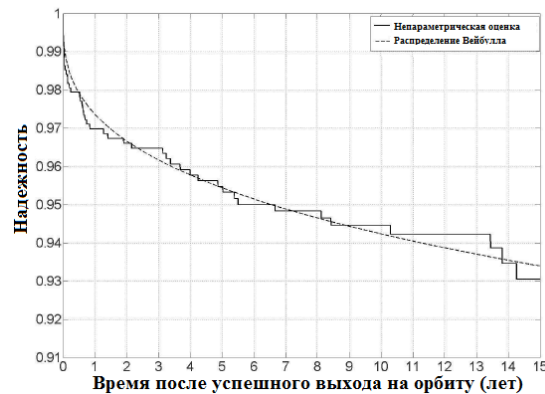
$$R(t) = \alpha \exp \left[-\left(\frac{t}{\theta_1}\right)^{\beta_1} \right] + (1 - \alpha) \exp \left[-\left(\frac{t}{\theta_2}\right)^{\beta_2} \right]. \quad (6)$$

Параметр α используется для изменения относительного веса, заданного для каждого распределения Вейбулла в комбинации. Я ограничиваю расчеты в этой работе $n = 2$, поскольку, как будет показано далее, результаты являются достаточно точными, и комбинация 2-х распределений Вейбулла следуют с заметной точностью различным тенденциям отказа в непараметрических результатах. Ограниченная инкрементная точность обеспечивается

комбинацией 3-х распределений Вейбулла. Увеличение n обеспечивает незначительное улучшение точности.



Геосинхронная орбита



Низкая околоземная орбита



Средняя околоземная орбита

Рис. 4. Непараметрическая надежность и одиночное распределение Вейбулла
Fig. 4. Nonparametric reliability and single Weibull distribution

Нелинейный метод наименьших квадратов обеспечивает наилучшие соответствия для параметров комбинации 2-х распределений Вейбулла для каждой категории орбиты. Результаты представлены в таблице 5.

Для трех категорий орбит новое параметрическое соответствие надежности с использованием распределения комбинации 2-х распределений Вейбулла точно соответствует непараметрической надежности, как показано на рисунке 5.

Таблица 5
 Table 5

Параметры комбинации 2-х распределений Вейбулла
 Parameters of a combination of 2 Weibull distributions

Орбита	α	β_1	β_2	θ_1	θ_2
Геосинхронная орбита	0.0496	4.1070	0.3300	9.8	661600.0
Низкая околоземная орбита	0.9927	0.2997	68.6300	136100.0	14.4
Средняя околоземная орбита	0.9526	1.4790	8.3600	101900.0	6.0

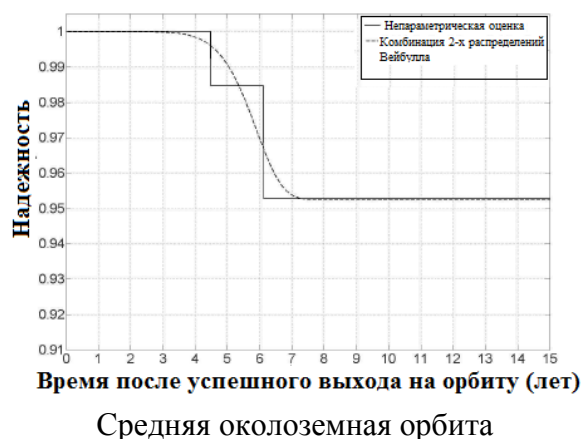
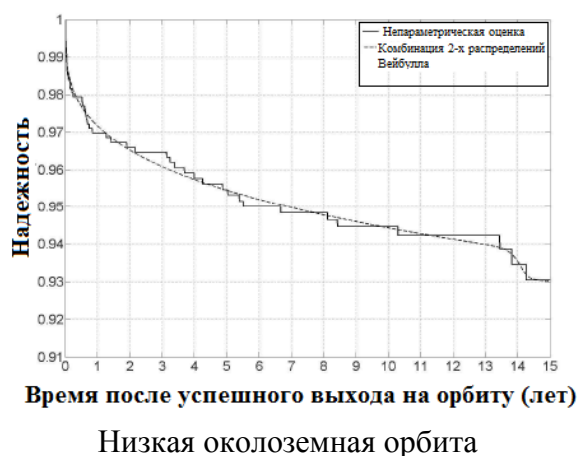
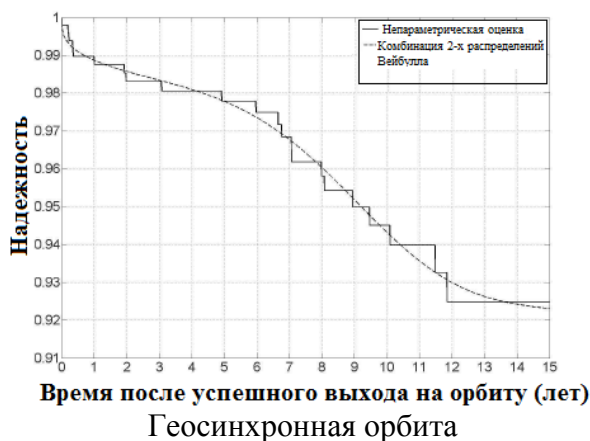


Рис. 5. Непараметрическая надежность и комбинации 2-х распределений Вейбулла для трех категорий спутников
 Fig. 5. Nonparametric reliability and combinations of 2 Weibull distributions for three categories of satellites

Следует отметить, что первый элемент Вейбулла с параметром формы $\beta_1 < 1$ фиксирует «младенческую смертность» спутника, в то время как второй элемент Вейбулла с параметром формы $\beta_2 > 1$ фиксирует ошибки износа спутника. Как и ожидалось, подгонки, обеспечиваемые подходом распределения комбинаций для трех категорий орбит, лучше, чем подгонки, обеспечиваемые подходом оценки максимального правдоподобия. В таблице 6 приведены коэффициенты R^2 и сумма квадратов ошибок трех распределений комбинаций, составленных для каждой категории орбиты.

Коэффициенты R^2 посадок выше 97 % для трех категорий. Чтобы измерить повышение точности между одним распределением Вейбулла и комбинации 2-х распределений Вейбулла, вычисляю как максимальную, так и среднюю погрешность между непараметрической надежностью и параметрическими моделями.

Результаты представлены в таблице 7.

Таблица 6
Table 6

Пригодность комбинации 2-х распределений Вейбулла для каждой категории спутников
 Suitability of a combination of 2 Weibull distributions for each satellite category

Коэффициент	Орбиты		
	Геосинхронная орбита	Низкая околоземная орбита	Средняя околоземная орбита
R^2	0.9908	0.9845	0.9749
Сумма квадратов ошибок	0.03978	0.01698	0.08776

Таблица 7
Table 7

Погрешность между непараметрической надежностью и параметрическими моделями
 в течение 15 лет
 Error between nonparametric reliability and parametric models for 15 years

Орбита	Ошибка (%)	Параметрическая подгонка	
		Единичное распределение Вейбулла	Комбинация 2-х распределений Вейбулла
Геосинхронная орбита	максимальная ошибка	1.6	0.7
	средняя ошибка	0.7	0.2
Низкая околоземная орбита	максимальная ошибка	0.6	0.4
	средняя ошибка	0.2	0.1
Средняя околоземная орбита	максимальная ошибка	3.2	1.8
	средняя ошибка	1.0	0.2

Как видно из таблицы 7, комбинация 2-х распределений Вейбулла является значительно более точным, чем единичное распределение Вейбулла при эталонной, непараметрической надежности спутника.

Заключение

В этой работе я получил непараметрические и параметрические результаты надежности для спутников, находящихся на околоземной орбите, в зависимости от типа орбиты, а именно от геосинхронных орбит, низких околоземных орбит и средних околоземных орбит. Я использовал обширную базу данных о запусках спутников и сбоях на орбите и аномалиях, чтобы получить, используя оценщик Каплана – Мейера, непараметрические результаты надежности для каждой категории спутников.

Затем, используя метод оценки максимального правдоподобия и регрессию наименьших квадратов, были получены параметрические соответствия результатов с одним и двумя распределениями Вейбулла. Параметрические подгонки с использованием комбинаций распределений оказались в значительной степени точными при регистрации тенденций отказов в непараметрических результатах.

Список литературы

1. Бровкин А.Г., Бурдыгов Б.Г., Гордийко С.В. и др. 2010. Бортовые системы управления космическими аппаратами: учебное пособие. – М.: МАИ-ПРИНТ, 304 с.
2. Брусков А.А. 2020. Анализ надежности различных систем космических аппаратов. Информационно-технологический вестник, 4: 34–46.
3. Брусков А.А. 2020. Определение объема комплексных электрических испытаний наноспутников. Сборник статей по материалам участников X Ежегодной научной конференции аспирантов «МГОТУ», 14 мая 2020 г., наукоград Королев, М.: Издательство «Научный консультант», 554 с.
4. Брусков А.А. 2021. Статистический анализ надежности космических аппаратов в зависимости от орбиты. Тезисы докладов XXII Научно-технической конференции и молодых ученых и специалистов, посвященной 60-летию полета Ю.А. Гагарина, 75-летию ракетно-космической отрасли и основания ПАО «РКК «Энергия», 8–12 ноября 2021 г., наукоград Королев, ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва», 536–537.
5. Вдовин В.М., Суркова Л.Е., Валентинов В.А. 2016. Теория систем и системный анализ. М.: Дашков и К, 640 с.
6. Ветошкин А.Г. 2020. Обеспечение надежности и безопасности в техносфере: учебное пособие, Издательство «Лань». 236 с.
7. Волков Л.И., Шишкевич А.М. 1975. Надежность летательных аппаратов. М.: Высшая школа. 296 с.
8. Корнев Г.Н., Яковлев В.Б. 2016. Системный анализ. М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 308 с.
9. Кринецкий Е.И., Александровская Л.Н., Мельников В.С., Максимов Н.А. 1980. Основы испытаний летательных аппаратов: Учебник для вузов М.: Машиностроение, 312 с.
10. Кринецкий Е.И., Александровская Л.Н. 1975. Летные испытания систем управления летательными аппаратами. М.: Машиностроение. 193 с.
11. Легостаев В.П., Микрин Е.А., Орловский И.В. и др. 2009. Создание и развитие систем управления движением транспортных космических кораблей «Союз» и «Прогресс»: опыт эксплуатации, планируемая модернизация. Труды МФТИ, 3: 4–13.
12. Свешников А.А. 1968. Прикладные методы теории случайных функций М.: Наука. 464 с.
13. Шубин Р.А. 2012. Надёжность технических систем и техногенный риск. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 80 с.
14. Kurant M, Thiran P. 2006. Layered Complex Networks. Phys Rev Lett 96(13).15–20.
15. Newman MEJ. 2010. Networks, an Introduction. New York, NY: Oxford University Press. 16–18.

References

1. Brovkin A.G., Burdygov B.G., Gordijko S.V. i dr. 2010. Bortovye sistemy upravleniya kosmicheskimi apparatami: uchebnoe posobie [Onboard spacecraft control systems: textbook]. – М.: МАИ-ПРИНТ, 304 p.
2. Bruskov A.A. 2020. Analiz nadezhnosti razlichnyh sistem kosmicheskikh apparatov [Reliability analysis of various spacecraft systems]. Informacionno-tekhnologicheskij vestnik, 4: 34–46.

3. Bruskov A.A. 2020. Opredelenie obema kompleksnyh elektricheskikh ispytaniy nanospunikov [Determination of the scope of complex electrical tests of nanosatellites]. Sbornik statej po materialam uchastnikov X Ezhegodnoj nauchnoj konferencii aspirantov «MGOTU», 14 maya 2020 g., naukograd Korolev, M.: Izdatel'stvo «Nauchnyj konsultant», 554 p.
4. Bruskov, A.A. 2021. Statisticheskij analiz nadezhnosti kosmicheskikh apparatov v zavisimosti ot orbity [Statistical analysis of the reliability of spacecraft depending on the orbit]. Tezisy dokladov XXII Nauchno-tehnicheskoy konferencii i molodyh uchenyh i specialistov, posvyashchenoj 60-letiyu poleta YU.A. Gagarina, 75-letiyu raketno-kosmicheskoy otrasli i osnovaniya PAO «RKK «Energiya», 8–12 noyabrya 2021 g., naukograd Korolev, PAO «Raketno-kosmicheskaya korporaciya «Energiya» imeni S.P. Korolyova», 536–537 p.
5. Vdovin V. M., Surkova L. E., Valentinov V. A. 2016. Teoriya sistem i sistemnyj analiz [Theory of systems and system analysis]. M.: Dashkov i K, 640 p.
6. Vetoshkin A.G. 2020. Obespechenie nadezhnosti i bezopasnosti v tekhnosfere: uchebnoe posobie [Ensuring reliability and safety in the technosphere: a textbook], Izdatel'stvo «Lanapos;». 236 p.
7. Volkov L.I., SHishkevich A.M. 1975. Nadezhnost' letatel'nyh apparatov [Reliability of aircraft]. M.: Vysshaya shkola. 296 p.
8. Kornev G. N., YAKovlev V. B. 2016. Sistemnyj analiz [System analysis]. M.: IC RIOR, NIC IN-FRA-M, 308 s.
9. Krineckij E.I, Aleksandrovskaya L.N, Melnikov V.S., Maksimov N.A. 1980. Osnovy ispytaniy letatel'nyh apparatov: Uchebnik dlya vtuzov [Fundamentals of aircraft testing: Textbook for higher education institutions] M.: Mashinostroenie, 312 s.
10. Krineckij E.I., Aleksandrovskaya L.N. 1975. Letnie ispytaniya sistem upravleniya letatel'nymi apparatami [Summer tests of aircraft control systems]. M.: Mashinostroenie. 193 p.
11. Legostaev V.P., Mikrin E.A., Orlovskij I.V. i dr. 2009 Sozdanie i razvitie sistem upravleniya dvizheniem transportnyh kosmicheskikh korablej «Soyuz» i «Progress»: opyt ekspluatatsii, planiruemaya modernizaciya [Creation and development of motion control systems for Soyuz and Progress transport spacecraft: operational experience, planned modernization]. Trudy MFTI, 3: 4–13.
12. Sveshnikov A.A. 1968. Prikladnye metody teorii sluchajnyh funkcij [Applied methods of the theory of random functions] M.: Nauka. 464 s.
13. SHubin, R.A. 2012. Nadyozhnost'; tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyj risk [Reliability of technical systems and technogenic risk]. Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 80 p.
14. Kurant M, Thiran P. 2006. Layered Complex Networks. Phys Rev Lett 96(13).15–20.
15. Newman MEJ. 2010. Networks, an Introduction. New York, NY: Oxford University Press. 16–18.

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

Брусков Артем Алексеевич, аспирант кафедры информационных технологий и управляющих систем, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Artem A. Bruskov, Postgraduate student of the Department of Information Technologies and Control Systems, State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region "Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov", Korolev, Moscow region

УДК 004.75

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-784-793

Метод адаптивного управления развитием инфокоммуникационных инфраструктур

Абдалов А.В., Гришаков В.Г., Логинов И.В.

Академия ФСО России,

Россия, 302015, г. Орел, ул. Приборостроительная, д. 35

E-mail: senya@academ.msk.rsnet.ru, gvg@academ.msk.rsnet.ru, loginov_iv@bk.ru

Аннотация. В работе рассмотрена проблема потокового управления обслуживанием заявок на создание и модернизацию инфокоммуникационных сервисов в крупномасштабных инфокоммуникационных инфраструктурах. Для инфраструктур с интенсивностью заявок на модернизацию более 10 заявок в сутки и несколькими источниками ресурсов предложена схема адаптивного управления обслуживанием заявок на создание/модернизацию инфокоммуникационных сервисов. Разработанная схема адаптивного управления представляет собой двухконтурную схему управления, позволяющую более эффективно обслуживать заявки на создание/модернизацию инфокоммуникационных сервисов. Первый контур управления обеспечивает распределение ресурсов по заявкам и адаптацию механизмов управления очередью. Второй контур управления управляет источниками и потоками ресурсов. Произведена экспериментальная оценка с использованием разработанной схемы адаптивного управления, которая показала её эффективность при практическом применении. Отмечен прирост целевого эффекта в условиях нестационарного потока ресурсов по сравнению с альтернативной схемой без использования схемы адаптивного управления.

Ключевые слова: ИТ-сервисы, распределение ресурсов, адаптивное управление, ИТ-инфраструктура.

Для цитирования: Абдалов А.В., Гришаков В.Г., Логинов И.В. 2021. Метод адаптивного управления развитием инфокоммуникационных инфраструктур. DOI. Экономика. Информатика, 48 (4): 784–793. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-784-793.

The method of adaptive management of the development of information and communication infrastructures

Arsentii V. Abdalov, Vadim G. Grishakov, Ilya V. Loginov

Academy of the FSG of Russia,

35 Priborostroitelnaya str., Orel, 302015, Russia

E-mail: senya@academ.msk.rsnet.ru, gvg@academ.msk.rsnet.ru, loginov_iv@bk.ru

Abstract. The paper considers the problem of stream management of applications for the creation and modernization of infocommunication services in large-scale infocommunication infrastructures. For infrastructures with an intensity of requests for modernization of more than 10 requests per day and several sources of resources, a scheme for adaptive management of requests for the creation/modernization of information and communication services is proposed. The developed adaptive control scheme is a two-contour control scheme that allows more efficient servicing of applications for the creation/modernization of information and communication services. The first control loop ensures the distribution of resources according to requests and the adaptation of queue management mechanisms. The second control loop manages the sources and flows of resources. An experimental assessment was made using the developed adaptive control scheme, which showed its effectiveness in practical application. An increase in the target effect in the conditions of a non-stationary flow of resources is noted in comparison with the alternative scheme without the use of an adaptive control scheme.

Keywords: service discipline, non-stationary resource flow, infocommunication services, resources, efficiency assessment, application.

For citation: Abdalov A.V., Grishakov V. G., Loginov I. V. 2021. The method of adaptive management of the development of information and communication infrastructures. Economics. Information technologies, 48 (4): 784–793. (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-784-793.

Введение

Для современных корпораций характерно наличие крупномасштабных инфокоммуникационных (ИТ) инфраструктур. Изменение условий функционирования корпорации, конкурентная борьба, новые рынки, организационные изменения и вывод на рынок новых продуктов требуют постоянного создания новых автоматизирующих и информационных сервисов. Таким образом, в рамках развития ИТ-инфраструктуры организации непрерывно создаются и модернизируются ИТ-сервисы с использованием необходимых для них ресурсов. Управление развитием ИТ-инфраструктуры реализуется в рамках процессов проектирования и преобразования новых и изменяемых услуг (ГОСТ 20000-1-2013) или процесса управления каталогом услуг (ГОСТ 57193-2016). Сущность этих процессов определяется потребностью в автоматизации и информатизации деятельности корпорации, а также ограничениями по ресурсам на развитие ИТ-инфраструктуры. При стационарных потоках поступления ресурсов задача планирования развития решается известным математическим аппаратом.

Изменение же принципов и механизмов поступления ресурсов (это и прямые закупки, фонды, целевое и программное финансирование, спонсирование, поддержка государства, субсидирование) приводит к тому, что ресурсы для новых и модернизируемых ИТ-сервисов поступают в ИТ-подразделение из различных источников, отличающихся своими характеристиками по предоставлению ресурсов (время, интенсивность, задержка, вероятность). Существующие механизмы управления обслуживанием заявок в рамках процесса непрерывного улучшения ориентированы на прогнозируемый поток ресурсов и в условиях неопределенности нестационарных ситуаций приводят к резкому снижению показателей создания ИТ-сервисов, включая значительные сроки задержки в создании новых средств автоматизации, а также отказе от развертывания прорывных сервисов из-за проблем нехватки ресурсов. Для рассматриваемых условий, отличающихся как неопределенностью поступлений ресурсов, так и нестационарностью потока заявок на создание / модернизацию ИТ-сервисов известный аппарат теорий управления запасами, управления поставками не дает необходимого решения. Это обосновывает актуальность задачи разработки механизмов управления потоками ресурсов и обслуживанием заявок на модернизацию ИТ-инфраструктуры в условиях неопределенности характеристик потоков ресурсов.

Анализ известных подходов к управлению развитием ИТ-инфраструктур при множественных источниках ресурсов

В рамках решения задачи управления развитием ИТ-инфраструктуры организации [Бон, Кеммерлинг, Пондаман, 2003] управление распределением ресурсов для создания новых и модернизации существующих ИТ-сервисов опирается на инструментарий сложных комбинаторных задач управления. Практические рекомендации по распределению ресурсов для создания и модернизации ИТ-сервисов описаны в eTOM, ITIL. Приведенные в них модели характеризуются низкой формализацией процесса распределения ресурсов. Большая часть известных методов распределения ресурсов опирается на динамическое распределение ресурсов [Беллман, Дрейфус, 1965; Могилевский, 2005]. Другим подходом является метод распределения ресурсов на сетях – путем решения задач дискретной оптимизации, позволяющих минимизировать время распределения ресурса или упущенную выгоду в конкретной ситуации. Задачи распределения ресурсов существуют в законченном виде лишь для ограниченного ряда постановок [Бурков, Новиков, 2004; Воронин, Губко, Мишин, Новиков, 2005], основные же результаты в настоящее время лежат в плоскости прикладных

исследований, направленных на разработку эффективных вычислительных методов и специализированных инструментальных средств, в том числе в условиях неопределенности исходных данных – потоков заявок и ресурсов.

Рассмотрим основные подходы к распределению лимитированных ресурсов при создании ИТ-сервисов. В [Воронин, Губко, Мишин, Новиков, 2005] формулируется и решается типовая задача распределения ресурсов между проектами, входящими в портфель ИТ-проектов. В [Карымов, Славская, 2001] рассматриваются новые методические подходы к решению статической задачи оптимального распределения ресурсов. Задачу статического распределения ресурсов предлагается решать в постановке теории покрытий. Задача динамического распределения ресурсов в условиях конфликта ставится и решается как дифференциальная игра.

Вторая группа методов решения задачи распределения ресурсов базируется на учете ценности заявок на ИТ-сервисы с точки зрения приоритетов. Например, в [Воронин, Скатков, 2014] предложены новые алгоритмы решения задачи оптимального распределения ресурса, использующие множества Парето и двусторонние прогностические оценки оптимума, получаемые по методу ветвей и границ. В [Матвеев, 2005] представлены результаты по разработке оптимизационной математической модели распределения ресурсов и проведено численное моделирование. В [Грехов, Ивенин, Кудрявцев, 2008] описана математическая модель и метод динамического программирования распределения ограниченных ресурсов.

Третья группа методов непосредственно предлагает учитывать ценность нового ИТ-сервиса. В [Горбанева, 2010] описана и исследована задача распределения ресурсов в иерархических системах управления качеством речной воды путем нахождения равновесия по Штакельбергу. В [Прилуцкий, Власов, 2005] строится общая математическая модель распределения ресурсов и упорядочения работ в многостадийных системах. В рамках построенной модели формализуется широкий класс задач планирования и управления. Здесь также известны работы зарубежных ученых, которые предлагают также учитывать ценность ИТ-сервисов [Lane, 2009; Weber, Current, Benton, 1991; Wei, Chien, Wang, 2005; Wynne, Schaeffer, 2005; Ernstoff, Vincenzini, 1999].

Одновременное поступление потоков ресурсов и заявок на ИТ-сервисы обуславливает необходимость совместного управления распределением ресурсов с управления источниками (путем формирования оптимальных планов заявок на ресурсы). Решение такой задачи требует дополнения аппарата распределения ресурсов, описанного выше – механизмами управления источниками ресурсов и генерируемыми ими потоками ресурсов.

Проблема управления развитием инфокоммуникационных инфраструктур

В работе рассматривается проблема управления развитием инфокоммуникационных инфраструктур в условиях ограниченности ресурсов [Могилевский, 2005]. Для инфраструктур с интенсивностью заявок на модернизацию более 10 заявок в сутки и несколькими источниками ресурсов предложена схема адаптивного управления обслуживанием заявок на создание/модернизацию инфокоммуникационных сервисов. Формальная постановка задачи имеет следующий вид:

1) В ИТ-подразделение организации поступают заявки $K = \{K_1, K_2, \dots, K_i\}$ на создание информационных сервисов с интенсивностью λ^K в форме нестационарного потока.

2) Заявка представляет собой задачу по созданию или модернизации ИТ-сервиса в интересах автоматизации и описывается кортежем вида $K_i = \langle it_i, \tau_{\text{раб}} \rangle$, где it_i – создаваемый или модернизируемый ИТ-сервис, $\tau_{\text{раб}}$ – временной интервал в течение которого должен функционировать ИТ-сервис.

3) Создаваемый / модернизируемый ИТ-сервис it_i требует для своего создания определенного количества ресурсов различных видов и описывается кортежем

$it_i = \langle uid, Type, R_i, \tau_{\text{раб}} \rangle$, где $R_i(t) = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ вектор ИТ-ресурсов, r_{im} – количество ресурсов m -го вида, используемого в i -ом ИТ-сервисе, $Type$ – тип ИТ-сервиса, $\tau_{\text{раб}}$ – временной интервал в течение которого должен функционировать ИТ-сервис.

4) Ресурсы поступают из внешних источников $Q_i(t) = (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$. Характеристики источников ресурсов различны, потоки ресурсов – нестационарны.

5) ИТ-подразделение генерирует заявки на ресурсы к каждому источнику и распределяет доступные ресурсы между заявками на ИТ-сервисы.

6) Выбор заявки на ИТ-сервис для реализации осуществляется в соответствии с внутренними правилами и критериями организации. При этом учитывается важность, категория сервиса, источник заявки, время развёртывания, ресурсоемкость.

Схема адаптивного управления развитием инфокоммуникационных инфраструктур на основе совместного управления потоками ресурсов и обслуживанием заявок на создание/модернизацию ИТ-сервисов

Для решения проблемы управления развитием инфокоммуникационных инфраструктур предложена схема адаптивного совместного управления обслуживанием заявок на создание/модернизацию ИТ-сервисов в крупномасштабных ИТ-инфраструктурах и потоками ресурсов для них (рисунок 1). Предложенный вариант представляет собой адаптивную систему, состоящую из устройства управления распределением ресурсов $Z^{\text{main}}(t)$ и двух контуров обратной связи – управления очередями $Z^{\text{queue}}(t)$ и управления источниками ресурсов $Z^{\text{source}}(t)$. Стоимостная функция $E(t)$ максимизируется при выборе заявок для реализации (путем выделения ресурсов), учитывает важность ИТ-сервиса для автоматизации и задержку в создании ИТ-сервиса.

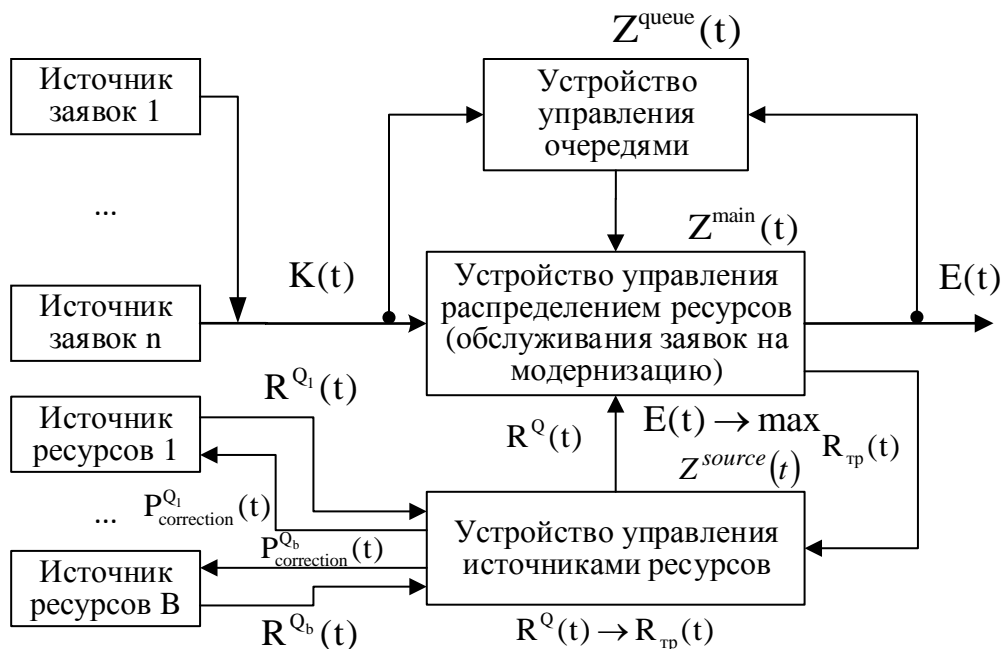


Рис. 1. Адаптивная система управления развитием ИТ-инфраструктуры
 Fig. 1. Adaptive Management System for IT-infrastructure development

В систему поступают заявки $K(t)$ на создание или модернизацию информационных сервисов. Поступившие заявки обрабатываются на устройстве управления распределением ресурсов $Z^{\text{main}}(t)$, которое обеспечивает распределение ресурсов по заявкам на ИТ-сервисы в соответствии с правилами обслуживания заявок $Z^{\text{queue}}(t)$ и устройстве управления очередями –



это является первым контуром управления. Задача устройства управления распределением ресурсов – наиболее оптимальным образом распределить ресурсы по ИТ-сервисам и получить наибольший эффект от их распределения $E(t)$. Цель адаптивного управления устройством управления распределением ресурсов заключается в максимизации функционала:

$$u^{\text{main}} = u^m \left\{ \text{ext}_{u \in U} J_1(\text{State}, t, g_{\text{service}}, g_{\text{cost}}, R^{\text{need}}, R^{\text{exist}}, E) \right\}, \quad (1)$$

где u^m – управляющие воздействия, State – состояние, в котором будет находиться система, t – время, на котором применяется управляющее воздействие, g_{service} – функция распределения ресурсов по ИТ-сервисам, g_{cost} – функция оценки эффекта от распределения ресурсов по ИТ-сервисам, R^{need} – требуемые ресурсы, R^{exist} – ресурсы в наличии, E – эффект, полученный на данном шаге.

Устройство управления очередями контролирует нахождение ИТ-сервисов в очереди и его задачей также является получение наибольшего эффекта $E(t)$ для организации. Цель адаптивного управления устройством управления очередями:

$$u^{\text{queue}} = u^q \left\{ \text{ext}_{u \in U} J_1(\text{State}, t, g_{\text{queue}}, E) \right\}, \quad (2)$$

где u^q – управляющие воздействия, State – состояние, в котором будет находиться система, t – время, на котором применяется управляющее воздействие, g_{queue} – функция входных воздействий на очередь ИТ-сервисов, E – эффект, полученный на данном шаге.

Управление источниками и потоками ресурсов осуществляется в устройстве управления источниками ресурсов – это второй контур адаптивного управления. Задачей данного устройства является приближение количества поступающих ресурсов к требуемым: $R^{\text{exist}}(t) \rightarrow R^{\text{need}}(t)$. Данная проблема решается созданием плана корректировки для всех источников, существующих в организации. Цель адаптивного управления устройством управления ресурсами:

$$u^{\text{source}} = u^s \left\{ \text{ext}_{u \in U} J_1(\text{State}, t, g_{\text{source}}, R^{\text{need}}, R^{\text{exist}}, P_{\text{correction}}^Q) \right\}, \quad (3)$$

где u^s – управляющие воздействия, State – состояние, в котором будет находиться система, t – время, на котором применяется управляющее воздействие, g_{source} – функция входных воздействий на источники поступления ресурсов, R^{need} – требуемые ресурсы, R^{exist} – ресурсы в наличии, $P_{\text{correction}}^Q$ – план коррекции источников поступления ресурсов. Критерий оптимизации на данном шаге $R^{\text{exist}} / R^{\text{need}} \rightarrow 1$.

Рассмотрим работу предложенной адаптивной системы при обслуживании потока заявок на ИТ-сервисы. Система состоит из заявок на ИТ-сервисы $K = \{K_1, K_2, \dots, K_i\}$ и ресурсов, имеющих в наличии $R^{\text{exist}}(t) = \{R_0^{\text{exist}}(t), R_1^{\text{exist}}(t), \dots, R_m^{\text{exist}}(t)\}$. Для выполнения всех заявок $K(t)$ необходимы ресурсы $R^{\text{need}}(t) = \{R_0^{\text{need}}(t), R_1^{\text{need}}(t), \dots, R_m^{\text{need}}(t)\}$. Количество ресурсов $R^{\text{exist}}(t) < R^{\text{need}}(t)$. У каждой заявки может быть 3 состояния – выполнена, отброшена, находится в очереди и обозначается через S_j . Состояние системы на каждом шаге i описывается следующим выражением:

$$\text{State}_i(t) = \left\{ \sum_{j=1}^N S_j(t), R^{\text{exist}}(t) \right\}. \quad (4)$$

Состояние, при котором выполняются все заявки, обозначим следующим выражением:

$$\text{State}_{\text{max}}(t) = \left\{ \sum_{j=1}^N S_j(t), R^{\text{need}}(t) \right\}. \quad (5)$$

В состояние $State_{\max}(t)$ для организации получается максимальный эффект от выполнения заявок $E_{\max}(t)$. Соответственно эффект для i -го состояния обозначим через $E_i(t)$. Из-за того, что $R^{\text{exist}}(t) < R^{\text{need}}(t)$, то, следовательно, и $E_i(t) < E_{\max}(t)$. Соответственно первый контур управления позволяет управлять очередью заявок на ИТ-сервисы, в соответствии с потоком заявок и количеством поступающих ресурсов корректирует размер очереди, второй же контур управления помогает получить необходимое количество ресурсов в соответствии с текущим потоком заявок и потоком ресурсов от источников.

Исходя из выражений (1-5) цель адаптивного управления для всей системы в целом:

$$u^{\text{common}} = u^c \{ \text{ext } J_1(\text{State}, R^{\text{exist}}, R^{\text{need}}, t, g, E) \}, \quad (6)$$

где u^c – управляющие воздействия, $State$ – состояние, в котором будет находиться система, R^{exist} – множество имеющихся ресурсов, R^{need} – множество необходимых ресурсов, t – время, на котором применяется управляющее воздействие, g – функция входных воздействий на систему с точки зрения распределения ресурсов, E – эффект, полученный на данном шаге.

На основе разработанной схемы адаптивного управления выполнением заявок на ИТ-сервисы были реализованы алгоритмы, реализующие её функционал. Разработана программа, реализующая представленный механизм адаптивного управления и получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [Прилуцкий, Власов, 2005].

Данная схема будет позволять в условиях неопределенности поступления потоков ресурсов от источников управлять ими с учетом изменения характеристик потока заявок на ИТ-сервисы и обрабатывать поток поступающих заявок на ИТ-сервисы с учетом максимизации целевой функции, учитывающей совокупные эффекты автоматизации.

Экспериментальная оценка эффекта адаптивного управления потоками ресурсов и обслуживанием заявок и обсуждение результата

Для оценки эффекта предложенного варианта системы адаптивного управления были проведены экспериментальные исследования на базе разработанного стенда. В качестве входных данных для экспериментов были смоделированы нестационарные потоки поступающих ресурсов N^R , поступающих от 2 источников (рисунок 2, а), и потоки заявок на ИТ-сервисы N^{IT} (рисунок 2, б). В ходе эксперимента смоделирован год работы ИТ-подразделения крупной организации. Типовой ситуацией при развитии ИТ-инфраструктур является вывод, что ресурсов, поступающих в организацию из внешних источников, будет недостаточно для выполнения всех входящих запросов. Смоделирована перегруженная ситуация, при которой отношение K требуемых ресурсов к доступным – варьировало в диапазоне 1,5–2,5 (рисунок 3).

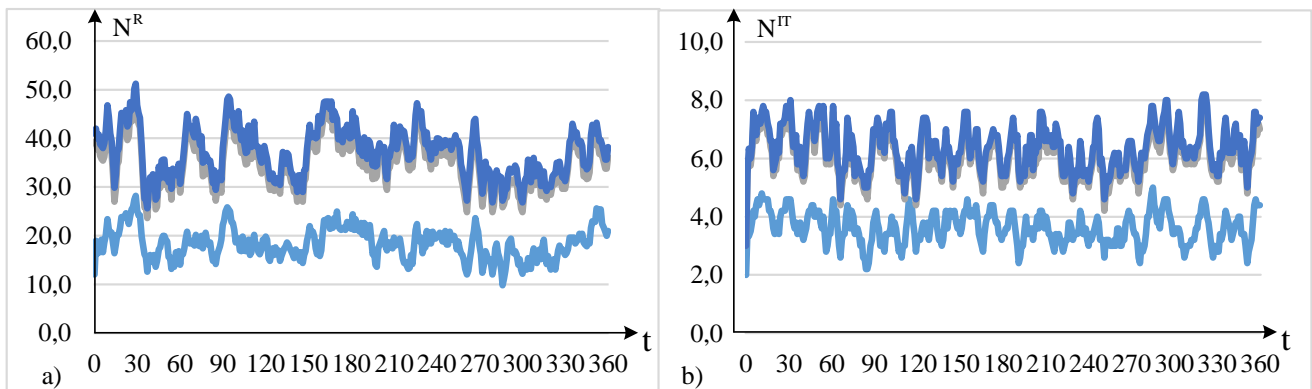


Рис. 2. Поток ресурсов и поток запросов на ИТ-услуги: а – нестационарный поток ресурсов (суммарный поток); б – стационарный поток запросов на ИТ-услуги (суммарный поток)
Fig. 2. The flow of resources and the flow of requests for IT services: a – non-stationary flow of resources (total flow); b – stationary flow of requests for IT services (total flow)

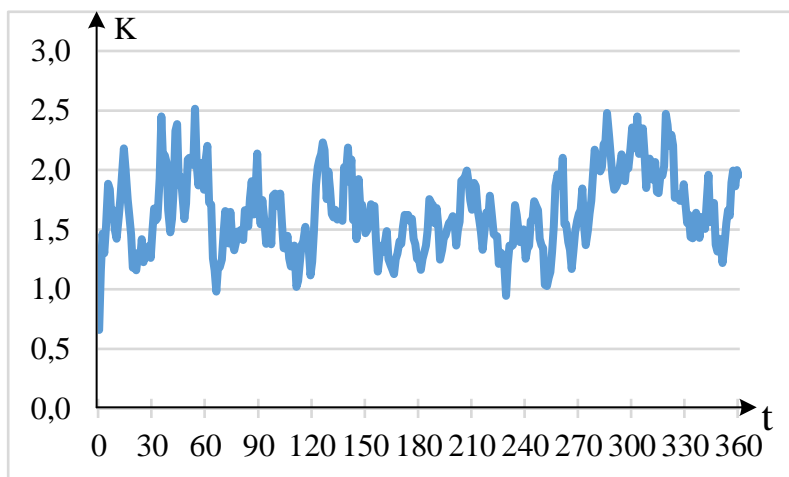


Рис. 3. Соотношение требуемых ресурсов к ресурсам, которые есть в наличии
 Fig. 3. The ratio of the required resources to the resources that are available

Сравнительный анализ нового подхода NEW проведен по сравнению с дисциплиной обслуживания PRIORL. На рисунке 4а показан средний эффект C алгоритмов выполнения заявок работы без реализации системы адаптивного управления (PRIORL) и с системой адаптивного управления (NEW). Как видно из рисунка 4а, NEW показывает лучший средний эффект C , чем PRIORL. На рисунке 4б показано отношение среднего эффекта NEW к PRIORL и выражено через коэффициент η . В среднем значение коэффициента η составило 2,156 раза по сравнению с альтернативной схемой без управления источниками ресурсов.

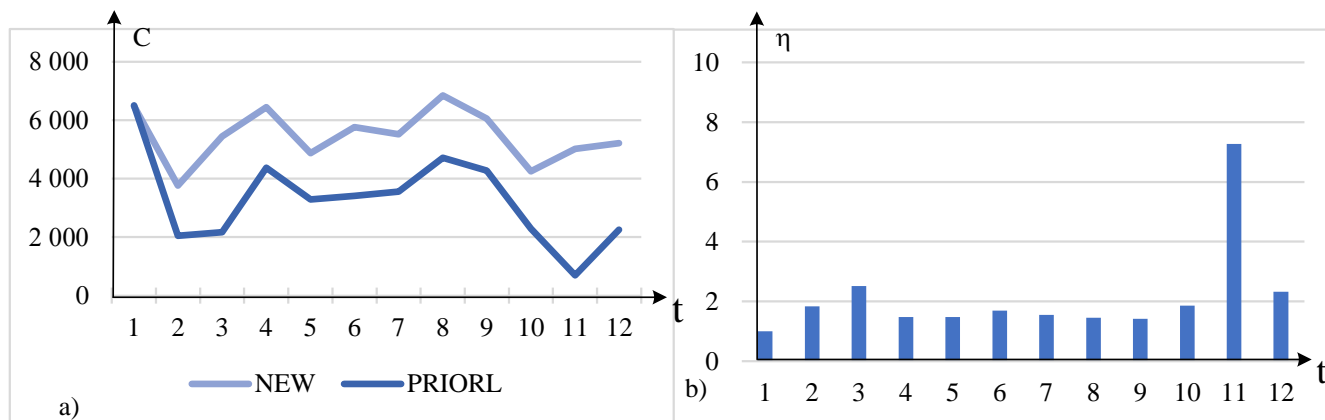


Рис. 4. Средний эффект: а – средний суммарный эффект (на основе функции затрат);
 б – коэффициент среднего эффекта

Fig. 4. Average effect: a – average total effect (based on the cost function); b – the coefficient of the average effect

На рисунке 5а для NEW показана зависимость прироста общего эффекта относительно максимального коэффициента η для требуемых ресурсов от доступных. На рисунке 5б для NEW показана зависимость общего эффекта C относительно максимального коэффициента η для требуемых ресурсов от доступных.

Проведя эксперименты, можно утверждать, что разработанная система адаптивного управления превосходит другие системы. Основной эффект был оценен в рамках алгоритма <PRIORL>. Как видно из рисунка 4б, алгоритм <NEW> превосходит алгоритм <PRIORL> с точки зрения совокупного эффекта (суммарной величины стоимостной функции).

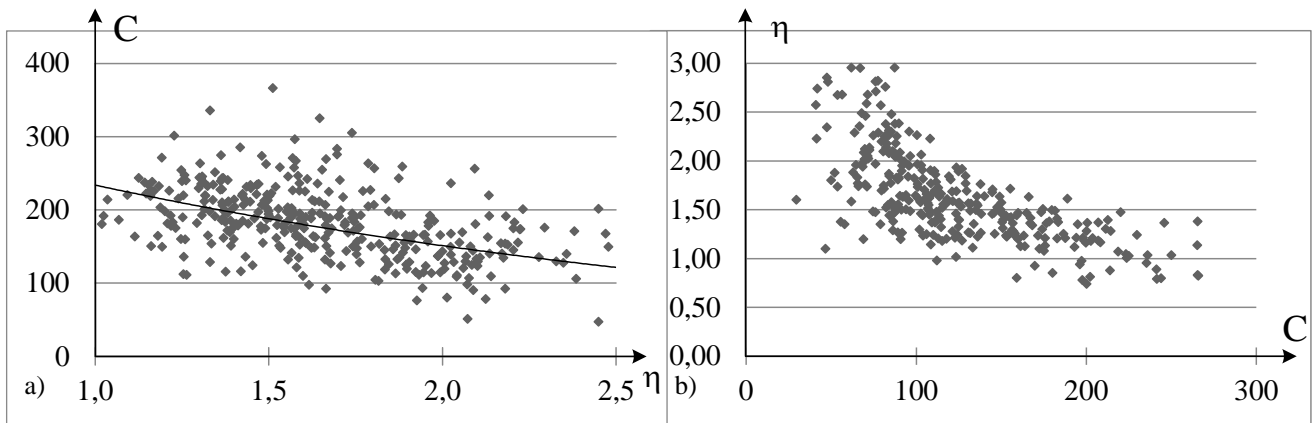


Рис. 5. Общий эффект: а – общий эффект NEW в зависимости от соотношения ресурсов;
б – общий коэффициент эффекта в зависимости от предыдущего эффекта
Fig. 5. The overall effect: a – the overall effect of NEW depending on the ratio of resources;
b – the overall effect coefficient depending on the previous effect

Заключение

В работе предложен вариант адаптивной схемы совместного управления обслуживанием заявок на создание ИТ-сервисов и потоками ресурсов в форме системы с двумя контурами обратной связи. В основном устройстве осуществляется выбор заявок на ИТ-сервисы для их реализации путем максимизации целевой функции. В первом контуре адаптируются правила управления очередью заявок на основе соотношения объемов имеющихся и необходимых ресурсов. Во втором контуре управления формируются заявки на предоставление ресурсов адаптивно к потоку требуемых ресурсов. Сравнительный анализ показал прирост эффекта по сравнению с дисциплиной обслуживания PRIORL без управления ресурсами до 2 раз. Вариант применения данной схемы адаптивного управления был реализован в форме патента [Абдалов, Гришаков, Логинов, 2020] и зарегистрирован, также была зарегистрирована программа для ЭВМ [Абдалов, Гришаков, Логинов, 2019]. Применение описанной системы позволяет повысить эффективность выполнения заявок на создание и модернизацию ИТ-сервисов.

Список литературы

1. Абдалов А.В., Гришаков В.Г., Логинов И.В. 2020. Патент на изобретение №2729228 Российская Федерация. Способ управления распределением ресурсов в распределенных информационно-вычислительных средах. Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации». №2019143703 М.: Роспатент.
2. Абдалов А.В., Гришаков В.Г., Логинов И.В. 2019. Программа по расчету оптимальных планов распределения информационно-телекоммуникационных ресурсов организации, динамически поступающих из нескольких источников, между проектами реализации ИТ-сервисов. RU 2019614801.
3. Беллман Р., Дрейфус С. 1965. Прикладные задачи динамического программирования. М.: Наука, 458 с.
4. Бон Я., Кеммерлинг Г., Пондаман Д. 2003. ИТ Сервис-менеджмент, введение. Под ред. М.Ю. Потоцкого (русская версия). М: IT Expert, 215 с.
5. Бурков В.Н., Новиков Д.А. 2004. Как управлять организациями. М.: Синтег, 400 с.
6. Воронин А.А., Губко М.В., Мишин С.П., Новиков Д.А. 2008. Математические модели организаций: Учебное пособие. М.: ЛЕНАНД, 360 с.
7. Воронин Д.Ю., Скاتков И.А., Кобылянская М.С. 2014. Модели распределения ресурсов в сервис-ориентированных системах и инфраструктурах. Вестник СевНТУ. 154: 45–48.
8. Горбанева О.И. 2010. Игровые модели распределения ресурсов в иерархических системах управления качеством речной воды. Математическая теория игр и ее приложения. 2(1): 27–46.



9. Грехов В.А., Ивенин И.Б., Кудрявцев Н.С. 2008. Статическое и динамическое распределение ресурсов. Вестник МГТУ гражданской авиации. 132: 73–80.
10. Карымов В.Р., Славская М.В. 2001. Многомерная линейная модель распределения ресурсов. Математическое образование на Алтае: Труды региональной научно-методической конференции. Барнаул: Изд-во АлГТУ. 33–36.
11. Матвеев А.А. 2005. Модели и методы распределения ресурса при управлении портфелями проектов. Управление большими системами: сборник трудов. 10: 98–106.
12. Могилевский В.Д. 2005. Формализация динамических систем. М., 215 с.
13. Прилуцкий М.Х., Власов С.Е. 2005. Многостадийные задачи теории расписаний с альтернативными вариантами выполнения работ. Системы управления и информационные технологии. 2: 44–48.
14. Lane J.A. 2009. Cost Model Extensions to Support Systems Engineering Cost Estimation for Complex Systems and Systems of Systems. 7th Annual Conf. on Systems Engineering Research, Loughborough University. DOI= <http://cser.lboro.ac.uk/papers/S02-14.pdf>. (дата обращения 15.10.2012).
15. Weber Ch.A., Current J.R., Benton W.C. 1991. Vendor Selection Criteria and Methods. European Journal of Operational Research. 50(1): 2–18.
16. Wei C-C., Chien C-F., Wang M-J. J. 2005. An AHP-based approach to ERP system selection. Int. J. Production Economics. 96: 47–62.
17. Wynne M.W., Schaeffer M.D. 2005. Revitalization of Systems Engineering in DoD. Defense AT&L. 14–17.
18. Ernstoff, M. and Vincenzini, I. 1999. Guide to Products of System Engineering. International Council on Systems Engineering, Las Vegas.

References

1. Abdalov A.V., Grishakov V.G., Loginov I.V. 2020. Patent for invention No. 2729228 Russian Federation. A method for managing the distribution of resources in distributed information and computing environments. applicant and patent holder Federal State State Educational Institution of Higher Professional Education "Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation". No. 2019143703. М.: Rospatent,
2. Abdalov A.V., Grishakov V.G., Loginov I.V. 2019. Program for calculating optimal plans for the distribution of information and telecommunications resources of the organization, dynamically coming from several sources, between projects for the implementation of IT services. RU 2019614801.
3. Bellman R., Dreyfus S. 1965. Applied problems of dynamic programming. Moscow: Nauka, 458 p.
4. Bon Ya., Kemmerling G., Pondaman D. 2003; IT Service Management, introduction. Edited by M.Y. Potocki (Russian version). Moscow: IT Expert, 215 p.
5. Burkov V.N., Novikov D.A. 2004. How to manage organizations. Moscow: Sinteg, 400 p.
6. Voronin A.A., Gubko M.V., Mishin S.P., Novikov D.A. 2008. Mathematical models of organizations. Moscow, 360 p.
7. Voronin D.Yu., Skatkov I.A., Kobylanskaya M.S. 2014. Models of resource allocation in service-oriented systems and infrastructures. Vestnik SevNTU. 154: 45–48.
8. Gorbaneva O.I. 2010. Game models of resource allocation in hierarchical systems of river water quality management. Mathematical game theory and its applications. 2(1): 27–46.
9. Grekhov V.A., Ivenin I.B., Kudryavtsev N.S. 2008. Static and dynamic distribution of resources. Vestnik MSTU civil Aviation. 132: 73–80.
10. Karymov V.R., Slavskaya M.V. 2001. Multidimensional linear model of resource allocation. Mathematical education in the Altai: Proceedings of the regional scientific and methodological conference. Barnaul: AISTU Publishing House: 33–36.
11. Matveev A.A. 2005. Models and methods of resource allocation in project portfolio management. Management of large systems: a collection of works. 10: 98–106.
12. Mogilevsky V.D. 2005. Formalization of dynamic systems. Moscow, 215 p.
13. Prilutsky M.Kh., Vlasov S.E. 2005. Multi-stage tasks of the theory of schedules with alternative options for performing work. Management systems and information technologies. 2: 44–48.
14. Lane J.A. 2009. Cost Model Extensions to Support Systems Engineering Cost Estimation for Complex Systems and Systems of Systems. 7th Annual Conf. on Systems Engineering Research, Loughborough University. DOI= <http://cser.lboro.ac.uk/papers/S02-14.pdf>. (data access: 15.10.2012).

15. Weber Ch.A., Current J.R., Benton W.C. 1991. Vendor Selection Criteria and Methods. *European Journal of Operational Research*. 50(1): 2–18.
16. Wei C-C., Chien C-F., Wang M-J. J. 2005. An AHP-based approach to ERP system selection. *Int. J. Production Economics*. 96: 47–62.
17. Wynne M.W., Schaeffer M.D. 2005. Revitalization of Systems Engineering in DoD. *Defense AT&L*. 14–17.
18. Ernstoff, M. and Vincenzini, I. 1999. *Guide to Products of System Engineering*. International Council on Systems Engineering, Las Vegas.

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

Абдалов Арсентий Владимирович, аспирант,
Академия ФСО России, г. Орел, Россия

Arsentii V. Abdalov, Post-Graduate Student, The
Academy of Federal Guard Service of the Russian
Federation, Orel, Russia

Гришаков Видим Геннадьевич, кандидат
технических наук, сотрудник, Академия ФСО
России, г. Орел, Россия

Vadim G. Grishakov, Candidate of Technical
Sciences, Researcher, The Academy of Federal
Guard Service of the Russian Federation, Orel,
Russia

Логинов Илья Валентинович, кандидат
технических наук, научный сотрудник, Академия
ФСО России, г. Орел, Россия

Ilya V. Loginov, Candidate of Technical Sciences,
Researcher, The Academy of Federal Guard Service
of the Russian Federation, Orel, Russia

УДК 0004.032.26

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-794-801

О применении нейросетевых моделей при планировании производства ЛКМ

¹⁾ Скрипина И.И., ²⁾ Зайцева Т.В., ²⁾ Путивцева Н.П., ²⁾ Скрипин А.А.

¹⁾ Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина
ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский р-н, Белгородская обл., 308503, Россия

²⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: skripina@bsu.edu.ru, zaitseva@bsu.edu.ru, putivzeva@bsu.edu.ru, 1589436@bsu.edu.ru

Аннотация. Основываясь на проведенных ранее исследованиях, были использованы данные, полученные в процессе сбора и анализа статистических данных. Определены внешние и внутренние факторы, влияющие на систему. Рассмотрены методы прогнозирования, оптимально подходящие для решения задач, стоящих перед предприятием лакокрасочной отрасли. С помощью метода анализа иерархий был проведен анализ альтернативных методов прогнозирования. На основании выводов, полученных в результате анализа, были выбраны нейросетевые модели. В статье рассмотрены результаты проведенной серии экспериментов по прогнозированию выпуска продукта НЦ-132 (Выбор мастера) с помощью нейросетевых моделей. По результатам экспериментов предложена схема выбора нейросетевой модели и алгоритм ее предварительного обучения. Приведены результаты проведенных экспериментов, на основании которых в дальнейшем планируется описание функционала модуля прогнозирования, разработки технического задания и внедрения разработанной системы.

Ключевые слова: лакокрасочные материалы (ЛКМ), нейронная сеть, прогноз, сценарий.

Для цитирования: Скрипина И.И., Зайцева Т.В., Путивцева Н.П., Скрипин А.А. 2021. О применении нейросетевых моделей при планировании производства ЛКМ. Экономика. Информатика, 48(4): 794–801. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-794-801.

On the application of neural network models in the planning of paint production

¹⁾ Irina I. Skripina, ²⁾ Tatyana V. Zaitseva, ²⁾ Natalya P. Putivtseva, ²⁾ Alexander A. Skripin

¹⁾ Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin,
1 Vavilov St, Maysky village, Belgorod district, Belgorod region, 308503, Russia

²⁾ Belgorod National Research University
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

e-mail: skripina@bsu.edu.ru, zaitseva@bsu.edu.ru, putivzeva@bsu.edu.ru, 1589436@bsu.edu.ru

Annotation. Based on previous studies, the data obtained in the process of collecting and analyzing statistical data were used. External and internal factors affecting the system are determined. Forecasting methods that are optimally suitable for solving the problems facing the paint and varnish industry enterprise are considered. Using the hierarchy analysis method, an analysis of alternative forecasting methods was carried out. Based on the conclusions obtained from the analysis, neural network models were selected. The article discusses the results of a series of experiments conducted to predict the release of the NC-132 product (Master's Choice) using neural network models. Based on the results of the experiments, a scheme for choosing a neural network model and an algorithm for its preliminary training are proposed. The results of the conducted experiments are presented, on the basis of which it is planned to describe the functionality of the forecasting module, the development of the terms of reference and the implementation of the developed system in the future.

Keywords: paint and varnish materials paint and varnish materials, neural network, forecast, scenario.

For citation: Skripina I.I., Zaitseva T.V., Putivtseva N.P., Skripin A.A. 2021. On the application of neural network models in the planning of paint production. Economics. Information technologies, 48(4): 794–801 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-794-801.

При разработке плана производства маркетинговый отдел обычно учитывает ретроспективную информацию о производстве за предыдущие временные периоды, ситуацию на рынке продукции, включая ассортимент продукции конкурентов и их действия, особенности региона, в котором предприятие локализовано, и на основе этой информации выполняет прогнозирование требуемого объема производства продукции по видам [Сорокина, 2016]. Указанные и другие факторы, выступающие в качестве внешних и внутренних факторов рассматриваемой организации как системы, оказывают непосредственное влияние на производство продукции.

Существует ряд подходов, позволяющих построить прогноз. Но не все из этих методов могут быть использованы для анализа данных с учетом их особенностей. Так, например, при построении регрессионных моделей или моделей временных рядов для получения достоверного прогноза необходимо большое число наблюдений (количества продукции по годам) [Бабич, и др. 2018], а информацией за большой временной период организация не обладает, адаптивные модели временных рядов предназначены в основном для краткосрочного прогнозирования, не все модели позволяют учесть нелинейный характер зависимости между переменными и т. д.

В связи с этим в работе [Скрипина, и др. 2021] был проведен сравнительный многокритериальный анализ методов прогнозирования с использованием метода анализа иерархий. В качестве альтернативных методов прогнозирования были выбраны: регрессионные модели; авторегрессионные модели; модель группового учета элементов; адаптивные модели временных рядов; нейросетевые модели; модели прогнозирования на основе цепей Маркова; модели на базе классификационно-регрессионных деревьев CART [Усков, и др., 2017].

Проведенный многокритериальный анализ показал, что наиболее предпочтительным методом прогнозирования являются нейросетевые модели, которые показали наилучшие варианты по самым важным для проводимого выбора критериям (универсальность, возможность масштабирования, количество исходных данных).

Поэтому было принято решение использовать нейронные сети для прогнозирования плана выпуска продукции. На рисунке 1 представлена схема для выбора нейросетевой модели, отвечающей требованиям, предъявляемым руководством предприятия в части прогнозирования прибыли.

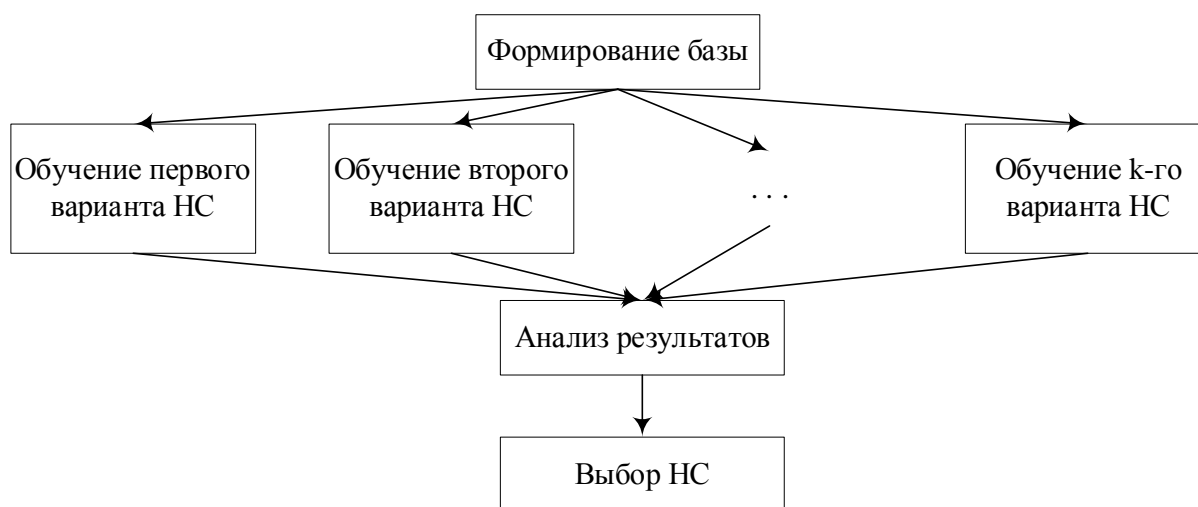


Рис. 1. Схема выбора нейросетевой модели
Fig. 1. Neural network model selection scheme

Сначала происходит формирование базы для каждого вида продукции, была отобрана следующая информация [Созуракова, 2019]:

- данные о продажах предприятия по месяцам;
- данные о продажах (наилучшие значения) из Курской (или любой другой близлежащей) области;
- данные о продажах (наилучшие значения) из Воронежской (или любой другой близлежащей) области;
- данные о продажах (наилучшие значения) по России;
- дополнительная информация, соответствующая 10 выбранным критериям, которые оказывают влияние на продажи данного продукта.

Порядок предварительного обучения каждого из вариантов нейронной сети представлен на рисунке 2.

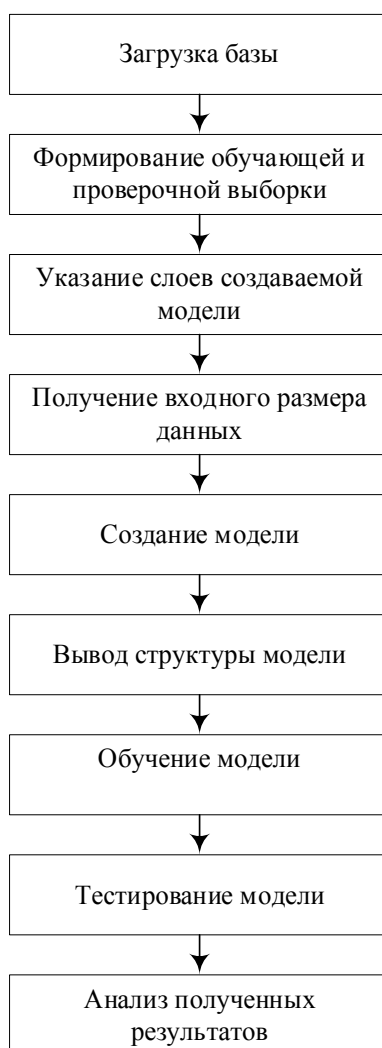


Рис. 2. Предварительное обучение i -го варианта нейронной сети
Fig. 2. Preliminary training of the i -th variant of the neural network

Далее проводится анализ результатов, полученных с помощью рассмотренных вариантов нейронных сетей, и делается заключение [Хайкин, 2019]. Для каждого вида продукции подбирается отдельная нейронная сеть, дающая некий прогноз. Затем все они сводятся в единую сеть и прогнозируют прибыль. Если прибыль не устраивает, то необходимо вносить изменения в ту ветвь общей нейронной сети, которая либо наиболее значима, либо учитывает те целевые показатели, которые менять нельзя (планы, договоры).

Рассмотрим процесс подбора нейронной сети для одного из продуктов предприятия – НЦ-132 (Выбор мастера).

На рисунке 3 представлена модель нейронной сети.

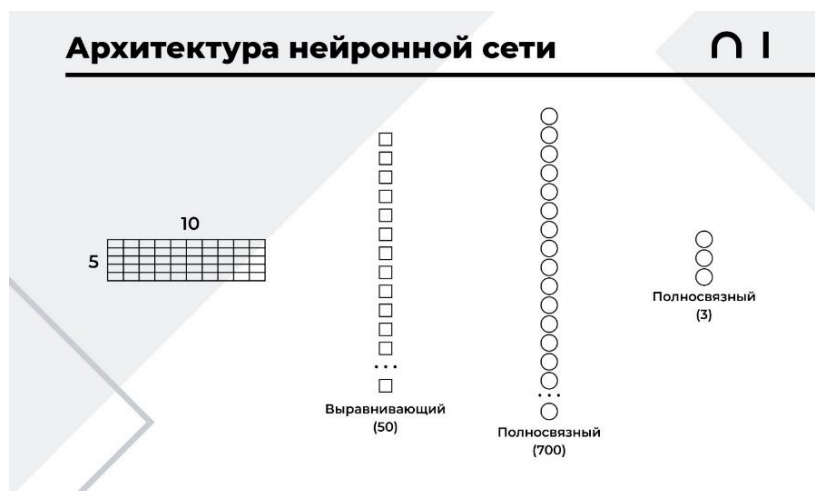


Рис. 3. Модель нейронной сети
Fig. 3. Neural network model

На вход нейронной сети подаются блоки информации в виде матриц размером 5×10 :

- первая строка – 10 элементов предыдущих записей данного предприятия;
- вторая и третья строка – по 10 элементов лучших предыдущих значений из ближайших областей (Курская и Воронежская области);
- четвёртая строка – 10 элементов лучших по России;
- пятая строка 10 элементов, соответствующих 10 критериям, которые оказывают влияние на продажи данного продукта.

Далее все подготовленные данные разделяются на обучающую – 80 % и тестовую части – 20%.

В первом варианте нейронной сети была выбрана следующая последовательность слоев создаваемой модели: Выравнивающий; Полносвязный-700; Полносвязный-3.

Матрица 5×10 переводится с помощью выравнивающего слоя в запись 50×1 (столбец). Следующий слой – это полносвязный слой, размером 700×1 . Выходной слой – это столбец 3×1 , в котором первое значение – пессимистический вариант, второй – реалистический вариант, третий – оптимистический вариант прогноза.

Далее проводится обучение модели. В рассматриваемом исследовании было выбрано 20 эпох. На каждую эпоху затрачивалось от 0,47 с (максимальное время) до 0,09 с (минимальное время) машинного времени. На рисунке 4 представлены графики точности обучения для выбранного количества эпох (график точности на обучающей и на проверочной выборке).

Далее проводится тестирование модели, результаты представлены на рисунках 5–6. Как видно из рисунка 5, точность предсказаний составила 80,68 %.

На рисунке 6 представлены примеры предсказаний по выбранному продукту НЦ-132 (Выбор мастера), полученные при использовании первого варианта модели нейронной сети.

Далее была проведена серия экспериментов, в которых изменялись количество слоев нейронной сети и/или число нейронов по слоям, а также число эпох обучения (представлены результаты экспериментов, в которых были получены наибольшие значения точности предсказаний).

Эксперимент 3. Слои создаваемой модели: Выравнивающий; Полносвязный-2000; Полносвязный-3. Точность предсказаний составила 79,13 %.

Эксперимент 8. Слои создаваемой модели: Выравнивающий; Полносвязный-2000; Полносвязный-500; Полносвязный-3. Точность предсказаний составила 77,60 %.

Эксперимент 15. Слои создаваемой модели: Выравнивающий; Полносвязный-2000; Полносвязный-1500; Полносвязный-1000; Полносвязный-500; Полносвязный-250; Полносвязный-3. Точность предсказаний составила 79,94 %.

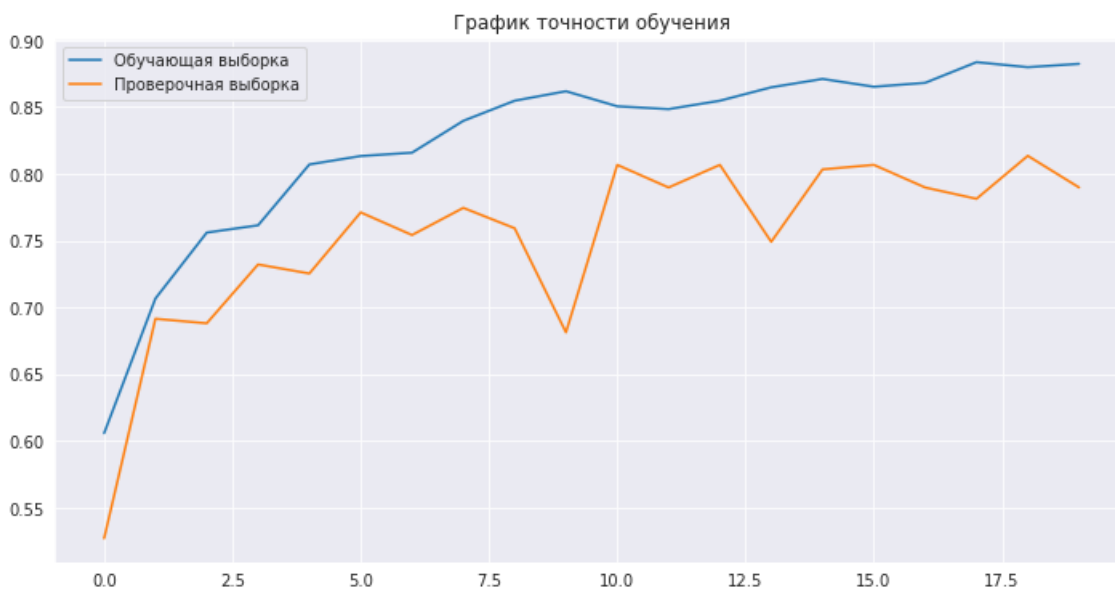


Рис. 4. Графики точности обучения
Fig. 4. Graphs of learning accuracy



Рис. 5. Характеристика полученной модели
Fig. 5. Characteristics of the resulting model

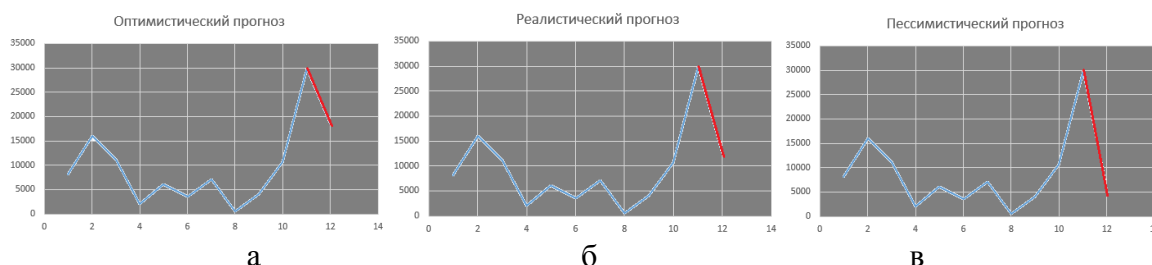


Рис. 6. Прогнозы по производству товара НЦ-132 (Выбор мастера):
а – оптимистический; б – реалистический; в – пессимистический
Fig. 6. Forecasts for the production of NC-132 goods (Master's choice):
a – optimistic; b – realistic; c – pessimistic

Также проводились эксперименты с использованием других моделей нейронных сетей. Наилучший результат был с использованием следующих слоев (рис. 7): Сверточный1D-16-5; Сверточный1D-32-5; Выравнивающий; Полносвязный-512; Полносвязный-3. Для данного варианта точность предсказаний составила 80,19 %.

Архитектура нейронной сети

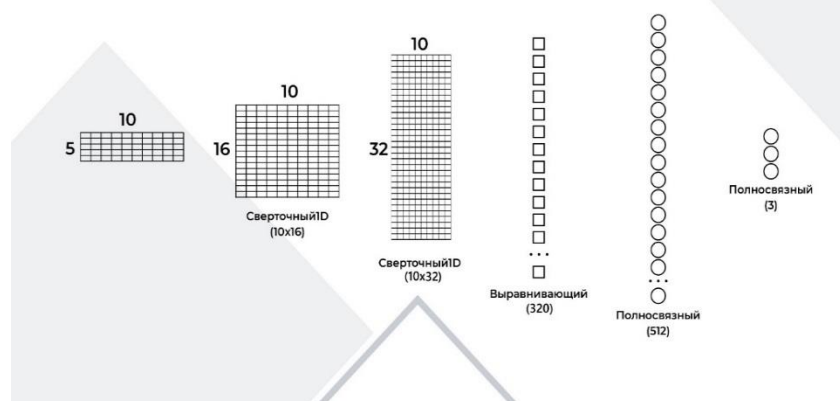


Рис. 7. Модель двадцать третьего варианта нейронной сети
 Fig. 7. Model of the twenty-third variant of the neural network

На рисунке 8 представлены примеры предсказаний по выбранному продукту НЦ-132 (Выбор мастера), полученные при использовании двадцать третьего варианта модели нейронной сети.

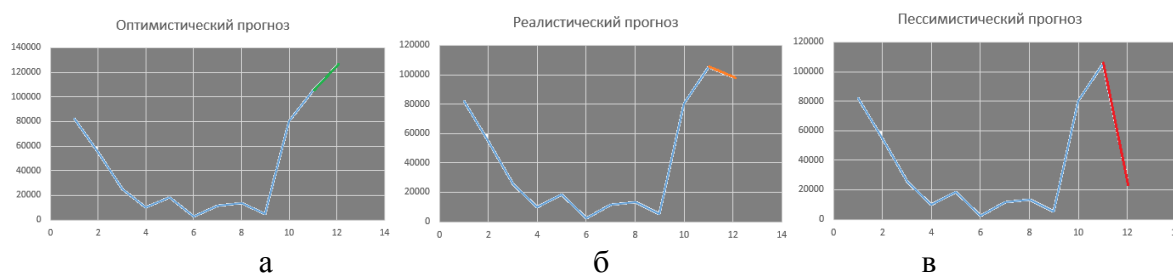


Рис. 8. Прогнозы по производству товара НЦ-132 (Выбор мастера):
 а – оптимистический; б – реалистический; в – пессимистический
 Fig. 8. Forecasts for the production of NC-132 goods (Master's choice):
 a – optimistic; b – realistic; c – pessimistic

Проведенные исследования показали, что наилучшим из рассмотренных вариантов является первый, однако результаты тестирования в недостаточной степени отвечают требованиям, предъявляемым руководством предприятия в части прогнозирования прибыли. Поэтому в дальнейшем будет проведена доработка выбранной модели нейронной сети.

В настоящее время была проведена апробация на готовых библиотеках, которая показала удовлетворительные результаты, предварительно составлено описание функционала для дальнейшего составления технического задания и принято решение разработки модуля прогнозирования для последующего внедрения на предприятии.

Список литературы

1. Абдикеев Н.М. 2017. Долгосрочное прогнозирование макроэкономических показателей. Фундаментальные исследования, 8–1: 110–114.
2. Бабич Т.Н., Кузьбожев Э.Н., Козьева И.А. 2018. Прогнозирование и планирование в условиях рынка: Учебное пособие. М.: Инфра-М, 288 с.
3. Васильев М.Г. 2006. Состояние химического комплекса и основные направления стратегии его развития. Нефтепереработка и нефтехимия. 1: 17–21.
4. Галушкин А.И. 2015. Нейронные сети: основы теории. М.: РиС, 496 с.

5. Костюхина Г.В., Тахавова Э.Г. 2014. Разработка модели нейронной сети. В кн.: Современные инновации в науке и технике: сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции. Курск, 17 апреля. Закрытое акционерное общество «Университетская книга»: 283–285.
6. Россия в цифрах, краткий статистический сборник. 2020. Росстат Москва: 600 с.
7. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. 2013. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: РиС, 384 с.
8. Скрипина И.И., Зайцева Т.В., Путивцева Н.П. 2021. Анализ и выбор математической модели с помощью метода анализа иерархий. Научный результат. Информационные технологии, 6–2: 41–46.
9. Созуракова С.Д., Маяк А.Н., 2019. Состояние рынка и производства лакокрасочных материалов. Отчет о НИР, ОАО «НИИТЭХИМ». М, 142 с.
10. Сорокина А.В. 2016. Становление и развитие стратегического планирования и прогнозирования в РФ. Транспортное дело России, 5: 29–31.
11. Старинский В.Н. 2017. Технологические аспекты прогнозирования рыночных ситуаций. Экономика. Бизнес. Право, 1–3 (21): 4–14.
12. Стратегия развития химической и нефтехимической промышленности на период до 2021 г. 2014. Отчет о НИР, ОАО «НИИТЭХИМ», М, 103 с.
13. Усков А.А., Кузьмин А.В. 2017. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика. М.: Горячая линия –Телеком, 143 с.
14. Хайкин С. 2019. Нейронные сети: полный курс. М.: Диалектика, 1104 с.
15. Шаникова И.В. 2015. Современные проблемы прогнозирования экономического развития России. Образование и наука без границ: социально-гуманитарные науки, 1: 288–290.

References

1. Abdikeev N.M. 2017. Long-term forecasting of macroeconomic indicators. Fundamental Research, 8–1:110–114.
2. Babich T.N., Kuzbozhev E.N., Kozyeva I.A. 2018. Forecasting and planning in market conditions: Textbook. Moscow: Infra-M, 288 p.
3. Vasiliev, M.G. 2006. The state of the chemical complex and the main directions of its development strategy. Oil refining and petrochemistry. 1: 17–21.
4. Galushkin A.I. 2015. Neural networks: fundamentals of theory. М.: Fig., 496 p.
5. Kostyukhina G.V., Takhavova E.G. 2014. Development of a neural network model. In: Modern Innovations in Science and Technology: Collection of scientific papers of the 4th International Scientific and Practical Conference. Kursk, April 17. Closed Joint Stock Company "University Book": 283–285.
6. Russia in numbers, a short statistical collection. 2020. Rosstat Moscow: 600 p.
7. Rutkovskaya D., Pilinsky M., Rutkovsky L. 2013. Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems. Moscow: Fig., 384 p.
8. Skripina I.I., Zaitseva T.V., Putivtseva N.P. 2021. Analysis and selection of a mathematical model using the hierarchy analysis method. Scientific result. Information Technology, 6–2:41–46.
9. Sosurakova S.D., Mayak A.N., 2019. The state of the market and the production of paint and varnish materials. Research report, JSC "NIITECHIM". М.: 142 p.
10. Sorokina A.V. 2016. Formation and development of strategic planning and forecasting in the Russian Federation. Transport business of Russia, 5: 29–31.
11. Starinsky V.N. 2017. Technological aspects of forecasting market situations. Economy. Business. Law, 1–3 (21): 4–14.
12. Strategy for the development of the chemical and petrochemical industry for the period up to 2021, 2014. Research report, JSC "NIITECHIM", М.: 103 p.
13. Uskov, A.A., Kuzmin A.V. 2017. Intelligent control technologies. Artificial neural networks and fuzzy logic. М.: Hotline-Telecom, 143 p.
14. Khaykin S. 2019. Neural networks: a complete course. М.: Dialectics, 1104 p.
15. Shanikova I.V. 2015. Modern problems of forecasting the economic development of Russia. Education and Science without Borders: Social and Humanitarian Sciences, 1: 288–290.

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

Скрипина Ирина Ивановна, старший преподаватель кафедры математики, физики, химии и информационных технологий Белгородского государственного аграрного университета имени В.Я. Горина, п. Майский, Белгородский р-н, Белгородская обл., Россия

Irina I. Skripina, Senior Lecturer of the Department of Mathematics, Physics, Chemistry and Information Technologies of the Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, Maysky village, Belgorod district, Belgorod Region, Russia

Зайцева Татьяна Валентиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

Tatiana V. Zaitseva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies of Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Путивцева Наталья Павловна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

Natalia P. Putivtseva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Скрипин Александр Анатольевич, аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

Alexander A. Skripin, Postgraduate Student of the Department of Applied Informatics and Information Technologies of Belgorod National Research University, Belgorod, Russia



УДК 65.011.55; 669-1

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-802-809

Оперативная корректировка производственных планов с использованием технологий и алгоритмов гибких производственных систем

Боева Л.М., Коврижных О.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»
Россия, 309516, Белгородская обл., Старый Оскол, м-н Макаренко, 42
E-mail: boeva@inbox.ru, kovroles@mail.ru

Аннотация. Предлагается применение технологий гибких производственных систем для решения задачи составления производственных планов сложноструктурированных систем на примере электросталеплавильного производства. Описаны схемы обработки стали с учётом имеющихся агрегатов различных групп и типов. Выявлена возможность получения некоторых марок стали по альтернативным технологическим маршрутам. Это позволяет рассматривать несколько вариантов исходного производственного расписания и его корректировки в ходе производства. Определены основные этапы и разработан алгоритм синтеза возможных вариантов оперативного перепланирования в зависимости от существующей организационной и технологической ситуации.

Ключевые слова: ERP-системы планирования ресурсов предприятия, оперативное планирование сталеплавильного производства, гибкие производственные системы, алгоритмы координации производственного процесса.

Для цитирования: Боева Л.М., Коврижных О.А. 2021. Оперативная корректировка производственных планов с использованием технологий и алгоритмов гибких производственных систем. Экономика. Информатика. 48 (4): 802–809. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-802-809.

Operational rescheduling of production plans using technologies and algorithms of flexible production systems

Ludmila M. Boeva, Olesia A. Kovrizhnykh

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) NUST "MISiS"
42 Makarenko St, Stary Oskol, Belgorod region, 309516, Russia
E-mail: boeva@inbox.ru, kovroles@mail.ru

Abstract. The application of technologies of flexible production systems is proposed to make a decide of drawing up of production plans for complex structured systems. The electric steelmaking is considered as an example. The steel processing schemes are described taking into account the available aggregates of various groups and types. The ways to produce some steel grades using alternative technological routes are found. This allows one to consider several variants of the original production schedule and ways of its rescheduling in the course of production process. Possible processing schemes of steelmaking production are described, and aggregates of various groups and types are presented. There is a dependence between the processing schemes and the resulting steel grade, which significantly complicates the process of making and adjusting the schedule. The authors substantiate the need for the application of flexible production systems technologies under the conditions of a metallurgical enterprise. The main stages are determined and an algorithm for synthesizing of possible options for operational rescheduling is developed. It depends on the current organizational and technological situation.

Keywords: ERP-enterprise resource planning systems, operational planning of steelmaking production, flexible production systems, algorithms to coordinate the production process.

For citation: Boeva L.M., Kovrizhnykh O.A. 2021. Operational adjustment of production plans using technologies and algorithms of flexible production systems. Economics. Information technologies. 48 (4): 802–809 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-802-809.

Введение

Оперативное управление сложным производственным процессом предполагает первоначальное планирование производства и последующее принятие решений по корректировке планов при возникновении рассогласований между запланированным и фактическим ходом производства.

Объект планирования сложноструктурированного производства, к которому относится сталеплавильное производство, – это совокупность технологических, грузоподъемных и транспортных операций и оборудования.

Проблема сталеплавильного производства как объекта оперативного планирования

Производство электротехнической стали на современных металлургических заводах, как правило, характеризуется широкой номенклатурой выплавляемых марок стали, что предполагает технологические маршруты многомерных и параллельных процессов на определенном наборе оборудования. На рис. 1 представлены возможные схемы обработки сталеплавильного производства в условиях АО «ОЭМК».

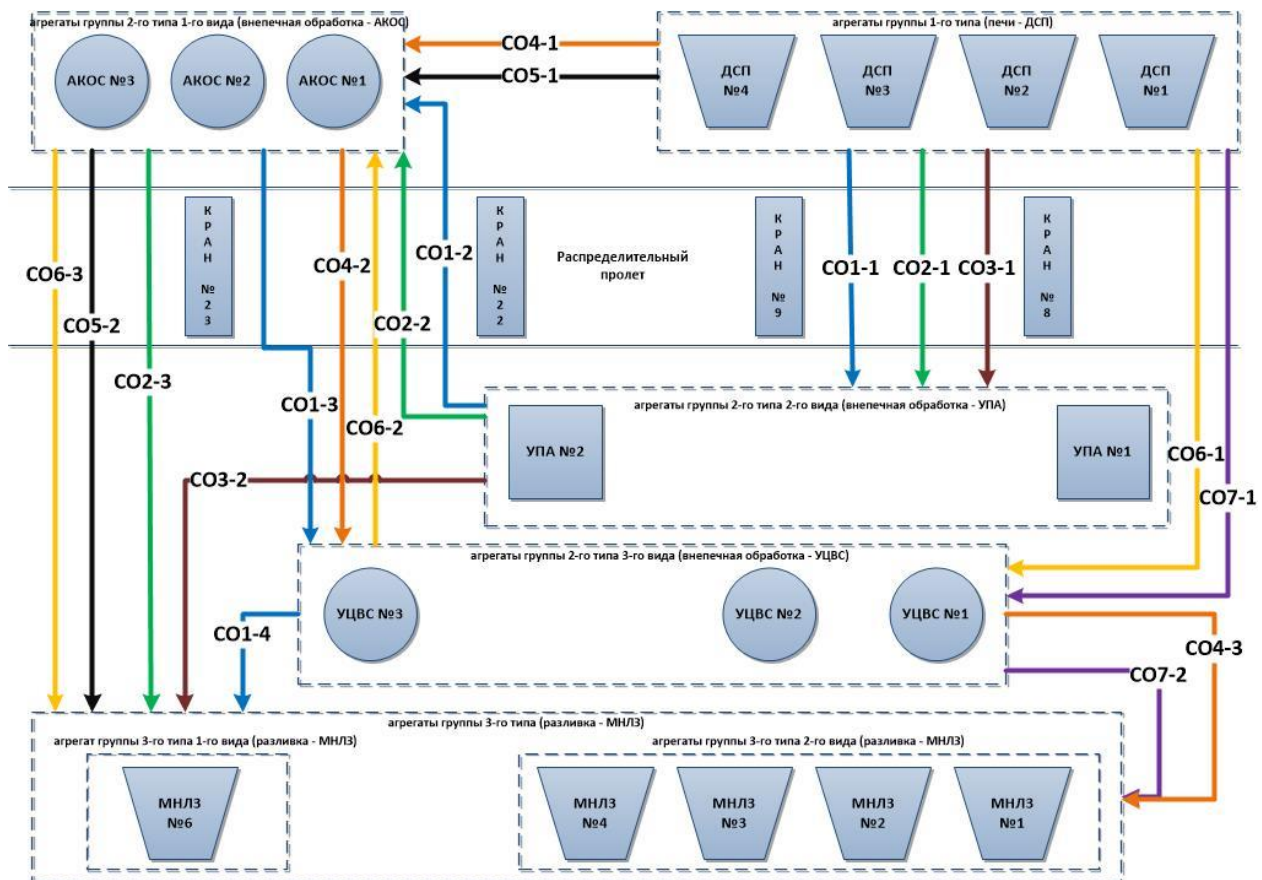


Рис. 1. Возможные схемы обработки со связями между агрегатами
Fig. 1. Possible processing schemes with connections between aggregates

На рис. 1 обозначены:

CO1-1–CO7-2 – схемы обработки №1–7 с указанием порядкового номера операции;



ДСП – дуговая сталеплавильная печь;
УПА – установка продувки аргоном;
УЦВС – установка циркуляционного вакуумирования стали;
АКОС – агрегат комплексной обработки стали;
МНЛЗ – машина непрерывного литья заготовки.

Каждый маршрут соответствует определенной группе марок стали. С другой стороны, имеются варианты производства некоторых конкретных марок стали по отличающимся технологическим маршрутам (в части разной последовательности технологических операций, использования агрегатов разных типов или разных агрегатов одного типа, которые могут отличаться объемом загрузки или временем протекания технологического процесса). Это создает существенные сложности оперативного планирования сталеплавильного производств [Боева, Цуканов, Филатов, 2017; Цуканов, Боева, 2012; Черноруцкий, 2005; Тебекин, 2018; Tsukanov, Kovrizhnykh, 2020].

Реализация выполнения уже составленного плана осложняется влиянием на ход производства: появлением новых срочных заказов, нарушением протекания технологических процессов и авариями агрегатов, сбоями в подаче электроэнергии и т. д. [Боева, Цуканов, 2016; Цуканов, Коврижных, 2019; Коврижных, Цуканов, 2021].

Вопросы оперативной корректировки планов в процессе производства при отклонении фактического его хода от запланированного с целью сокращения возможных потерь рассматривались авторами в работах [Боева, Цуканов, 2014; Цуканов, Боева, 2012; Tsukanov, Kovrizhnykh, 2019; Коврижных, Цуканов, 2018; Skobelev, 2011]. В данной статье предлагается применение для этой цели алгоритмов гибких производственных систем.

В настоящее время предприятия функционируют в нестабильной среде, требующей гибкости и адаптивности, и для эффективного изменения установленных производственных планов необходимо внедрять соответствующие технологии гибкого производства.

О возможности применения алгоритмов гибких производственных систем к оперативному планированию сталеплавильного производств

Наиболее значимым фактором в конкурентной борьбе оказывается гибкость. Клиенты ожидают не только высокого качества, но и рассчитывают на быструю доставку, возможность удовлетворения их персональных пожеланий, поэтому разработка гибких производственных систем сегодня является важным критерием успеха, вместе с соответствующими организационными решениями.

Под гибкостью при этом понимается не только своевременное реагирование на постоянно меняющиеся потребности клиентов, но и обеспечение гибкости самого производства – его способности трансформироваться и приспосабливаться к изменчивым условиям. Повышение гибкости производства может поддерживаться внедрением соответствующих технологий и оценки их экономической эффективности [Фолежинский, 2013.].

Более чем на 75 % предприятий обрабатывающей промышленности внедрена ERP система планирования ресурсов предприятия, в которую в качестве модуля встроена система планирования и управления производством PPS, предназначенная для поиска наилучшего решения проблем нормативного планирования производственного процесса (времени, мощности, подходящих затрат).

Интенсивность применения PPS в металлургии связана со сложностью продукта и его производством. Разнообразный ассортимент продукции, предназначенной для удовлетворения самых разных потребностей клиентов, повышает сложность планирования и контроля производства. Целями PPS, в том числе, является разработка плана производства, который минимизирует время выполнения заказа и максимизирует загрузку производственных мощностей.

Технология PPS позволяет быстро реагировать на изменения продукта и процесса, что обеспечивает сокращение времени простоя оборудования и способствует рациональному

использованию производственных мощностей даже при сильно меняющихся условиях производства. Однако система PPS/ERP основана на целостном, хотя и многоуровневом подходе к планированию, при этом планирование мощностей и графика осуществляется на одном уровне. Это означает, что план производства составляется на основе установленных сроков поставки и оптимального использования имеющихся мощностей.

Технологии PPS/ERP не обеспечивают возможности согласования плановой потребности в сырье и полуфабрикатах и производственных мощностей со сроками выполнения заказов. Дело в том, что потребности в мощностях определяются на базе усредненного времени прохождения заказов, которое не всегда соответствует фактическому. Первоначальные производственные планы часто становятся неактуальными и приводят к опозданиям [Фолежинский, 2013].

Необходимо установить надежную обратную связь для своевременной корректировки объемов производства. Эффективность корректировки производственных планов определяется алгоритмами устранения отклонений от установленного производственного графика и принятия мер по координации производственного процесса в зависимости от сложившейся организационной и технологической ситуации. Авторам представляется возможным применение для оперативного перепланирования сталеплавильного производства алгоритмов ГПС.

В традиционном понимании ГПС – это производственные комплексы, отличающиеся сложностью и ориентированные на выпуск продукции нескольких номенклатур разного состава и способные при минимальных затратах времени и материальных ресурсов перестроиться на выпуск новых видов продукции, переработку нового сырья или организацию новых технологических процессов. Элементами ГПС как сложной системы являются ассортимент видов выпускаемой продукции; элементарные технологические операции; типы технологического оборудования и т. п.

Ежемесячно на ОЭМК выплавляется около 300 марок стали, и продолжается работа по расширению ассортимента марок стали, в том числе в рамках комплексной программы по повышению клиентоориентированности и качества SBQ. Ассортимент марок периодически обновляется. Сталеплавильное производство характеризуется периодическим способом организации технологических процессов, для которого характерны: строгая последовательность технологических операций во времени; пространственная изоляция технологических операций и оборудования; неизменность элементарных процессов по отношению используемых агрегатов определенного типа.

ГПС предполагает наличие «избыточного» оборудования и гибких систем коммуникаций, позволяющих быстро переориентироваться на выпуск новой продукции путем частичного изменения состава технологических агрегатов, согласования режимов и увеличения срока полезной эксплуатации, оснащения необходимых технологических режимов и организационных мероприятий, т. о. ГПС как сложная система обладает мобильной структурой, которая может меняться в течение времени ее функционирования.

По отношению к решаемой задаче оперативной корректировки производственного расписания изменение структуры системы заключается в определении набора оптимальных вариантов технологических маршрутов выпуска стали соответственно сложившейся организационно-производственной ситуации, т. е. в синтезе оптимальных маршрутов и производства в целом. Основные этапы синтеза гибкого производства представлены в виде блок-схемы алгоритма на рис. 2.

Задача синтеза оптимальных технологических маршрутов электросталеплавильного производства является сложной, что связано с её многомерностью (большой ассортимент, разнообразие и количество технологического оборудования, многовариантность технологических процессов).

Используемый в алгоритме параметр «расходный коэффициент» характеризует нормы расхода сырья для производства единицы продукции.

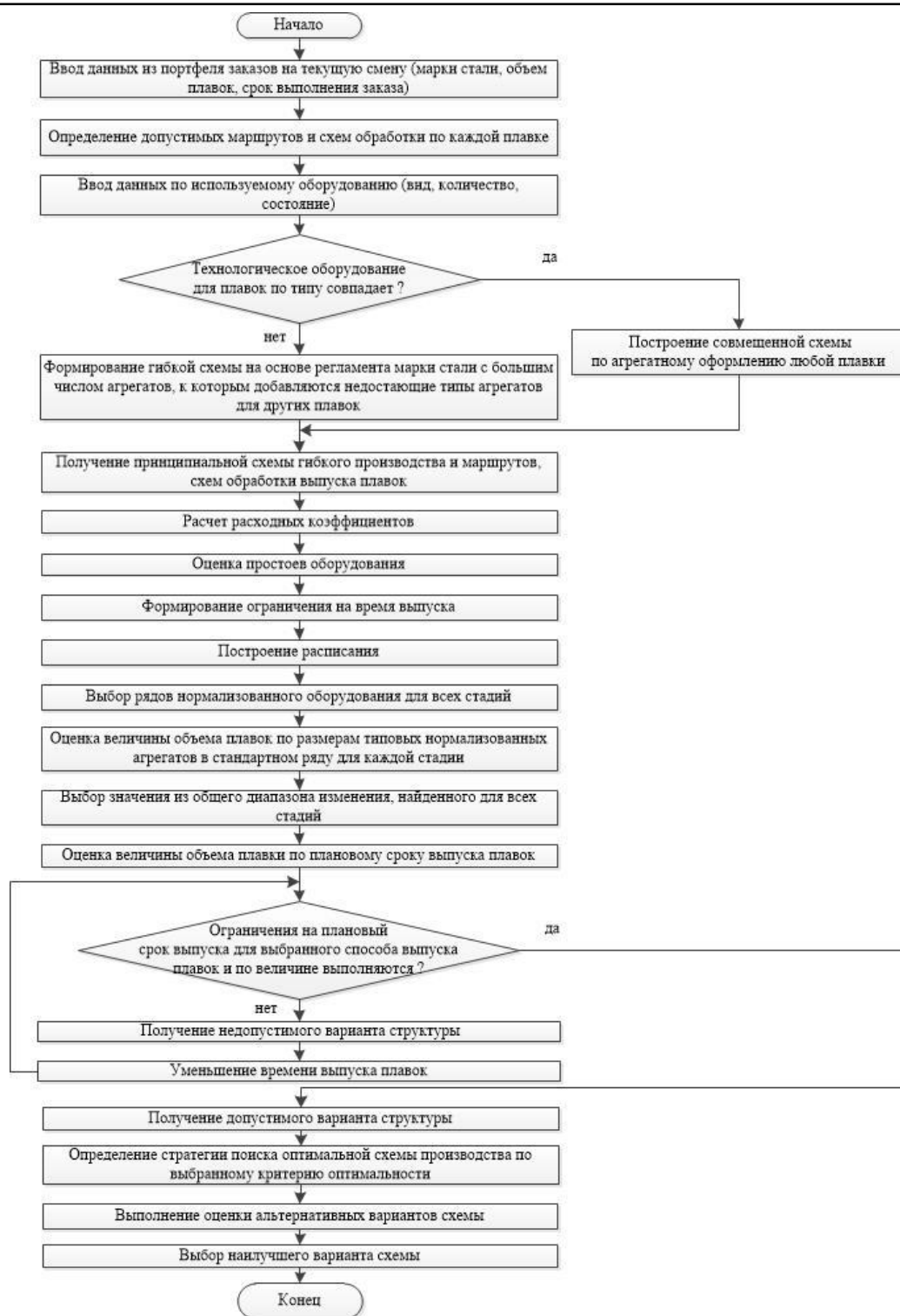


Рис. 2. Блок-схема алгоритма
 Fig. 2. Block diagram of the algorithm

Под нормализованным оборудованием предполагается его базовый набор, который позволяет выпустить марки стали выбранного ассортимента в плановых количествах за отведенное время с минимальными затратами.

Конечные результаты решения поставленной задачи, т. е. структура и параметры синтезируемых схем обработки, существенно зависят от принимаемых при её решении упрощений (совпадение технологических маршрутов получения разных продуктов, использование одного технологического агрегата на стадии, игнорирование изменения

длительности технологических стадий от объема перерабатываемого продукта, установка параллельных только однотипных аппаратов на стадиях) [Малыгин, Карпушкин, Фролова и др., 1999.].

Заключение

В настоящее время авторы работают над моделями реализации предложенного алгоритма по каждому конкретному случаю протекания производственного процесса. Внедрение предлагаемого подхода в области металлургического производства позволит эффективно вносить необходимые корректировки в установленные планы, улучшит выявление нарушений при выполнении производственной программы и позволит более эффективно строить и корректировать расписание.

Список литературы

1. Боева Л.М., Цуканов М.А. 2014. Технологическая координация сложноструктурированных производств с использованием мультиагентных технологий. Монография. Губкин: 90 с.
2. Боева Л.М., Цуканов М.А. 2016. Интеллектуальная система ситуационного управления сталеплавильным производством. Старый Оскол, 154 с.
3. Боева Л.М., Цуканов М.А., Филатов В.А. 2017. Решение проблем технологической координации сложных производств на основе применения мультиагентных технологий: монография. Харьков, 105 с.
4. Коврижных О.А., Цуканов М.А. 2021. Применение мультиагентных технологий в задаче построения и корректировки устойчивого производственного расписания. Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: XVII Всероссийская научно-практическая конференция. Старый Оскол: Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»: 290–294.
5. Коврижных, О.А., Цуканов М.А. 2018. Оценка производственного расписания как инструмент повышения эффективности процессов оперативного управления и технологической координации металлургического производства. Современные сложные системы управления HTCS'2018: Сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции. Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии»: 121–124.
6. Малыгин Е.Н., Карпушкин С.В., Фролова Т.А. и др. 1999. Проектирование гибких автоматизированных производственных систем: Учеб. пособие. М-во общ. и проф. образования Рос. Федерации. Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 79 с.
7. Тебекин А.В. 2018. Методы принятия управления: учебник для академического бакалавриата. М.: Издательство Юрайт, 431 с.
8. Фолежинский А. 2013. Гибкие производственные системы: опыт немецких производителей. Альманах «Управление производством», 1: 53–61.
9. Цуканов М.А., Боева Л.М. 2012. Мультиагентная система поддержки принятия решений по оперативному планированию и технологической координации сложноструктурированных производственных систем. Управление большими системами: сборник трудов, 39: 254–263.
10. Цуканов М.А., Боева Л.М. 2012. Построение контактного графика сложноструктурированного дискретно-непрерывного производства с использованием иммунного алгоритма. Вестник Воронежского государственного технического университета, Т. 8, 4: 66–70.
11. Цуканов М.А., Коврижных О.А. 2019. Совершенствование мультиагентной системы оперативного управления и диспетчирования производства на основе принципа многоальтернативности и связи с обеспечивающими подсистемами. XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019: Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019, Москва, 17–20 июня 2019 года. Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН: 3080–3085.
12. Чернооруцкий И.Г. 2005. Методы принятия решений. СПб.: БХВ-Петербург, 416 с.
13. Tsukanov M.A., Kovrizhnykh O.A. 2019. Analysis of Algorithms for Scheduling Complex Production Systems. Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical



Modelling, Automation and Energy Efficiency, Lipetsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: 584-589. DOI 10.1109/SUMMA48161.2019.8947598.

14. Tsukanov M.A., Kovrizhnykh O.A. 2020. The Need to Ensure Stability of the Schedule of Complex-Structured Productions. Proceedings – 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2020: Virtual, Lipetsk: 735–739. DOI 10.1109/SUMMA50634.2020.9280680.

15. Skobelev P. 2011. Multi-Agent Systems for Real Time Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling: Industrial Application. 10-th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems (HoloMAS 2011). France, Toulouse. Springer: 5–14.

References

1. Boeva L.M., Tsukanov M.A. 2014. Technological coordination of complex structured productions using multi-agent technologies. Monograph. Gubkin, 90 p. (in Russian)

2. Boeva L.M., Tsukanov M.A. 2016. Intelligent situational management system for steelmaking production. Stary Oskol, 154 p. (in Russian)

3. Boeva L.M., Tsukanov M.A., Filatov V.A. 2017. Solving the problems of technological coordination of complex productions based on the use of multi-agent technologies: monograph. Kharkiv, 105 p. (in Russian)

4. Kovrizhnykh O.A., Tsukanov M.A. 2021. Application of Multi-Agent Technologies in the Problem of Building and Adjusting a Sustainable Production Schedule. Modern problems of mining and metallurgical complex. Science and Production: XVII All-Russian Scientific and Practical Conference. Stary Oskol: Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) NUST "MISiS": 290–294. (in Russian)

5. Kovrizhnykh O.A., Tsukanov M.A. 2018. Assessment of production schedule as a tool to improve the efficiency of operational management processes and technological coordination of metallurgical production. Modern complex control systems HTCS'2018: Proceedings of XIII International Scientific and Practical Conference. Stary Oskol: LLC "Fine Science-Intensive Technologies": 121–124. (in Russian)

6. Malygin E.N., Karpushkin S.V., Frolova T.A., etc. 1999. Design of flexible automated production systems: training manual. Tambov State Technical University, Tambov, 79 p. (in Russian)

7. Tebekin A.V. 2018. Methods of management decision-making: textbook for academic bachelor's degree. M.: Yurait Publishing House, 431 p. (in Russian)

8. Folezhinskiy A. 2013. Flexible production systems: the experience of German manufacturers. Almanac "Production Management". 2013. №1: 53–61. (in Russian)

9. Tsukanov M.A., Boeva L.M. 2012. Multi-agent decision support system for operational planning and technological coordination of complex production systems Management of large systems: collection of works. № 39: 254–263. (in Russian)

10. Tsukanov M.A., Boeva L.M. 2012. Construction of a contact graph of a complex structured discrete-continuous production using an immune algorithm. Bulletin of the Voronezh State Technical University. Vol. 8, № 4: 66–70. (in Russian)

11. Tsukanov M.A., Kovrizhnykh O.A. 2019. Improvement of the multi-agent system of operational management and dispatching of production on the basis of the principle of multi-iterativity and communication with the supporting subsystems. XIII All-Russian Meeting on management problems of VSPU-2019: Proceedings of the XIII All-Russian Meeting on management problems of VSPU-2019. Institute of control sciences of Russian academy of sciences n.a. V.A. Trapeznikov. Moscow: 3080–3085. (in Russian)

12. Chernorutsky I.G. 2005. Methods of decision making. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 416 p. (in Russian)

13. Tsukanov M.A., Kovrizhnykh O.A. 2019. Analysis of Algorithms for Scheduling Complex Production Systems. Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, Lipetsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: 584-589. DOI 10.1109/SUMMA48161.2019.8947598. (in English)

14. Tsukanov M. A., Kovrizhnykh O. A. 2020. The Need to Ensure Stability of the Schedule of Complex-Structured Productions. Proceedings – 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2020: Virtual, Lipetsk: 735–739. DOI 10.1109/SUMMA50634.2020.9280680. (in English)

15. Skobelev P. 2011. Multi-Agent Systems for Real Time Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling: Industrial Application. 10-th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems (HoloMAS 2011). France, Toulouse. Springer: 5–14. (in English)



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

Боева Людмила Михайловна, доцент кафедры автоматизированных и информационных систем управления Старооскольского технологического института НИТУ «МИСиС», г. Старый Оскол, Россия

Коврижных Олеся Александровна, аспирант кафедры автоматизированных и информационных систем управления Старооскольского технологического института НИТУ «МИСиС», г. Старый Оскол, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ludmila M. Boeva, Docent of the Faculty of Automation and Information Technology Stary Oskol Technological Institute n.a. A.A. Ugarov (branch) NUST "MISiS", Stary Oskol, Russia

Olesia A. Kovrizhnykh, postgraduate student of the Faculty of automation and information technology Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and Technology "MISiS", Stary Oskol, Russia

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 621.391

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-810-821

Учёт параметров качества речи при биометрической аутентификации пользователя в неблагоприятных акустических условиях

¹⁾ Клочков Д.А., ^{2,3)} Каднова А.М., ^{1,3)} Басов О.О.

¹⁾ ФГАУ НИИ «Восход», Россия, 119607, г. Москва, ул. Удальцова, д. 85

²⁾ ФГКОУ ВО «Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации»,
Россия, 394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, д. 53

³⁾ ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»,
Россия, 197101, г. Санкт-Петербург, пр. Кронверкский, д. 49, лит. А.

E-mail: kdanote@yandex.ru, aizhana_kadnova@mail.ru, oobasov@mail.ru

Аннотация. В статье обоснована важность аутентификации пользователя при доступе к автоматизированной системе. Показано, что для её осуществления широко используется биометрическая аутентификация по голосу. Наряду с явными преимуществами последних существуют и определённые ограничения в применении таких биометрических систем, связанные с изменчивостью речевого сигнала, обусловленной индивидуальным произношением диктора, различиями в условиях записи речевого сигнала при регистрации и идентификации пользователей, наличием шумов и искажений в момент его регистрации. Проведенные экспериментальные исследования позволили сделать вывод о том, что в условиях неблагоприятных акустических шумов качество речевого сигнала изменяется в достаточно широком диапазоне, что приводит к снижению эффективности аутентификации пользователя автоматизированной системы. Одним из решений данной проблемы является учет параметров качества обрабатываемого речевого сигнала в процессе доступа пользователя к автоматизированной системе.

Ключевые слова: акустический шум, автоматизированная система, биометрическая аутентификация, речевой сигнал, качество речи.

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-71-30029) при софинансировании ПАО «Банк «Санкт – Петербург».

Для цитирования: Клочков Д.А., Каднова А.М., Басов О.О. 2021. Учёт параметров качества речи при биометрической аутентификации пользователя в неблагоприятных акустических условиях. Экономика. Информатика, 48 (4): 810–821. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-810-821.

Accounting for speech quality parameters for biometric user authentication in adverse acoustic conditions

¹⁾ Dmitry A. Klochcov, ^{2,3)} Aizhana M. Kadnova, ^{1,3)} Oleg O. Basov

¹⁾ FSAU NII «Voskhod», 85 Udaltsova St, Moscow, 119607, Russia

²⁾ Federal State Educational Institution of Higher Education «Voronezh of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation», 53 Patriot pr, Voronezh, 394065, Russia

³⁾ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«National Research University ITMO»,

49 Kronverksky Ave, lit. A., St. Petersburg, 197101, Russia

E-mail: kdanote@yandex.ru, aizhana_kadnova@mail.ru, oobasov@mail.ru

Abstract. The article substantiates the importance of user authentication when accessing an automated system. It is shown that biometric voice authentication is widely used for its implementation. Along with the

obvious advantages of the latter, there are certain limitations in the use of such biometric systems associated with the variability of the speech signal due to the individual pronunciation of the speaker, differences in the conditions for recording a speech signal during registration and identification of users, the presence of noise and distortions at the time of its registration. The experimental studies carried out allowed us to conclude that under conditions of unfavorable acoustic noises, the quality of the speech signal changes in a fairly wide range, which leads to a decrease in the effectiveness of authentication of the user of the automated system. One of the solutions to this problem is to take into account the quality parameters of the processed speech signal during the user's access to the automated system.

Keywords: acoustic noise, automated system, biometric authentication, speech signal, speech quality.

Acknowledgements: this research is financially supported by The Russian Science Foundation, Agreement №17-71-30029 with co-financing of Bank Saint Petersburg.

For citation: Klochkov D.A., Kadnova A.M., Basov O.O. 2021. Accounting for speech quality parameters for biometric user authentication in adverse acoustic conditions. Economics. Information technologies, 48 (4): 810–821 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-810-821.

Введение

В настоящее время сфера применения автоматизированных систем [ГОСТ 34.003–90] уже не ограничивается только технологическими процессами промышленных предприятий и затрагивает многие области человеческой деятельности, включая технологии так называемых гражданской (интегрированные системы охраны, системы «умный дом», транспорт и др.) и военной (управление войсками/силами при ведении боевых действий, техническое обслуживание военной техники и др.) автоматизаций [Моисеев, Козар, Дятчин, 2006; Гусев, Ляпушкин, Коваленко, 2011; Свищев, Жабин, 2020; Забегалин, 2020; Поначугин, Соколов, 2021].

В любой автоматизированной системе, созданной для повышения эффективности различного рода работ, присутствуют обрабатываемая с помощью средств автоматизации информация и люди, осуществляющие доступ ней и к системе в целом. Пользователь автоматизированной системы может не только использовать результаты ее функционирования в своей деятельности, но и принимать участие в ее функционировании. Другими словами, в процессе автоматизированной обработки информации пользователю как субъекту доступа соответствуют вычислительные процессы, выполняющие операции с некоторыми данными. Все это создает риски ошибочного сопоставления вычислительных процессов с конкретным физическим лицом. Риск неверной идентификации дополнительно увеличивается при удаленном информационном взаимодействии. К тому же циркулирующая в автоматизированной системе информация зачастую имеет конфиденциальный характер, поэтому ее обладатель (физическое или юридическое лицо, Российская Федерация, субъект РФ, муниципальное образование) имеет право (если обязанность не установлена федеральными законами) ограничивать доступ к ней и обязан принимать меры по ее защите [Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ].

Меры по обеспечению защиты информации и ограничения доступа к ней в автоматизированной системе реализуются посредством создания системы защиты информации от несанкционированного доступа (СЗИ НСД), устанавливаемой на различных компонентах автоматизированной системы [РД. Защита от несанкционированного доступа к информации, 2014; РД. Автоматизированные системы, 2014].

Независимо от уровня и места реализации программно-аппаратных средств защиты информации, СЗИ НСД должна содержать ряд подсистем, основополагающей из которых является подсистема управления доступом. Механизмам управления доступом уделяют особое внимание, так как их реализация непосредственно препятствует несанкционированному доступу к информации, а механизмы остальных подсистем

разрабатываются с учетом предположения о том, что защита подсистемой управления доступом может быть преодолена нарушителем.

Подсистема управления доступом должна осуществлять:

- идентификацию и аутентификацию (проверку подлинности) пользователей;
- контроль доступа пользователей к объектам доступа (в систему, к терминалам, каналам связи, ЭВМ, программам, каталогам и пр.);
- управление потоками данных [РД. Автоматизированные системы, 2014].

В автоматизированных системах в качестве нарушителя рассматривается субъект, у которого имеется доступ к работе со штатными средствами системы и средствами вычислительной техники как ее части. Следовательно, кроме рисков утечки защищаемой информации посредством технических средств, утечка возможна и в случае непреднамеренного ознакомления (умышленного или нет) с ней лиц, находящихся в пределах контролируемой зоны, но не имеющих соответствующих прав доступа. Поэтому подсистема управления доступом должна предоставлять доступ только авторизованным пользователям с учетом их прав. Разнообразие категорий лиц, имеющих возможный доступ к автоматизированной системе, определяет особую важность функции аутентификации [Никитин, 2018; ГОСТ Р 58833-2020].

Анализ существующих способов и средств биометрической аутентификации по голосу

Аутентификация реализуется с целью определения подлинности субъекта доступа, который использует определенный идентификатор доступа. В случае биометрической аутентификации подсистема управления доступом анализирует перечень параметров (рис. 1), которые неотделимы от пользователей и должны обладать следующими характеристиками: постоянством, всеобщностью, уникальностью, измеряемостью и приемлемостью [Болл Руд и др., 2007; Матвеев, 2012; Никитин, 2018].

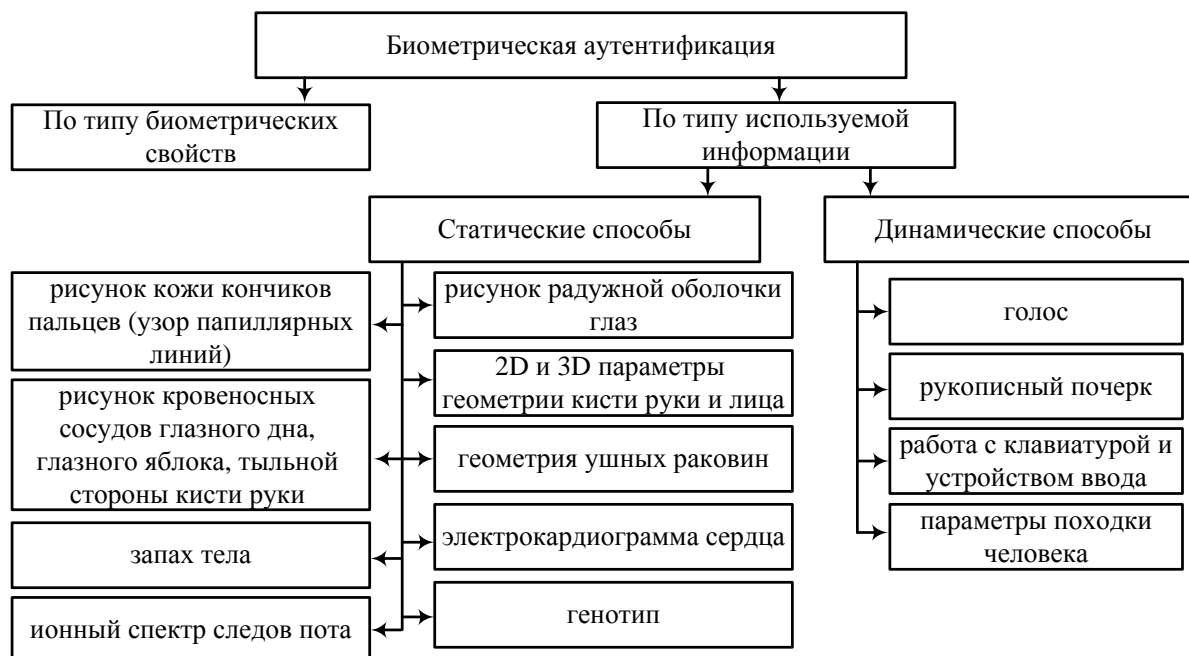


Рис. 1. Классификация способов биометрической аутентификации пользователей
 Fig. 1. Classification of biometric user authentication methods

Результаты исследований российского рынка биометрических технологий показывают уверенный их рост. В 2022 г. планируется, что доля России в общемировом объеме рынка биометрических систем увеличится практически вдвое по сравнению с 2014 г. [Пчеловодова, 2019; Бойко, Бойко, 2020]. При этом результаты теоретических и практических исследований

последних лет [Матвеев, 2012; Антонова и др., 2020] позволяют сделать вывод о том, что системы голосовой идентификации не только не уступают другим биометрическим технологиям, но и по отдельным характеристикам превосходят их.

Наряду со сравнительно высокими показателями надежности функционирования биометрическая аутентификация по голосу обладает следующими достоинствами:

- сохранность идентификатора;
- простота, эргономичность и дешевизна устройств регистрации речевого сигнала;
- вербальный ввод информации возможен на некотором удалении от устройства регистрации речевого сигнала;
- способность функционирования в неблагоприятной акустической обстановке (при акустических шумах и различных помехах) в момент регистрации контрольной фразы;
- способность функционирования при удаленном доступе к автоматизированной системе;
- сравнительно низкие требования к вычислительной сложности алгоритма аутентификации.

В процессе голосовой аутентификации подсистема управления доступом должна однозначно подтвердить или опровергнуть идентифицированную личность. Реализуется данная процедура путем сравнения двух речевых образцов: фрагмента речи человека, чью личность необходимо подтвердить (верифицировать), с фрагментом речи, запись которого в электронном виде уже хранится в базе данных СЗИ НСД и чья личность уже достоверно определена. Результатом верификации выступает степень совпадения одного голосового фрагмента с другим в процентном отношении.

Подтверждение личности пользователя автоматизированной системы в процессе его аутентификации может осуществляться по спонтанной речи (текстнезависимая верификация), по известной парольной фразе (текстозависимая верификация по статической контрольной фразе) и по изменяющейся парольной фразе (текстозависимая верификация по динамической контрольной фразе).

Различные решения задачи голосовой аутентификации базируются на теории распознавания и синтеза речи, в которой важным моментом является выбор обрабатываемой единицы звукового строя. Анализ результатов функционирования различных систем голосовой идентификации с целью поиска оптимальных речевых конструкций для использования в системе биометрической аутентификации по голосу позволил сделать вывод о достаточности применения словаря лексем. Такая система, как правило, включает следующие подсистемы ввода речевой информации, обработки речевого сигнала, хранения речевых шаблонов, сравнения и принятия решения, передачи данных в интерфейс приложения [Щемелинин, 2015; ГОСТ Р 58833–2020].

Для построения подсистем обработки речевых данных распространение получил инструментальный анализ речевого сигнала, в рамках которого проводится исследование статистических, временных и спектральных характеристик диктора. Результатом работы данной подсистемы является вектор признаков, всесторонне характеризующий индивидуальные параметры голоса диктора и используемый для дальнейшего сравнения с вектором признаков эталонной (контрольной) фразы.

Наряду с явными преимуществами систем биометрической аутентификации по голосу существуют и определённые ограничения в применении данных систем, связанные с изменчивостью речевого сигнала, обусловленной индивидуальным произношением диктора, различиями в условиях записи речевого сигнала при регистрации и идентификации пользователей, наличием шумов и искажений в момент его регистрации. Все это объективно увеличивает вероятность ошибочного отказа. Поэтому в рамках функционирования подсистемы обработки речевого сигнала перед формированием вектора признаков целесообразно производить оценку и контроль качества записанной речи с принятием решения – извлечение признаков или повтор записи.

Результаты экспериментов

Указанный контроль качества осуществляется как правило на основе анализа величины отношения сигнал/шум (ОСШ, *Signal-to-noise Ratio, SNR*), равной отношению мощности полезного сигнала к мощности шума и выраженной в логарифмических единицах с использованием децибел. ОСШ отражает лишь степень зашумленности записанной речи и не учитывает другие характерные системам звукозаписи искажения [Вологдин, 2012]. К тому же современные системы звукозаписи для последующего экономного представления речевой информации используют различные алгоритмы сжатия (в том числе с потерями) исходного речевого сигнала, что приводит к появлению дополнительных искажений и объективному снижению качества записанной речи. В этих условиях анализ речевого сигнала только во временной области на основе расчета величины ОСШ оказывается недостаточным.

В теории и практике функционирования телекоммуникационных систем известно большое количество разнообразных методов оценивания качества речевого сигнала [Илюшин, Басов, 2015; Илюшин, Волков, Абдуразаков, 2019; Илюшин, Качин, Махмудов, 2020; Илюшин, Дворядкин, Жданов, 2020; Илюшин, Батенков, Кравченко, 2020]. Последние тенденции в указанной области определяют целесообразность оценивания качества восприятия (QoE – *Quality of Experience*), под которым понимается приемлемость услуги или приложения в целом, субъективно воспринимаемая конечным пользователем [Илюшин, 2021].

В задаче оценивания качества речевого сигнала в процессе аутентификации пользователя автоматизированной системы интерес представляет классификация объективных методов по способу получения входной информации на интрузивные (активные), неинтрузивные (пассивные) и планирования (прогнозные). Наиболее распространенные меры искажений сведены в классификацию, представленную на рисунке 2, а их описание достаточно подробно изложено в [Илюшин, Басов, 2015].

Автоматизированные системы часто функционируют в условиях воздействия постоянных акустических шумов, природа которых разнообразна. В физиологии под акустическим шумом понимается всякий неблагоприятно воспринимаемый звук, оказывающий значительное воздействие на состояние эмоционального комфорта человека и снижающий разборчивость речи в процессе речевой коммуникации с использованием персональных систем связи. Это могут быть шумы от работы вентилятора ПЭВМ или систем кондиционирования в рабочих офисах, а также звуки работы станков, например, цеха с оборудованием тяжелого машиностроения. С целью сохранения слуха и речевого общения без раздражения характеристики шума окружающей человека среды нормируются. Нормирование допустимого уровня акустического шума в помещении осуществляется по предельным значениям уровня звукового давления постоянного фонового шума на среднегеометрических частотах в девяти октавных полосах. Считается, что ограничение постоянного фонового шума в конкретном типе помещения так называемой *NR*-кривой (табл. 1) в пределах области звукового восприятия человека обеспечивает удовлетворительную речевую связь и приемлемое его психоэмоциональное состояние без ущерба здоровью (рис. 3) [МСЭ-R BS.1116-2; ГОСТ 12.1.003-2014; СН 2.2.4/2.1.8.562-96].

Анализ зависимости различных типов разборчивости речи от значений оценки шума *NR* (рис. 4) позволяет сделать вывод о том, что рост уровня акустического шума помещений различного назначения в диапазоне от *NR0* (акустически изолированные помещения) до *NR70* (рабочие помещения тяжелого машиностроения) оказывает значительное влияние на формантную, менее значительное – на слоговую, оставляя практически без изменений словесную и фразовую разборчивости речи. Это объясняется избыточностью речи, чувствительностью слуха и комбинационной способностью мозга.

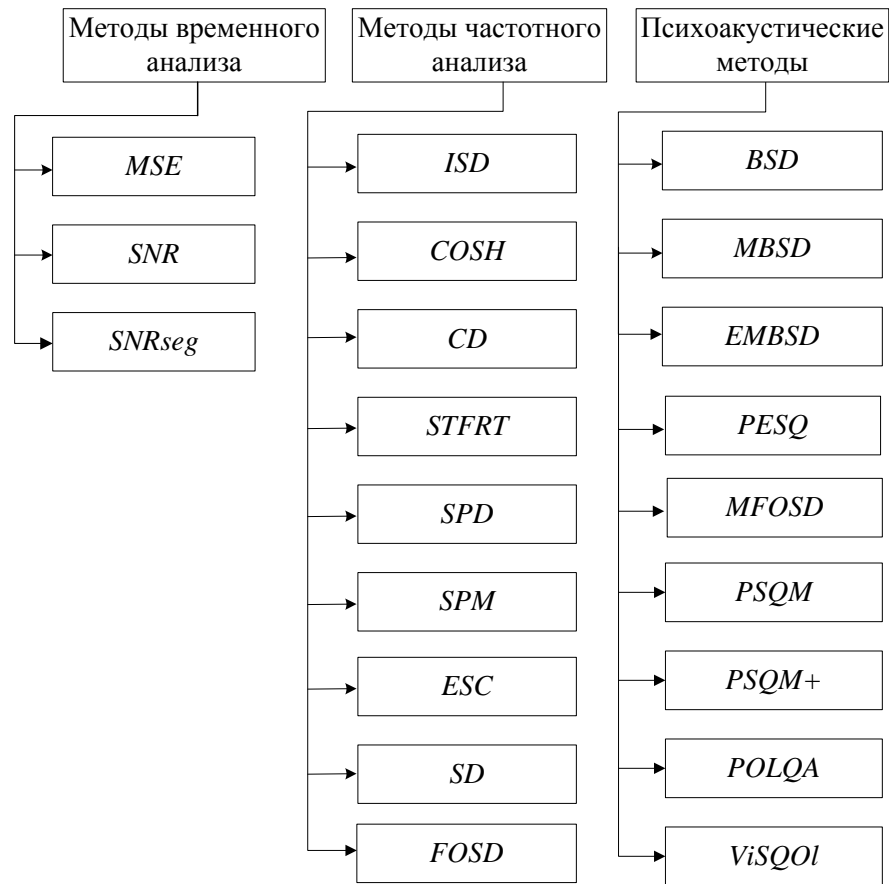


Рис. 2. Классификация объективных интрузивных методов оценивания качества речевого сигнала
 Fig. 2. Classification of objective intrusive methods for assessing the quality of a speech signal

Таблица 1
 Table 1

Характеристика типа помещений, соответствующих NR-кривым
 Characteristics of the type of premises corresponding to NR-curves

Кривая шума	Назначение помещений
NR 0	Акустически изолированные помещения
NR 10	Жилые комнаты квартир в ночное время
NR 20	Концертные залы, залы радиовещания и студий
NR 30	Помещения частных домов, больниц, театров, кинотеатров, конференц-залов
NR 40	Холлы, коридоры, раздевалки, ресторанов, ночных клубов, офисов, магазинов
NR 50	Бассейны, офисы с бизнес-оборудованием
NR 60	Рабочие помещения легкой промышленности
NR 70	Рабочие помещения тяжелого машиностроения

Акустические шумы и различные помехи снижают не только разборчивость речи, но и отрицательно влияют в целом на качество записанного в процессе аутентификации речевого сигнала. При этом шум импульсного вида может оказать свое мешающее воздействие в момент произношения контрольной фразы.

Для проведения соответствующего эксперимента использовались программный продукт Adobe Audition, звуковые файлы в формате *wav исходной речи, содержащей одну фразу трех дикторов длительностью около 7 с (два мужчины и одна женщина), зашумленные тремя типами шумов с разными коэффициентами мощности таким образом, что действие каждого шума рассматривалось в виде импульсной помехи с длительностью, равной 1 с. Полученные звуковые файлы сравнивались алгоритмом PESQ (рек. Р.862.1) с файлами

исходной речи. Зависимости усредненных оценок MOS-LQO от мощности для трех типов шумов представлены на рисунке 5.

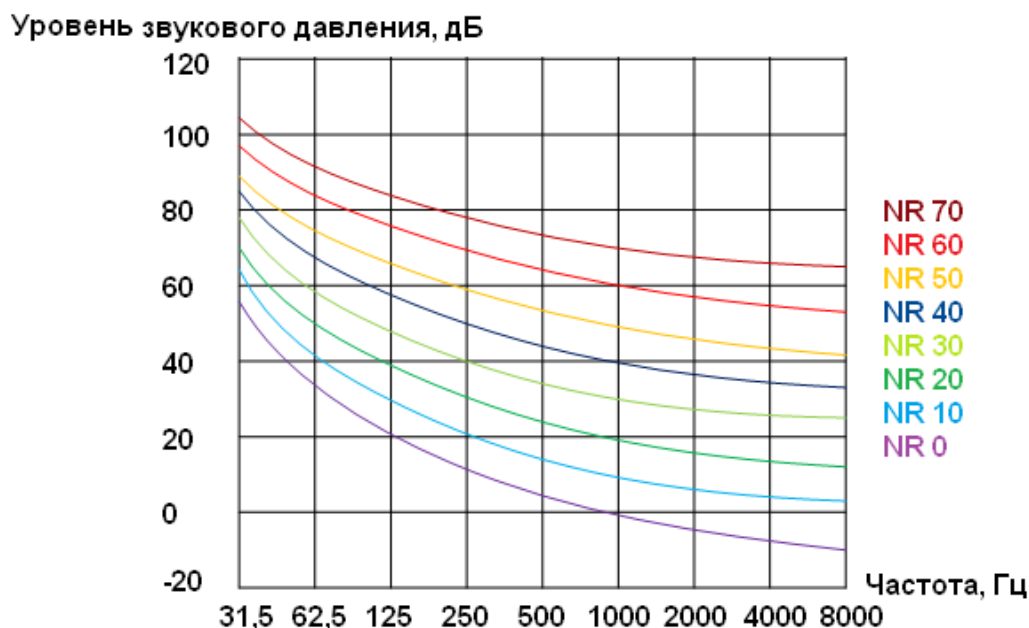


Рис. 3. Вид *NR*-кривых, соответствующих помещениям разного типа
Fig. 3. View of *NR*-curves corresponding to rooms of different types

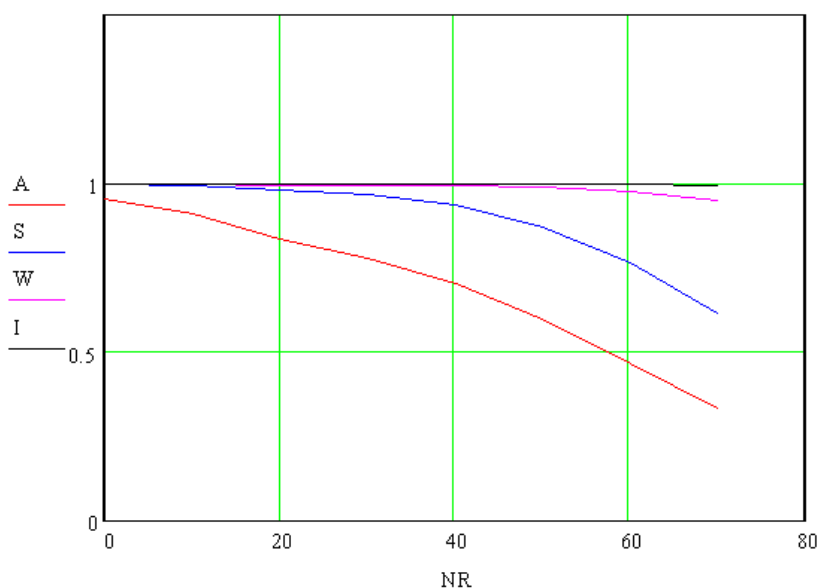


Рис. 4. Зависимости разборчивости речи от значений оценки шума
Fig. 4. Dependences of speech intelligibility on noise estimation values

Результаты исследований (рис. 5) показали, что на выбранном наборе данных даже однократное появление сравнительно непродолжительной импульсной помехи в виде шума определенной окраски приводит к снижению оценок MOS-LQO. Последние уменьшаются при увеличении мощности действующего шума. Воздействие «коричневого» шума в диапазоне мощностей от 4 до 30 практически не снижает значение оценок MOS-LQO, что возможно объяснимо схожестью спектральных составов данного шума с шумами различных видов помещений.

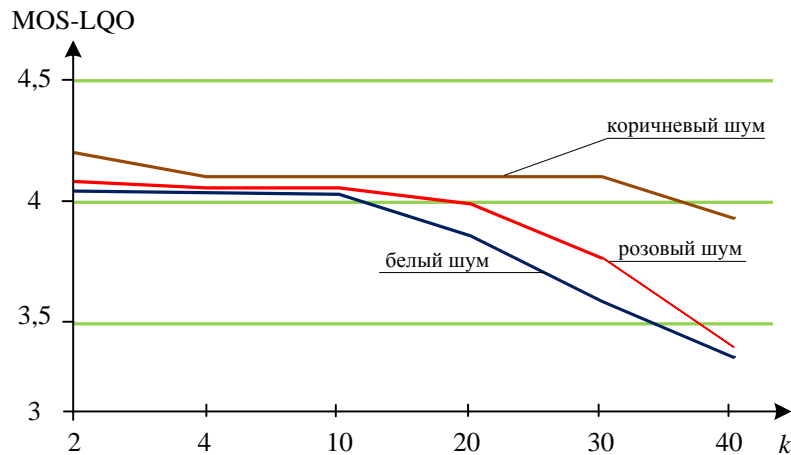


Рис. 5. Зависимости оценок MOS-LQO от мощности шума для некоторых типов шумов
 Fig. 5. Dependences of MOS-LQO estimates on noise power for some types of noise

Приведенные данные применительно к автоматизированным системам позволяют сделать вывод о том, что в реальных условиях функционирования системы биометрической аутентификации качество речевого сигнала изменяется в достаточно широком диапазоне, что может привести к снижению эффективности работы системы голосовой идентификации.

Для проверки данного предположения были проведены эксперименты с наложением «белого» аддитивного шума на речевой сигнал, а также внесению различных искажений. Величина отношения «полезный» сигнал/шум задавалась в пределах от 20 дБ до 10 дБ (примерно треть от среднеквадратичного значения амплитуды сигнала). Эксперимент проводился с 30 тестовыми высказываниями для каждого из 8 дикторов на открытом множестве.

На рисунке 6 представлена зависимость доли ошибочных решений, выданных алгоритмом распознавания при различных уровнях ОСШ. На основании нее можно сделать вывод о том, что аддитивный фоновый акустический шум, а также частотные и фазовые искажения оказывают существенное влияние на достоверность идентификации диктора: количество ошибок идентификации стремительно увеличивается с ростом амплитуды акустического шума и интенсивностью амплитудных и частотных искажений.

В проведенных экспериментах исследовалось влияние шумов и искажений на функционирование подсистемы сравнения и принятия решения. Однако в большинстве случаев в системе биометрической аутентификации улучшение качества речи пользователя (многоточечная запись, фильтрация шумов и т. п.) реализуется на этапах ввода и обработки речевой информации.

При реализации алгоритмов улучшения качества речевого сигнала важным моментом является необходимость удаления из анализируемого фрагмента речи участков, соответствующих шипящим звукам и паузам. Данная процедура позволяет повысить правильность распознавания пользователя, так как спектр указанных участков практически одинаков для различных дикторов и по своему составу близок к белому шуму. Однако теоретические исследования указывают на ухудшение естественности и узнаваемости речи даже при ограничении ее спектра, не говоря уже об удалении отдельных речевых участков [Илюшин, Волков, Абдуразаков, 2019; Илюшин, Качин, Махмудов, 2020; Илюшин, Дворянkin, Жданов, 2020; Илюшин, Батенков, Кравченко, 2020; Илюшин, 2021].

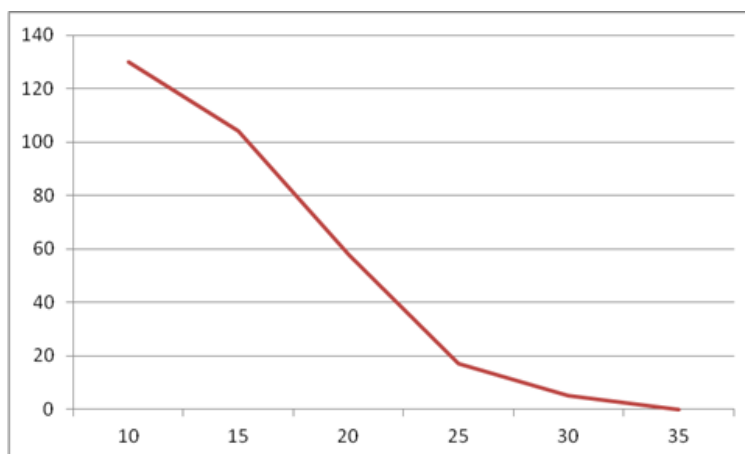


Рис. 6. Зависимость доли ошибочных решений алгоритма идентификации от значений ОСШ
Fig. 6. Dependence of the share of erroneous decisions of the identification algorithm on the SNR values

Заключение

Анализ условий функционирования автоматизированных систем и СЗИ от НСД, а также способов и средств биометрической аутентификации по голосу позволили выявить противоречие между повышением точности оценивания вероятности ошибочного отказа системы аутентификации и невозможностью существующими методами аутентификации пользователя обеспечить такое повышение. Одним из решений указанного противоречия является учет параметров качества обрабатываемого речевого сигнала в процессе доступа пользователя к автоматизированной системе, функционирующей в неблагоприятных акустических условиях.

Для разрешения выявленного противоречия представляется возможным использовать научно-методический аппарат оценивания качества речевого сигнала интрузивными (активными) методами. Поскольку неблагоприятные акустические условия, в которых может функционировать система биометрической аутентификации по голосу, по-разному ухудшают качество речевого сигнала, целесообразно для получения интегральной оценки качества речи использовать комплексный алгоритм, реализующий оценивание показателей качества речи в разных областях анализа.

Список источников

1. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ Шум. Общие требования безопасности. Дата введения 01.11.2015.
2. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. Дата введения 01.01.1992.
3. ГОСТ Р 58833-2020. Защита информации. Идентификация и аутентификация. Общие положения. Дата введения 01.05.2020.
4. РД. Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Термины и определения, 1992.
5. РД. Концепция защиты СВТ и АС от несанкционированного доступа к информации, 1992.
6. Рекомендация МСЭ-R BS.1116-2. Методы субъективной оценки небольшого ухудшения качества в звуковых системах, включая многоканальные звуковые системы, 2014.
7. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Дата введения 31.10.1996.
8. Об информации, информационных технологиях и о защите информации: федер. закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ.

Список литературы

1. Антонова В.М., Балакин К.А., Гречишкина Н.А., Кузнецов Н.А. 2020. Разработка системы аутентификации с использованием верификации диктора по голосу. Информационные процессы, 20 (1): 10–21.
2. Бойко Т.А., Бойко А.А. 2020. Анализ основных тенденций мирового и российского рынков биометрических технологий. Инновации и инвестиции, 5: 72–76.
3. Вологдин Э.И. 2012. Цифровая звукозапись. СПб, 136 с.
4. Гусев С.В., Ляпушкин С.В., Коваленко М.В. 2011. Автоматизация технологических комплексов и систем в промышленности. Томск, Томский политехнический университет, 198 с.
5. Забегалин Е.В. 2020. Концептуальная схема организации процессной автоматизации больших военных организаций. Системы управления, связи и безопасности. 4: 1–43. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10401.
6. Илюшин М.В., Басов О.О., Дмитриев В.Т., Тарусов В.А. 2015. Качество передачи речи и его оценка. Орел, Академия ФСО России, 103 с.
7. Илюшин М.В., Волков А.Н., Абдуразаков М.Ю. 2019. Эволюция интрузивных психоакустических методов объективного оценивания качества передачи речевого сигнала в VoIP системах. В кн.: Радиотехника и компьютерные технологии. Труды 62-й Всероссийской научной конференции МФТИ, М., МФТИ, 128–130.
8. Илюшин М.В., Качин И.О., Махмудов А.И. 2020. Аналитическое моделирование процесса передачи речевой информации в сетях связи на основе прикладной программы Matlab. В кн.: Мавлютовские чтения. Материалы XIV Всероссийской молодежной научной конференции, Уфа, РИК УГАТУ, 3 (1): 192–195.
9. Илюшин М.В., Дворянkin В.В., Жданов Г.В. 2020. Измерение качества восприятия речи, передаваемой в VoIP системах, на основе неинтрузивного подхода. В кн.: Радиотехника и компьютерные технологии. Труды 63-й Всероссийской научной конференции МФТИ, М., МФТИ, 68–70.
10. Илюшин М.В., Батенков К.А., Кравченко В.Р. 2020. Применение интрузивных методов для оценивания качества восприятия речевой информации, передаваемой по технологическим сетям связи. Информационные системы и технологии, 4(120): 107–116.
11. Илюшин М.В. 2021. Формализация показателей качества видеотелефонной связи в инфокоммуникационных системах специального назначения. Телекоммуникации, 11: 7–22.
12. Моисеев В.С., Козар А.Н., Дятчин В.В., 2006. Информационная безопасность автоматизированных систем управления специального назначения. Казань, Отечество, 382 с.
13. Никитин В.В. 2018. Модель и методика многомодальной аутентификации пользователя автоматизированной системы. Дисс. ... канд. техн. наук. Орел, 140 с.
14. Поначугин А.В., Соколов В.А. 2021. Актуальные проблемы разработки и внедрения автоматизированной системы управления на городском пассажирском транспорте. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика, 2 (53): 1–10.
15. Пчеловодова Н. 2019. Российский биометрический рынок в 2019–2022 гг. Результаты масштабного исследования J'son&Partners Consulting. Системы безопасности, 2: 88–91.
16. Свищев А.В., Жабин Я.О. 2020. Беспроводная и проводная система автоматизации технологии «Умный дом». Colloquium-journal, 3 (55): 18–20.

References

1. Antonova V.M., Balakin K.A., Grechishkina N.A., Kuznecov N.A. 2020. Razrabotka sistemy autentifikacii s ispol'zovaniem verifikacii diktora po golosu [Development of an authentication system using speaker verification by voice]. Informacionnye process, 20 (1): 10–21.
2. Bojko T.A., Bojko A.A. 2020. Analiz osnovnyh tendencij mirovogo i rossijskogo rynkov biometricheskikh tekhnologij [Analysis of the main trends in the global and Russian markets for biometric technologies]. Innovacii i investicii, 5: 72–76.
3. Vologdin E.I. 2012. Cifrovaya zvukozapis' [Digital Sound Recording]. Saint Petersburg, 136 p.
4. Gusev S.V., Lyapushkin S.V., Kovalenko M.V. 2011. Avtomatizaciya tekhnologicheskikh kompleksov i sistem v promyshlennosti [Automation of technological complexes and systems in industry]. Tomsk, Publ. Tomskii politekhnicheskii universitet, 198 p.



5. Zabegalin E.V. 2020 Konceptual'naya skhema organizacii processnoj avtomatizacii bol'shikh voennykh organizacij [Conceptual diagram of the organization of process automation of large military organizations]. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*. 4: 1–43. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10401.
6. Ilyushin M.V., Basov O.O, Dmitriev V.T., Tarusov V.A. 2015. Kachestvo peredachi rechi i ego ocenka [The quality of speech transmission and its assessment]. Orel: Academy of the Federal Security Service of Russia, 103 p.
7. Ilyushin M.V., Volkov A.N., Abdurazakov M.YU. 2019. Evolyuciya intruzivnykh psihoakusticheskikh metodov objektivnogo ocenivaniya kachestva peredachi rechevogo signala v VoIP sistemah [Evolution of intrusive psychoacoustic methods for objectively assessing the quality of voice transmission in VoIP systems]. In: *Radiotekhnika i komp'yuternye tekhnologii* [Radio engineering and computer technology]. Proceedings of the 62nd All-Russian Scientific Conference of the MFTI, Moscow, MFTI, 128–130.
8. Ilyushin M.V., Kachin I.O., Mahmudov A.I. 2020. Analiticheskoe modelirovanie processa peredachi rechevoj informacii v setyah svyazi na osnove prikladnoj programmy Matlab [Analytical modeling of the process of transmission of speech information in communication networks based on the Matlab application]. In: *Mavlyutovskie readings. Materials of the XIV All-Russian youth scientific conference*. Ufa: RIK UGATU, 3 (1): 192–195.
9. Ilyushin M.V., Dvoryadkin V.V., Zhdanov G.V. 2020. Izmerenie kachestva vospriyatiya rechi, peredavaemoj v VoIP sistemah, na osnove neintruzivnogo podhoda. In: *Radio engineering and computer technology. Proceedings of the 63rd All-Russian Scientific Conference of MIPT, Moscow, MFTI*, 68–70.
10. Ilyushin M.V., Batenkov K.A., Kravchenko V.R. 2020. Primenenie intruzivnykh metodov dlya ocenivaniya kachestva vospriyatiya rechevoj informacii, peredavaemoj po tekhnologicheskim setyam svyazi [Application of intrusive methods for assessing the quality of perception of speech information transmitted over technological communication networks]. *Informacionnye sistemy i tekhnologii*. 4 (120): 107–116.
11. Ilyushin M.V. 2021. Formalizaciya pokazatelej kachestva videotelefonnoj svyazi v infokommunikacionnykh sistemah special'nogo naznacheniya [Formalization of quality indicators of videotelephone communication in infocommunication systems for special purposes]. *Telekommunikacii*, 11: 7–22.
12. Moiseev V.S., Kozar A.N., Dyatchin V.V., 2006. Informacionnaya bezopasnost' avtomatizirovannykh sistem upravleniya special'nogo naznacheniya [Information security of automated control systems for special purposes]. Kazan, Publ. Fatherland, 382 p.
13. Nikitin V.V. 2018. Model' i metodika mnogomodal'noj autentifikacii pol'zovatelya avtomatizirovannoj sistemy [Model and methodology for multimodal authentication of an automated system user]. Dis. ... cand. techn. sciences. Orel, 140 p.
14. Ponachugin A.V., Sokolov V.A. 2021. Aktual'nye problemy razrabotki i vnedreniya avtomatizirovannoj sistemy upravleniya na gorodskom passazhirskom transporte [Actual problems of development and implementation of an automated control system for urban passenger transport]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika*, 2 (53): 1–10.
15. Pchelovodova N. 2019. Rossijskij biometricheskij rynek v 2019–2022 gg. Rezul'taty masshtabnogo issledovaniya J'son&Partners Cosulting [Russian biometric market in 2019–2022 Results of a large-scale study by J'son & Partners Cosulting.]. *Sistemy bezopasnosti*. 2: 88–91.
16. Svishchev A.V., ZHabin YA.O. 2020. Besprovodnaya i provodnaya sistema avtomatizacii tekhnologii «Umnyj dom» [Wireless and wired automation system of Smart Home technology]. *Colloquium-journal*, 3 (55): 18–20.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Клочков Дмитрий Александрович, первый заместитель директора ФГАУ НИИ «Восход», г. Москва, Россия

Dmitry A. Klochev, First Deputy Director of FGAU Research Institute «Voskhod», Moscow, Russia

Каднова Айжана Михайловна, кандидат технических наук, преподаватель кафедры информационной безопасности Воронежского института МВД России, г. Воронеж, Россия; научный сотрудник Национального центра когнитивных разработок Университета ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия

Aizhana M. Kadnova, Candidate of Technical Sciences, Lecturer, Department of Information Security, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russia; Researcher, National Center for Cognitive Development, ITMO University, St. Petersburg, Russia

Басов Олег Олегович, доктор технических наук, доцент, заместитель руководителя научно-исследовательского департамента архитектуры ФГАУ НИИ «Восход», г. Москва, Россия; профессор факультета цифровых трансформаций Университета ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия

Oleg O. Basov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Head of the Research Department of Architecture, FGAU Research Institute «Voskhod», Moscow, Russia; Professor at the Faculty of Digital Transformations, ITMO University, St. Petersburg, Russia



УДК 004.716
DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-822-830

О помехоустойчивости сигнально-кодовых конструкций для систем Интернет вещей

Урсол Д.В.

ООО «Промышленные электронные системы», Россия
308000, Белгород, ул. Михайловское шоссе, 121а

Аннотация. В статье рассматривается метод формирования сигнально-кодовых конструкций и решающее правило на основе индексов ортогонального субполосного базиса, позволяющих повысить уровень устойчивости к воздействию флуктуационных помех в системах Интернет вещей. Приводятся результаты сравнительных вычислительных экспериментов битовой ошибки метода передачи с расширением спектра системы LoRa и метода на основе собственных векторов субполосного базиса. Результаты вычислений показывают возможность применения субполосного базиса в системах Интернет вещей с высокой эффективностью, не уступающего существующим методам.

Ключевые слова: системы Интернет вещей, расширение спектра, линейная частотная модуляция, ортогональный субполосный базис, отношение сигнал-шум, вероятность ошибки, флуктуационные помехи.

Для цитирования: Урсол Д.В. 2021. О помехоустойчивости сигнально-кодовых конструкций для систем интернет вещей. Экономика. Информатика, 48(4): 822–830. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-822-830.

About noiseimmunity of signal-code structures for internet of things

Denis V. Ursol

Industrial Electronic Systems LLC
121a Mikhailovskoe shosse St, Belgorod, 308000, Russia
E-mail: ursoldenis@mail.ru

Abstract. The article about a method for coding signal-code structures based on an orthogonal sub-band basis with high resistance from fluctuation noise in IoT systems. Shown results of comparative computational experiments of bit error rate on the spread spectrum transmission method in LoRa system and the method based on the eigenvectors of the subband basis. Another solution is use index of subband matrix for coding bit information, this is like time shift of Chirp Spread Spectrum (CSS) base signal. If transmit bits on each eigenvector it is improve throughput of the system and decrease of noise immunity and bit error rate same as binary phase shift key (BPSK) modulation. But it gives more opportunities for adaptive speed correction for current level of Additive white Gaussian noise (AWGN) channel. The article contains results of numerical experiments of spreading factor in AWGN channel against of signal to noise ratio (SNR). Coding by indexing eigenvectors have small complexity and can be build only on memory use.

Keywords: IoT systems, spread spectrum, chirp, orthogonal subband basis, signal-to-noise ratio, error probability, fluctuation noise.

For citation: Ursol D.V. 2021. About noiseimmunity of signal-code structures for internet of things. Economics. Information technologies, 48(4): 822–830 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-822-830.

Растущая потребность в повышении эффективности и оптимизации экономических процессов, а также благодаря повсеместному распространению беспроводных сетей, появлению облачных вычислений и развитию технологий межмашинного взаимодействия

появилась концепция сети передачи данных между физическими объектами, оснащёнными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой. Эта концепция получила название Интернет вещей (IoT). Технология Интернет вещей формирует направление информатизации и развития глобальной цифровой экономики, позволяет исключить из операций необходимость участия человека и повысить эффективность управления экономическими процессами.

Особенность архитектуры беспроводной сети для информационного обмена Интернет вещей заключается в работе множества источников данных, работающих в разный момент времени и на большой площади покрытия, сбор и обработка данных единым центром-станцией. Влияние помех на эффективность средств информационного обмена приводит к необходимому снижению полезной скорости передачи, повышению энергопотребления и вычислительных ресурсов для помехоустойчивого кодирования. Таким образом, обеспечение помехоустойчивости информационного обмена между всеми участниками беспроводной сети в системе Интернет вещей определяет её эффективность функционирования и является актуальной задачей.

Одним из решений такой задачи выступает использование различного класса сигнально-кодовых конструкций для передачи информации в беспроводных каналах связи, однако требования к скорости передаваемой информации вступают в противоречия с обеспечением требуемой достоверности и надёжности в силу ограниченности используемых частотно-временных ресурсов. В данной статье рассматривается формирование сигнально-кодовых конструкций на основе ортогонального субполосного базиса с разными походами кодирования информации и декодирования, а также выбора решающего правила и сравнение с существующими методами передачи с частотно-линейным базисом в системе LoRa (Long Range).

Модуляция системы LoRa разрабатывалась с низким энергопотреблением и обеспечением передачи на большие расстояния, которая основана на модуляции с расширением спектра с частотно-линейным сигналом. В зависимости от коэффициента расширения спектра (Spreading Factor – SF), который принимает значения от 7 до 12, скорость передачи данных может составлять от 6 кбит/сек до 0,3 кбит/сек в полосе 125 кГц. Базисом такой сигнально-кодовой конструкции является частотно-линейный сигнал вида:

$$s(t) = e^{j(2\pi f_c t + 2\pi \frac{\beta}{2} t^2)}, \quad (1)$$

$$\beta = \frac{BW}{T_s}, \quad (2)$$

$$T_s = \frac{2^{SF}}{BW} \cdot CR, \quad (3)$$

где f_c – частота несущей, β – коэффициент изменения частоты, где BW – ширина занимаемой полосы частот, T_s – время длительности символа, SF – коэффициент расширения спектра, который определяет количество бит на кодируемый символ, CR – Code Rate, коэффициент кодирования (в данной работе принят равным единице). Если коэффициент изменения частоты $\beta > 0$, то частота монотонно возрастает, иначе ($\beta < 0$) частота снижается [Fialho V., Azevedo F., 2018; Bouras C., Kokkinos V., Papachristos N., 2018].

Кодирование информации в системе LoRa осуществляется путем пропорционального циклического смещения частотного линейного базиса по времени. Доля смещения относительно времени символа рассчитывается по формуле:

$$d = \frac{v}{2^{SF}} T_s, \quad (4)$$

где $v \in \{0, \dots, 2^{SF} - 1\}$ – передаваемое десятичное кодовое значение, полученное преобразованием последовательности из SF бит, T_s – время длительности символа. Метод циклического смещения сигнала является менее требовательным для реализации, так как нет

необходимости постоянно формировать новый смещенный частотно-линейный сигнал [Fialho V., Azevedo F., 2018; Bouras C., Kokkinos V., Papachristos N., 2018].

Количество возможных циклических смещений и соответственно кодирующих комбинаций составляет $2^{SF} - 1$, таким образом, в одном символе передается SF бит информации. На рисунке 1 представлен частотный линейный базис в полосе $BW = 500$ кГц, и закодированный символ ($v = 150$) на основе циклического смещения линейного частотного базиса.

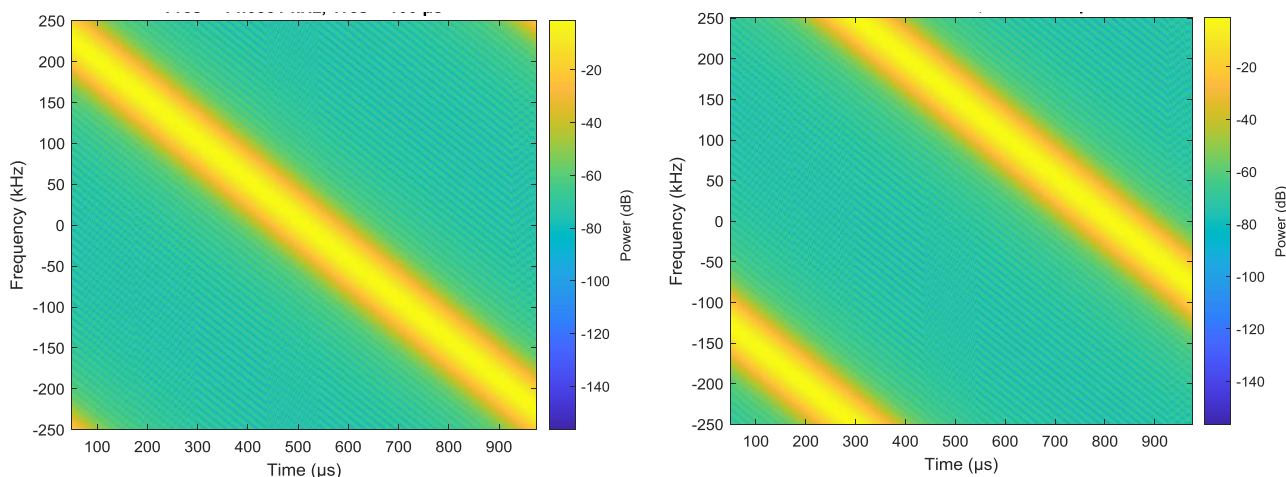


Рис. 1. Частотный линейный базис (500 кГц) и закодированный десятичным символом 150
 Fig. 1. Frequency linear basis (500 kHz) and decimal encoded value 150

Декодирование передаваемого символа в системе LoRa основывается на когерентном приёме и использовании противоположного базиса с тем же значением SF . Если при кодировании использовался линейно-частотный сигнал с понижением частоты, на приемной части используется его противоположная комплексно-сопряженная версия:

$$r(n) = \hat{x}(n) \cdot s^*(n), \quad (5)$$

где $\hat{x}(n)$ – реализация сигнала на приёмной стороне после канала связи, полученного с частотой дискретизации F_s , $*$ – знак комплексного сопряжения, $n = 0, \dots, N - 1$ отсчет сигнала на приемной стороне, N – общее количество отсчетов равно 2^{SF} . Из полученного соотношения находится прямое дискретное преобразование Фурье:

$$R_k = \sum_{n=0}^{N-1} r_n e^{\frac{-2\pi i}{N} kn}.$$

Решающее правило состоит в поиске аргумента с максимальным значением энергии после Дискретного преобразования Фурье:

$$\hat{v} = \arg \max_k |R_k|^2, \quad (6)$$

где \hat{v} – принятый десятичный символ, который возможно преобразовать в битовую последовательность. Полагается, что прием когерентный, система синхронизации и помехоустойчивое кодирование в работе не учитываются.

В настоящее время известно, что ортогональный субполосный базис на основе собственных векторов обладает минимальным уровнем внеполосного излучения при высоком уровне устойчивости к воздействию флуктуационных помех. Для цифровых систем

связи данный метод характеризуется количеством ортогональных базисных векторов, влияющих на количество передаваемой информации. Синтез элементов субполосного ядра представляется в виде [Жилияков, Урсол, Магергут. 2012; Урсол, 2020]:

$$a_{i,k} = \begin{cases} \sin\left(\frac{v}{2}(i-k)\right)/\pi(i-k), i \neq k \\ \frac{v}{2\pi}, i = k \end{cases}, \quad (7)$$

где $i, k = 1, 2, \dots, N$ – количество отсчетов на интервале одного символа, которое определяется целочисленным значением и рассчитывается согласно выражению

$$N = F_s \cdot T_b = 2^{SF}, \quad (8)$$

где F_s – частота дискретизации в системе связи, T_b – длительность символа. При этом

$$v = 2 \cdot \pi \left(\frac{BW}{F_s} \right), \quad (9)$$

где W – ширина выделенной полосы для передачи в Гц.

Таким образом, мы формируем оптимальный ортогональный базис для системы с параметрами LoRa и кодирования передаваемой информации, формируется в виде матрицы $Q = (\vec{q}_1, \vec{q}_2, \dots, \vec{q}_J)$, которая состоит из собственных векторов $\vec{q} = (q_1, q_2, \dots, q_N)^T$ субполосной матрицы, соответствующие собственные числа которых близки или равны единице, где T – знак транспонирования.

Пусть необходимо передать битовый информационный вектор $\vec{e} = (e_1, \dots, e_J)$, состоящий из символов $\{-1, 1\}$, соответствующих BPSK манипуляции. Для передачи используется канальный сигнал $x(\vec{e}, t), t \in [0, T]$ в виде физически реализуемой функции времени, в параметрах которой эти символы закодированы. Предполагается, что энергия сигнала фиксирована, и существует восстанавливающий оператор, который при отсутствии искажений канального сигнала позволяет однозначно декодировать передаваемые символы [Жилияков, Урсол, Магергут, 2012].

Тогда для передачи исходных символов информационных каналов и применяется способ кодирования согласно выражению:

$$x(\vec{e}) = \vec{e} \cdot Q^T, \quad (10)$$

при этом энергия сигнала конечна

$$\|x(\vec{e})\|^2 = \int_0^T x^2(\vec{e}, t) dt = E, \quad (11)$$

тогда их восстановление информации при том, что $Q^T \cdot Q = I$:

$$\vec{e} = (x(\vec{e}) + \vec{\varepsilon}) \cdot Q, \quad (12)$$

где I – единичная матрица, T – знак транспонирования, $\vec{\varepsilon}$ – аддитивный Гауссовский шум с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ^2 .

Пусть для сохранения условия сохранения энергии (10) при кодировании бит используется правило: если $e_j = 0$, то $g_j = -(E/J)^{1/2}$, а при $e_{ir} = 1$ положить $g_j = (E/J)^{1/2}$, где J – количество базисных отобранных векторов с собственным числом, близким или равным единице. Тогда решающее правило декодирования принимает вид: если $\hat{g}_j < 0$, то $e_j = 0$ и наоборот – $e_j = 1$, когда $\hat{g}_j \geq 0$. При этом вероятность ошибки определяется соотношением

$$P_{ou1} = Q \left(\sqrt{\frac{E}{\sigma^2}} \right) = Q \left(\sqrt{\frac{2E}{N_0}} \right), \quad (13)$$

где N_0 – спектральная плотность шума,

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-t^2/2) dt.$$

Таким образом, вероятности ошибок будут равны вероятностям ошибок в методе кодирования BPSK, при равенстве энергетических затрат на передачу соответствующих символов. На рисунке 2 представлены результаты вычислительных экспериментов SF=7, BW=125кГц.

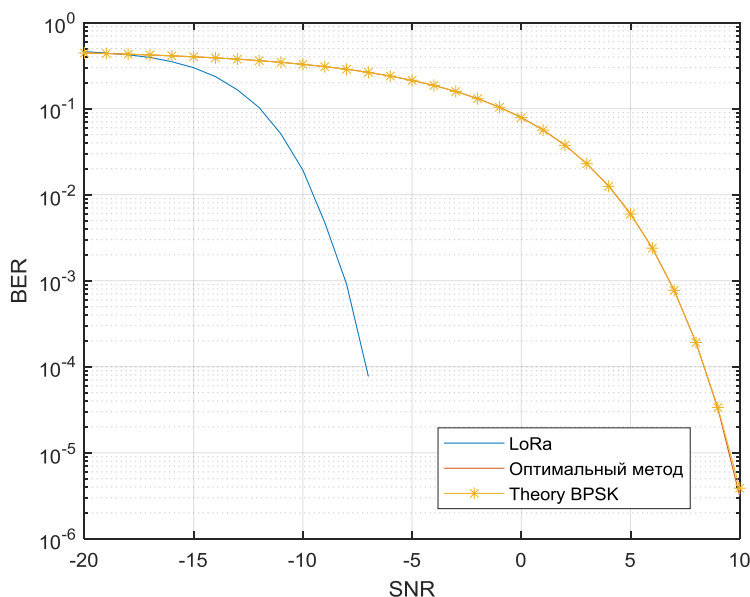


Рис. 2. Вероятность битовой ошибки LoRa и оптимального метода SF=7, BW=125кГц
 Fig. 2. Bit error rate of LoRa and optimum method SF=7, BW=125 kHz

Как показано на рисунке, LoRa имеет большую помехоустойчивость (но меньшую битовую скорость передачи), оптимальный метод соответствует аналитическим выражениям и результаты вычислений соответствуют помехоустойчивости BPSK манипуляции. Важно заметить, что сформированный таким образом сигнал позволит повысить скорость передачи в несколько раз, поскольку в одном базисе может содержаться больше собственных векторов с собственным числом больше единицы, чем параметр системы SF. Соответственно при этом снижается и помехоустойчивость системы за счет равномерного разделения энергии между используемыми ортогональными базисными векторами при кодировании, что доказывают результаты вычислительных экспериментов.

В данной работе предлагается повысить помехоустойчивость в системе Интернет вещей на основе собственных векторов субполосного базиса за счет использования альтернативного метода кодирования и выбора альтернативного решающего правила.

Пусть необходимо передать SF бит информации, тогда символ $v \in \{0, \dots, 2^{SF} - 1\}$ будет иметь уникальное значение. Отберем из все собственные вектора из субполосного ядра (7) и сформируем «полный» базис размерностью $N = 2^{SF}$.

$$B = (\vec{q}_1, \vec{q}_2, \dots, \vec{q}_j), j = N \quad (14)$$

при $F_s = BW$, практически все значения собственных чисел будут равны или близки единице, B – матрица размерности $[N \times N]$, состоящая из ортогональных собственных векторов. Также выполняется условие для возможности верного декодирования $B^T \cdot B = I$.

Кодирование информации для максимизации энергии на один информационный символ будет иметь вид:

$$\vec{x}_{alt}(v) = B(v) = \vec{q}_j, \quad (15)$$

$$j = v \in \{1, \dots, N\}.$$

Альтернативный метод кодирования – сформировать бинарный вектор с единицей в позиции равной значению передаваемого символа и осуществить произведение матрицы B на такой вектор, однако такой метод будет более ресурсозатратным.

Декодирование передаваемой информации и решающее правило (по принципу максимального правдоподобия) выполняется по формуле:

$$\hat{v} = \arg \max_j ((\vec{x}_{alt}(v) + \vec{\varepsilon}) \cdot B) = \arg \max_j (\hat{q}_j \cdot B), \quad (16)$$

где, $\vec{x}_{alt}(v)$ – канальный сигнал, закодированный определенным собственным вектором, $\vec{\varepsilon}$ – аддитивный Гауссовский шум с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ^2 , B – полный ортогональный базис, матрица размерности $[N \times N]$, состоящая из ортогональных собственных векторов.

Таким образом, индекс максимального значения скалярного произведения передаваемого собственного вектора и ортогональных собственных векторов является оценкой передаваемого символа. Вся энергия передатчика используется на передачу сигнала, состоящего только из одного собственного вектора, что увеличивает помехоустойчивость, но скорость передачи при этом снижается. На рисунке 3 представлены результаты вычислительных экспериментов с альтернативным методом кодирования и декодирования на основе ортогонального базиса в сравнении с LoRa.

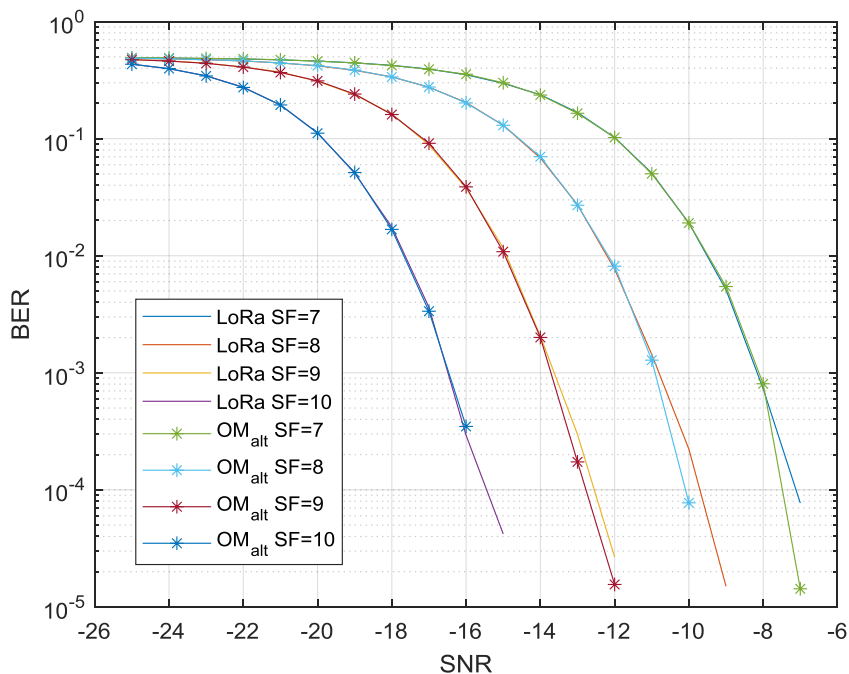


Рис. 3. Вероятность битовой ошибки LoRa и оптимального метода передачи с альтернативным методом кодирования/декодирования $BW=125$ кГц

Fig. 3. Bit error rate of LoRa and optimum method alternative encoding/decoding $BW=125$ kHz



В таблице 1 представлены вероятности битовой ошибки для альтернативного метода кодирования и декодирования информации на основе субполосного ортогонального базиса в сравнении с системой LoRa при различном коэффициенте расширения спектра SF.

Таблица 1
 Table 1

Вероятность битовой ошибки при различном значении SF и отношении сигнал/шум
 Bit error rate with different value SF and signal noise ratio

Соотношение сигнал/шум SNR(dB)	SF7		SF8		SF9		SF10	
	LoRa	OM	LoRa	OM	LoRa	OM	LoRa	OM
-20	0,460	0,459	0,419	0,421	0,309	0,311	0,112	0,111
-19	0,444	0,444	0,383	0,385	0,238	0,240	0,051	0,051
-18	0,423	0,421	0,337	0,337	0,163	0,161	0,018	0,017
-17	0,393	0,391	0,275	0,276	0,088	0,091	0,004	0,003
-16	0,351	0,355	0,204	0,202	0,038	0,039	0,000	0,000
-15	0,297	0,300	0,130	0,130	0,012	0,011	0,000	0,000
-14	0,237	0,236	0,068	0,070	0,002	0,002	0,000	0,000
-13	0,167	0,165	0,027	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000
-12	0,102	0,102	0,008	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000
-11	0,051	0,050	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
-10	0,019	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-9	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-8	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Как видно из результатов вычислительных экспериментов, помехоустойчивость на основе субполосного базиса совпадает с методом системы LoRa, что может говорить о возможности применения новой технологии в системе Интернет вещей. Одним из основных преимуществ использования ортогонального базиса в системе Интернет вещей является возможность адаптивного подбора скорости передачи данных. Появляется возможность более точно и гибко регулировать скорость передачи в зависимости от уровня воздействия внешних помех, без конструкторских изменений и алгоритмов. Другой отличительной особенностью такого метода является низкая вычислительная сложность в кодировании информации, что является большим преимуществом в системах с автономными и сильно ограниченными источниками питания, включая снижение конечной стоимости приемопередающего устройства.

Список литературы

1. Жилияков Е.Г., Урсол Д.В., Магергут В.З., 2012. Разработка нового способа формирования сигналов для систем доступа к широкополосным мультимедийным услугам. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: экономика. информатика. Издательство: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород.
2. Урсол Д.В., 2012. Метод обеспечения помехоустойчивости информационных коммуникаций при субполосной передаче информации: дис. канд. техн. наук: 05.13.17 – Теоретические основы информатики. Белгород.
3. Fialho V., Azevedo F., 2018. Wireless Communication Based on Chirp Signals for LoRa IoT Devices. ETC: ISEL Academic Journal of Electronics, Telecommunications and Computers IoT-2018 Issue, 4 (1).
4. Bouras C., Kokkinos V., Papachristos N., 2018. Performance evaluation of LoraWan physical layer integration on IoT devices. Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS).
5. Afisiadis O., Cotting M., 2019. On the Error Rate of the LoRa Modulation with Interference. IEEE Transactions on Wireless Communications PP(99):1–1.
6. Wang X., Fei M., Li X., 2008. Performance of Chirp Spread Spectrum in Wireless Communication Systems. Conference: Communication Systems ICCS 2008. 11th IEEE Singapore International.

7. Savaux V., Ferré G., 2021. Simple Asymptotic BER Expressions for LoRa System over Rice and Rayleigh Channels. Wireless Telecommunications Symposium, San Francisco (virtual), United States. hal-03200448.
8. Jair A, Silva A, 2020. Theoretical and Experimental Evaluation on the Performance of LoRa Technology. DOI 10.1109/JSEN.2020.2987776.
9. LoRa™ Modulation Basics 2015. Revision 2, AN1200.22.
10. Rajni B., Pooja S., Javed A., 2012. Analysis of Chirp Spread Spectrum System for Multiple Access. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), ISSN: 2278-0181, 1 (3).
11. Aiju T., Eldhose N., 2020. Chirp spread spectrum for narrow band long range bio sensor networks. International Journal Of Scientific & Technology Research. 9 (01).
12. Joerg R., Tallal E., 2018. Closed Form Approximation of LoRa Modulation BER Performance DOI 10.1109/LCOMM.2018.2849718, IEEE Communications Letters.
13. Tallal E., Joerg R., 2018. Analysis of BER and Coverage Performance of LoRa Modulation under Same Spreading Factor Interference. IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC).
14. Gonzalez N., Bossche A., Val T., 2018. Specificities of the LoRa physical layer for the development of new ad hoc MAC layers. 17th International Conference on Ad Hoc Networks and Wireless, St Malo, France. pp.163–174.
15. Ferré G., Giremus A., 2018. LoRa Physical Layer Principle and Performance Analysis. ICECS 25th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems.
16. Ferreira A., Ortiz F., Henrique L., Costa M. K., Foubert B., Amadou I., 2020. A study of the LoRa signal propagation in forest, urban, and suburban environments. Annals of Telecommunications – annales des télécommunications.
17. Staniec K., Kowal M., 2018. LoRa Performance under Variable Interference and Heavy-Multipath Conditions. Wireless Communications and Mobile Computing Volume 2018.

References

1. Zhilyakov E.G., Ursol D.V., Magergut V.Z., 2012. Development of a new method for generating signals for access systems to broadband multimedia services. Scientific reports of Belgorod State University. Series: Economics. computer science. Publisher: Belgorod National Research University, Belgorod. (in Russian)
2. Ursol D.V., 2012. Metod obespechenija pomehoustojchivosti informacionnyh kommunikacij pri subpolosnoj peredache informacii [The method of ensuring noise immunity of information communications in the subband transmission of information]: dis. cand. tech. Sciences: 05.13.17 – Theoretical foundations of computer science. Belgorod. (in Russian)
3. Fialho V., Azevedo F., 2018. Wireless Communication Based on Chirp Signals for LoRa IoT Devices. ETC: ISEL Academic Journal of Electronics, Telecommunications and Computers IoT-2018 Issue, 4 (1).
4. Bouras C., Kokkinos V., Papachristos N., 2018. Performance evaluation of LoraWan physical layer integration on IoT devices. Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS)
5. Afisiadis O., Cotting M, 2019. On the Error Rate of the LoRa Modulation with Interference. IEEE Transactions on Wireless Communications PP(99):1–1.
6. Wang X., Fei M., Li X., 2008. Performance of Chirp Spread Spectrum in Wireless Communication Systems. Conference: Communication Systems ICCS 2008. 11th IEEE Singapore International.
7. Savaux V., Ferré G., 2021. Simple Asymptotic BER Expressions for LoRa System over Rice and Rayleigh Channels. Wireless Telecommunications Symposium, San Francisco (virtual), United States. hal-03200448.
8. Jair A, Silva A, 2020. Theoretical and Experimental Evaluation on the Performance of LoRa Technology. DOI 10.1109/JSEN.2020.2987776.
9. LoRa™ Modulation Basics 2015. Revision 2, AN1200.22.
10. Rajni B., Pooja S., Javed A., 2012. Analysis of Chirp Spread Spectrum System for Multiple Access. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), ISSN: 2278-0181, 1 (3).
11. Aiju T., Eldhose N., 2020. Chirp spread spectrum for narrow band long range bio sensor networks. International Journal Of Scientific & Technology Research. 9 (01).



12. Joerg R., Tallal E., 2018. Closed Form Approximation of LoRa Modulation BER Performance DOI 10.1109/LCOMM.2018.2849718, IEEE Communications Letters.
13. Tallal E., Joerg R., 2018. Analysis of BER and Coverage Performance of LoRa Modulation under Same Spreading Factor Interference. IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC).
14. Gonzalez N., Bossche A., Val T., 2018. Specificities of the LoRa physical layer for the development of new ad hoc MAC layers. 17th International Conference on Ad Hoc Networks and Wireless, St Malo, France. pp.163–174.
15. Ferré G., Giremus A., 2018. LoRa Physical Layer Principle and Performance Analysis. ICECS 25th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems.
16. Ferreira A., Ortiz F., Henrique L., Costa M. K., Foubert B., Amadou I., 2020. A study of the LoRa signal propagation in forest, urban, and suburban environments. Annals of Telecommunications – annales des télécommunications.
17. Staniec K., Kowal M., 2018. LoRa Performance under Variable Interference and Heavy-Multipath Conditions. Wireless Communications and Mobile Computing Volume 2018.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Урсол Денис Владимирович, кандидат технических наук, инженер-программист, ООО «Промышленные электронные системы», г. Белгород, Россия

Denis V. Ursol, Candidate of Technical Sciences, Software Engineer, Industrial Electronic Systems LLC, Belgorod, Russia

УДК 004.932.2

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-831-842

Об обнаружении пожаров на изображениях земной поверхности в цветовой модели LAB

Ба Хала Ашраф Мохаммед Али

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: 753975@bsu.edu.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема обнаружения фрагментов фотографий, на которых присутствуют изображения пожаров/огня в условиях лесистой местности. Показано, что методы обнаружения лесных пожаров на основе анализа цвета пикселей не всегда позволяют получить адекватные результаты. Большинство известных методов обнаружения пожаров на основе анализа цвета пикселей используют цветовую модель RGB или комбинируют ее с моделью HSI, в работе для решения поставленной задачи предложено применять цветовую модель CIE LAB, которая обеспечивает более перцептивно однородное цветовое пространство по сравнению с другими цветовыми моделями. При применении данного цветового пространства разработанные решающие правила и метод обнаружения пожаров на изображениях позволяют достаточно точно определять фрагменты при сегментации пикселей, относящихся к огню на изображениях. Исследованы особенности представления данных для задач детектирования пожаров на изображениях. Представлен метод обнаружения пожаров на изображениях с использованием цветовой модели Lab. На основе вычислительных экспериментов показано, что предложенный метод обеспечивает достаточно точное определение фрагментов, содержащих изображение пожаров.

Ключевые слова: изображения лесных пожаров, обнаружение пожаров, цветовая модель LAB, сегментация изображения

Для цитирования: Ба Хала Ашраф Мохаммед Али. 2021. Об обнаружении пожаров на изображениях земной поверхности в цветовой модели LAB. Экономика. Информатика, 48 (4): 831–842. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-831-842.

Fire detection on earth's surface images in the LAB color model

Ba Hala Ashraf Mohammed Ali

Belgorod National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: 753975@bsu.edu.ru

Abstract. The article deals with the problem of detecting areas of images in photographs related to forest fire. In work are presented some features of data presentation for tasks related to detecting the presence of fires in images. It is shown that methods for detecting forest fires based on pixel color analysis do not always provide adequate results. Most of the known pixel color analysis techniques for fire detection use the RGB color model or combine it with the HSI model, In the work to solve the required issues, it is suggested to use the CIE LAB color model, which provides a more perceptually consistent color space compared to other color models. When using this color space, the developed decision rules and the method for detecting fires in images make it possible to determine fragments when segmenting pixels related quite accurately to fire in images. An approach to solving the detection problem using the Lab color model is presented, as it provides a better quality in terms of the accuracy of determining fires The features of data presentation for fire detection tasks on images are investigated. A method for detecting fires in images using the Lab color model is presented. Based on of computational experiments, it is shown that the proposed method provides a fairly accurate determination of fragments containing images of fires.

Keywords: forest fire images, fire detection, LAB color model, image segmentation

For citation: Ba Hala Ashraf Mohammed Ali. 2021. Fire detection on earth's surface images in the LAB color model. Economics. Information technologies, 48 (4): 831–842 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-831-842.

Введение

Лесные пожары являются серьезной природной опасностью [Greenpeace, 2021], которая угрожает экологическим системам, экономическим объектам, инфраструктуре и жизни людей. Каждый год миллионы гектаров леса уничтожаются пожарами, и на их тушение привлекается значительное количество людей и средств. Опасность возникновения пожаров связана с природными, антропогенными и экологическими факторами, включая экстремальное изменение климата. Таким образом, борьба с лесными пожарами рассматривается как один из важнейших вопросов охраны и сохранения природных и материальных ресурсов [Reuters, 2021]. Естественно, что раннее обнаружение лесных пожаров считается важным способом минимизации последствий, к которым они могут привести.

Для обнаружения лесных пожаров используются различные методы [Chen, Wu, and Chiou, 2004]. Одним из перспективных методов является использование систем фотофиксации. Фотофиксация позволяет получить изображение путем регистрации оптического излучения. В современных компьютерных системах обработке подвергаются цифровые двумерные изображения. Цифровые изображения, полученные путем фотофиксации, представляют собой двумерный массив чисел, при этом каждое число соответствует одному элементу изображения или пикселю, которые могут передаваться и храниться в сжатом виде. Следует отметить, что цифровые изображения характеризуются: 1) размером (обычно указывается размер в пикселях, например, 1920 x 1080 px), 2) глубиной цвета, 3) цветовым пространством или моделью (RGB: (Red, Green, Blue), CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Key или Black) и пр.), 4) разрешением изображения (величина, определяющая количество точек на единицу площади). Все представленные характеристики являются важными в той или иной степени в задаче распознавания участков изображения, относящихся к пожару и/или области задымления [Gunay, Toreyin, Kose, and Cetin, 2012].

Следует отметить, что так как лесные пожары возникают зачастую в труднодоступной местности, для мониторинга за такими участками используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА).

Обнаружение лесных пожаров с помощью фотофиксации остается сложной задачей ввиду неструктурированности данных полученных изображений [Веретенникова, 2021]. Распознаванию участков изображения, относящихся к пожару, мешает сложная структура среды леса, возможность блокировки дымом изображения пожара, или появления паразитных эффектов на изображениях, таких как: солнечные блики, движение растительности (из-за сильного ветра) и животных, или вибрацию и движение камер, установленных на беспилотных летательных аппаратах. Это может вызывать ошибки при распознавании.

В задачах распознавания используется некоторая мера близости характеристик искомого образа (например, пожара) с границами области определения допустимых изменений, заданных на некотором пространстве [Cetin, et al., 2013, Chen, Wu, and Chiou, 2004]. Для меры близости необходимо определить некоторую критическую область, так что, если ее значения попадают в эту область, нулевая гипотеза (H_0 – распознаваемая область является изображением пожара) отвергается.

Таким образом, распознавание участков пожара на изображениях представляет сложную комплексную задачу. Необходимо обеспечить как достаточно полное описание изображения, которое будет подвергаться обработке, так и определить важные,

применительно к задаче поиска пожаров, характеристики и меры близости. Неадекватное определение границ критической области может привести к неверному решению о справедливости нулевой гипотезы – что является ошибкой 1 или 2 рода в зависимости от того, принята ли гипотеза ошибочно, либо отвергнута неверно.

При решении задач распознавания пожаров на изображениях в первую очередь необходимо снизить вероятность возникновения ложных тревог (ошибки 2 рода), повысить вероятность верного обнаружения и повысить адаптивные возможности алгоритма распознавания в различных условиях окружающей среды. Предполагается, что решить эту задачу возможно за счет применения методов сегментации изображений с использованием некоторых характеристик, отличающих области пожара.

Основная часть

Обнаружение пожара на основе обработки изображений, полученных с камер БПЛА, предлагается осуществлять с помощью сегментации пикселей различного цвета, которые являются основным признаком наличия огня. Основная цель сегментации изображений состоит в том, чтобы отличить пиксели огня от фоновых пикселей. Методы, которые обычно применяются для сегментации изображений, могут быть выбраны в зависимости от типа изображения: видимого или инфракрасного диапазона. На рисунке 1 приведен результат сегментации огня на изображении видимого диапазона.



Рис. 1. Сегментация источника огня: а – исходное изображение; б – сегментированное изображение (пиксели пожара выделены красным)

Fig. 1. Segmentation of the fire source: a – the original image; b – segmented image (fire pixels are highlighted in red)

Обнаружение лесных пожаров на основе анализа цвета пикселей

Анализ цвета пикселей является одним из распространенных методов, используемых при обнаружении пожаров на основе зрения, и в настоящее время широко используется во многих методах обнаружения [Chen, Wu, and Chiou. 2004.]. Очевидно, что цвет пикселей не может быть использован непосредственно для обнаружения изображения пожара, так как на изображении могут присутствовать схожие с пожаром цветные объекты. Однако информация о цвете может быть использована как часть более сложной системы. В данном исследовании алгоритмы обработки цветных изображений, применяемые для автоматического обнаружения лесных пожаров, позволяют выполнять ввод изображений, их предварительную обработку (включая улучшение изображения, преобразование цветовой

модели) и пороговую сегментацию. Схема процедуры взаимодействия этих алгоритмов в обобщенном виде приведена рисунке 2.

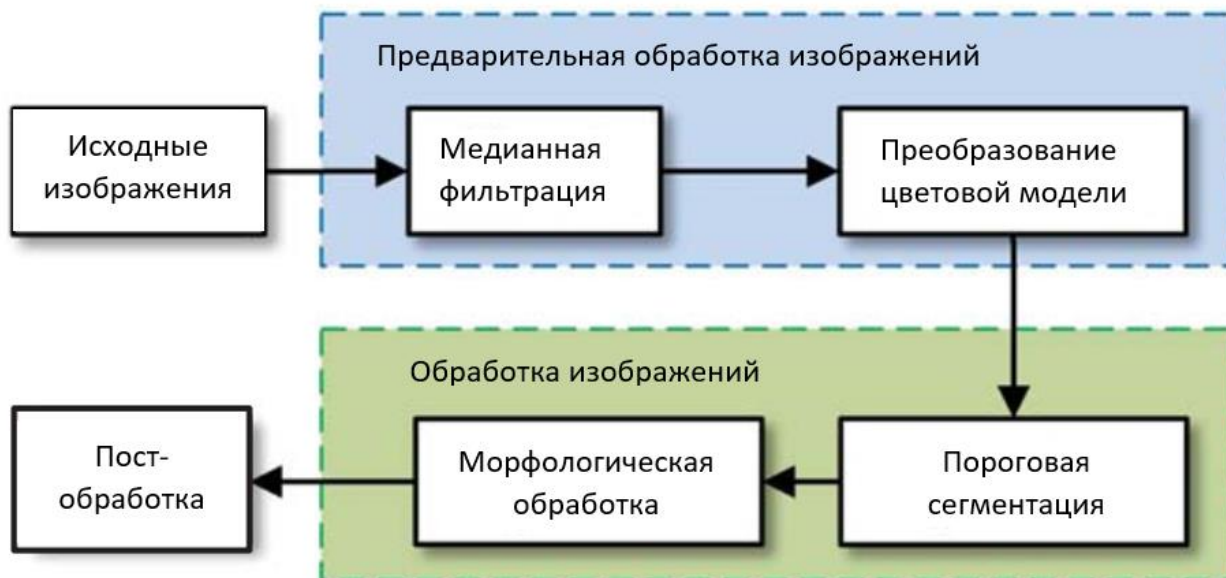


Рис. 2. Структурная схема процедуры обнаружения пожара на основе анализа цвета пикселей
Fig. 2. Block diagram of a fire detection algorithm based on pixel color analysis

Рассмотрим пример результатов обнаружения пожара на основе анализа цвета пикселей – выделяются пиксели желтых, оранжевых и красных тонов (рисунок 3).

На рисунке 3 изображения колонок 2 и 3 демонстрируют результаты сегментации пикселей желтых, оранжевых и красных тонов.

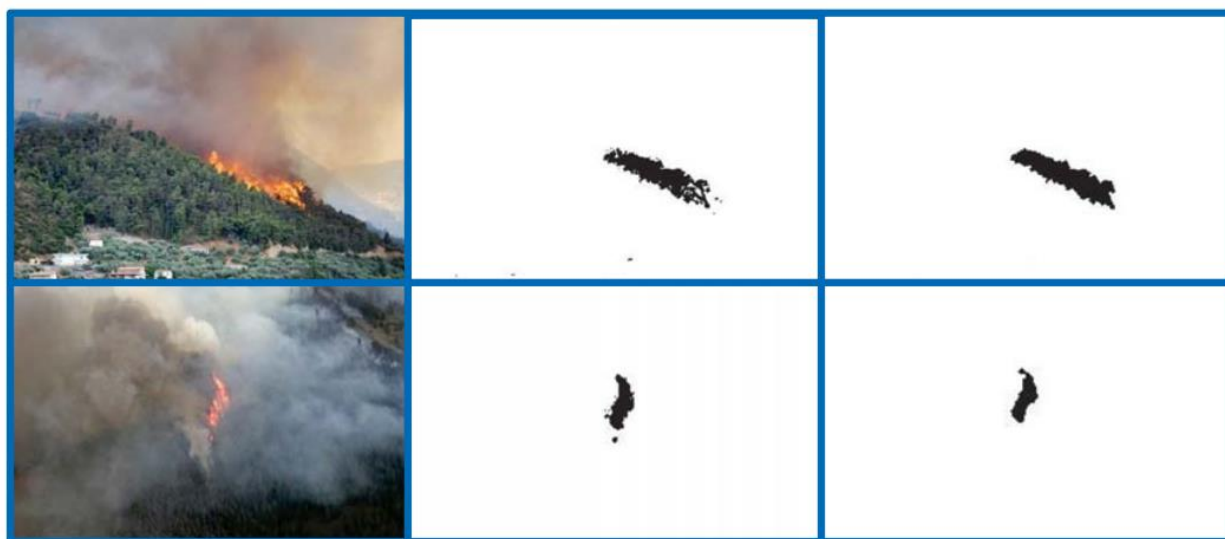


Рис. 3. Обнаружение пожара на основе цветовой сегментации
Fig. 3. Fire detection based on color segmentation

Однако метод обнаружение лесных пожаров на основе анализа цвета пикселей не всегда позволяет получить адекватные результаты. Например, чем больше отдельных разнотипных объектов зафиксировано на изображении, тем выше вероятность ошибок первого рода, которая может быть вызвана красноватым цветом крыш домов, желтым цветом палаток и пр. На территориях с преобладающими красноземами, например, австралийский буш, распознавание данным методом не позволяет сегментировать почву и пожар (рисунок 4).

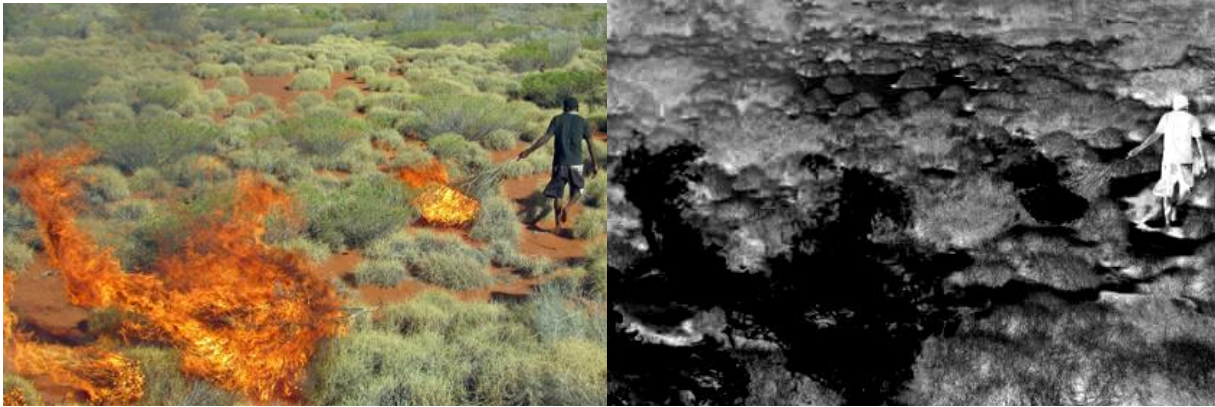


Рис. 4. Изображения пожара в австралийском буше
 Fig. 4. Images of a fire in the Australian bush

В цвете пикселей на фрагменте изображения, относящегося к открытому пламени, обычно преобладают различные оттенки красного. Следует отметить, что цвет огня изменяется в зависимости от температуры горения. Если температура огня низкая, цвет колеблется от красного до желтого, а при повышении температуры он может стать белым. Это указывает на то, что низкотемпературные пожары соответствуют цветам с высокой интенсивностью, в то время как высокотемпературные очаги пламени соответствуют цветам с низкой интенсивностью. Кроме того, цвет пламени в дневное время или с дополнительными источниками света имеет более высокую интенсивность, чем цвет пламени без источника света [Gunay, et al., 2012]. В большинстве случаев изменение цвета огня может быть представлено в виде дискретных значений между красным и желтым в различных цветовых моделях. Как правило, различные результаты сегментации могут быть получены с использованием различных цветовых моделей.

Большинство известных методов обнаружения пожара на основе анализа цвета пикселей используют цветовую модель RGB или комбинируют ее с моделью HSI [Gunay, et al., 2012; Qi, Ebert, 2009]. Модель RGB широко используется, в основном, в связи с тем, что большинство камер видимого диапазона позволяют регистрировать изображения в формате RGB (регистрация изображений осуществляется по 3 каналам). В [Mutar Ahmed, 2019] отмечено, что для значений RGB пикселей огня в красно-желтом цветовом диапазоне справедливо правило $R > G > B$. В задачах обнаружения с применением цветовой модели HSI значения цвета от красного до желтого диапазона могут быть представлены следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Условие №1 } 0 \leq H \leq 60 \\ \text{Условие №2 } \begin{cases} 30 \leq S \leq 100 \\ 20 \leq S \leq 100 \end{cases} \\ \text{Условие №3 } 127 \leq I \leq 255 \end{array} \right. , \quad (1)$$

где H , S и I – значения оттенка, насыщенности и интенсивности определенного пикселя изображения, которые могут варьироваться в диапазоне от $[0;1]$ или в случае использования 8-битных чисел для отображения цвета – $[0;255]$

В данной работе разрабатываются правила обнаружения пожара на основе анализа цвета пикселей с использованием цветовой модели Lab для определения фрагментов изображения (зон пикселей) с возможным присутствием пожара. Это связано с тем, что, согласно исследованиям, приведенным в [Mutar Ahmed, 2019], цвета пикселей пламени в Lab-модели более заметны, чем в других цветных моделях (рисунок 5).



Рис. 5. Отображение пламени в каждой компоненте Lab модели
 Fig. 5. Displaying the flame in each component of the Lab model

В отличие от цветовых пространств RGB или CMYK, которые являются, по сути, набором аппаратных данных для воспроизведения цвета на экране монитора или на бумаге (цвет может зависеть от типа печатной машины, марки красок, влажности воздуха в цеху или производителя монитора и его настроек), модель Lab однозначно определяет цвет. Поэтому модель Lab нашла широкое применение в программном обеспечении для обработки изображений в качестве промежуточного цветового пространства, через которое происходит конвертирование данных между другими цветовыми пространствами [Mutar Ahmed, 2019; Gati' Hazim Dway, Ahmed Mutar, 2019].

Цветовая модель Lab предназначена для аппроксимации цветов, воспринимаемых человеческим зрением, что означает, что ее цветовой охват также превосходит цветовой охват цветовых моделей RGB и HSI. В отличие от цветовых моделей RGB и HSI, цветовая модель Lab – это абсолютное цветовое пространство, которое не зависит от таких устройств, как камера, монитор и принтер. Независимость от устройств позволяет в модели Lab (рисунок 6) определять цвета без учета природы их получения или устройства, на котором они отображаются. Как показано на рисунке 5, цветовая модель Lab состоит из трех частей: яркость L, цветность a и цветность b. Яркость L представляет собой диапазон интенсивности от самого темного черного до самого яркого белого.

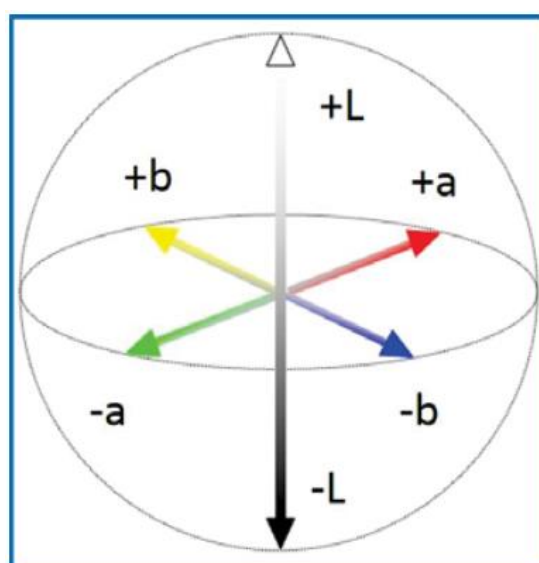


Рис. 6. Иллюстрация цветовой модели Lab
 Fig. 6. Lab color model illustration

Масштабирование значений L выполняется в диапазоне от 0 до 100. Цветность a означает, что цвет варьируется от красного до зеленого, причем красный цвет имеет положительное значение, а зеленый – отрицательное значение. Цветность b указывает на изменение цвета от желтого до синего, причем желтый цвет имеет положительное значение b , а синий – отрицательное значение b . Шкала значений a и b обычно ограничена в диапазоне (-128, 127). Чтобы преобразовать цветовую модель RGB в цветовую Lab модель, используются следующие соотношения:

$$\left[\begin{array}{l} L = 116 \times (0.299R + 0.587G + 0.114B)^{\frac{1}{3}} - 16 \\ a = 500 \times [1.006 \times (0.607R + 0.174G + 0.201B)^{\frac{1}{3}} - (0.299R + 0.587G + 0.114B)^{\frac{1}{3}}] \\ b = 200 \times [(0.299R + 0.587G + 0.114B)^{\frac{1}{3}} - 0.846 \times (0.066G + 0.117B)^{\frac{1}{3}}] \end{array} \right] \quad (2)$$

В данном исследовании для определения потенциальных областей пожара правила принятия решений на основе анализа цвета разработаны для цветовой модели Lab. В цветовой модели Lab чем больше значение каждого компонента, тем ближе они к ярчайшему белому, красному и желтому соответственно. Поскольку цвет огня, в большинстве случаев, имеет значения, близкие к красному и желтому, и обладает высокой яркостью, обычно считают, что значения пикселей огня в каждом канале цветовой модели Lab должны быть больше, чем у других пикселей цвета, не связанных с огнем. На рисунке 5 приведен пример отображения пикселей, относящихся к пламени с помощью каждого компонента модели Lab.

При решении задачи обнаружения важное значение имеет среднее значение яркости m и среднее квадратическое отклонение σ яркости.

Выражение для расчета средней яркости изображения $I[i,j]$, размером $N_i \times N_j$ пикселей, имеет вид:

$$m = \frac{1}{N_i N_j} \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_j} I[i, j]. \quad (3)$$

Оценка среднее квадратического отклонения яркости изображения $I[i,j]$ находится в соответствии с выражением

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N_i N_j} \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_j} (I[i, j] - m)^2}. \quad (4)$$

При проведении предварительных вычислительных экспериментов на основании 10 различных изображений леса и пожара получены оценки средней яркости m и среднее квадратическое отклонения σ для яркостных компонент цветовой модели Lab, их значения приведены в таблице 1. Область пожара на изображениях размечалась вручную в виде прямоугольника.

Таблица 1
Table 1

Значения оценок средней яркости и среднее квадратическое отклонения яркости леса и пожара при использовании различных цветовых компонент модели Lab
 Values of estimates of the average brightness and standard deviation of the brightness of the forest and fire using different color components of the Lab model

	Исходное изображение						Область, содержащая пиксели пожара					
	L		a		b		L		a		b	
№ Изобр.	m_l	σ_l	m_a	σ_a	m_b	σ_b	m_c	σ_c	m_c	σ_c	m_c	σ_c
1.	44,34	21,06	0,06	6,49	1,82	12,44	63,70	17,00	13,34	13,07	34,43	19,16

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.	57,59	24,55	-0,95	6,67	8,27	12,72	61,63	14,32	21,03	10,45	45,06	23,73
3.	54,95	6,22	-3,62	3,41	12,55	5,97	61,55	7,70	1,71	5,66	-1,33	10,16
4.	57,02	10,76	1,13	4,43	-0,62	3,46	47,46	10,19	17,90	15,08	12,58	11,94
5.	32,31	21,36	0,61	5,76	0,08	7,66	34,29	15,63	11,15	12,79	13,06	14,29
6.	44,04	14,61	5,97	11,87	4,23	19,13	52,16	18,36	16,63	16,12	23,50	24,10
7.	54,95	22,48	4,98	8,81	16,54	16,85	50,96	14,51	18,41	15,90	36,09	15,49
8.	39,46	14,79	1,29	4,45	4,76	6,90	39,41	19,68	6,36	10,38	12,36	12,77
9.	20,95	18,89	2,42	6,94	4,33	14,13	24,44	24,55	8,32	10,70	16,79	20,35
10.	45,55	24,56	-2,74	6,40	0,34	5,91	48,73	13,91	9,59	13,10	8,98	10,95
Среднее значение	45,12	17,93	0,91	6,52	2,72	10,52	48,43	15,59	12,44	12,33	20,15	16,29

На рисунке 7 приведены (в соответствии с данными, представленными в таблице 1) графики значений средней яркости пикселей леса (линия 1) и пожара (линия 2) для 10 изображений.

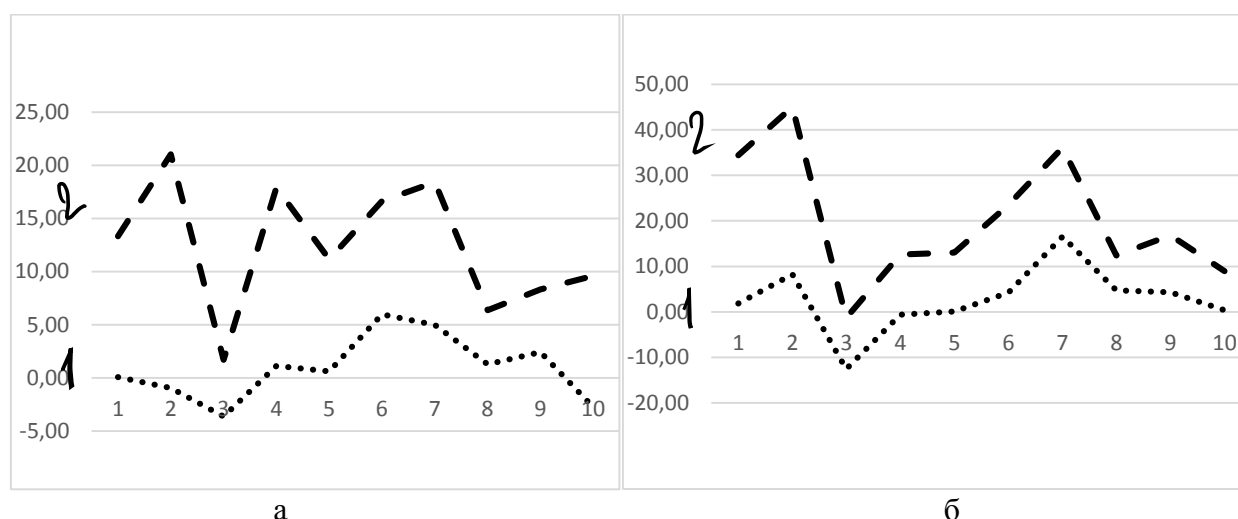


Рис. 7. Значения средней яркости пикселей леса и пожара для 10 изображений:
 а – среднее значение яркости пикселей для цветовой компоненты, б – среднее значение яркости пикселей для цветовой компоненты

Fig. 7. Values of the average brightness of the forest and fire pixels for 10 images:
 а – the average value of the brightness of pixels for the color component, б – the average value of the brightness of the pixels for the color component

На основании приведенных выше свойств значений цветowych компонент модели Lab, а также результатов предварительных вычислительных экспериментов, приведенных в таблице 1 и на рисунке 7, в данной работе предложены следующие правила принятия решения о наличии изображения огня:

$$R1(i, j) = \begin{cases} 1, L(i, j) \geq m^L \\ 0, \text{ в других случаях} \end{cases} \quad (5)$$

$$R2(i, j) = \begin{cases} 1, a(i, j) \geq m^a \\ 0, \text{ в других случаях} \end{cases} \quad (6)$$

$$R3(i, j) = \begin{cases} 1, & b(i, j) \geq m^b \\ 0, & \text{в других случаях} \end{cases} \quad (7)$$

$$R4(i, j) = \begin{cases} 1, & b(i, j) \geq a(i, j) \\ 0, & \text{в других случаях} \end{cases} \quad (8)$$

где $R1$, $R2$, $R3$ и $R4$ являются двоичными изображениями, которые представляют наличие огня в пространственном местоположении пикселей (i, j) при значении 1 и отсутствие огня при значении 0. Значения $R1(i, j)$, $R2(i, j)$ и $R3(i, j)$ вычисляются на основании сравнения свойств входного изображения с пороговыми значениями средней яркости соответствующих компонент модели Lab. Значение $R4(x, y)$ представляет информацию о цвете огня; например, огонь имеет красноватый цвет.

Решающее правило о наличии огня (правило сегментации пикселей, относящихся к изображению огня) определяется логическим произведением двоичных изображений $R1$, $R2$, $R3$ и $R4$:

$$R(i, j) = R1(i, j) \wedge R2(i, j) \wedge R3(i, j) \wedge R4(i, j). \quad (9)$$

Примеры применения предложенного правила (9) сегментации пикселей, относящихся к изображению огня, приведены на рисунке 8.

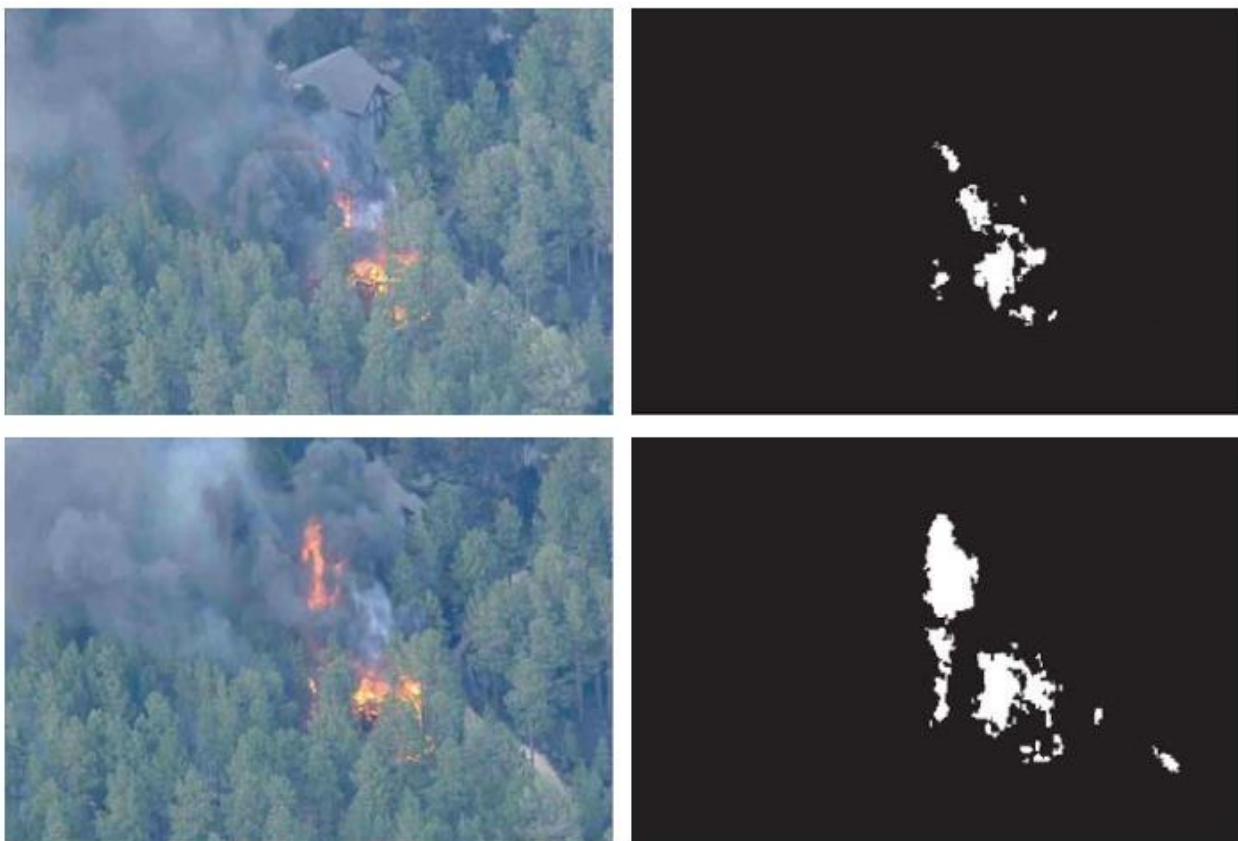


Рис. 8. Иллюстрация применения правила сегментации пикселей, относящихся к изображению огня (слева – исходные изображения, справа – результат сегментации)

Fig. 8. Illustration of the application of the rule of segmentation of pixels related to the image of fire (on the left – the original images, on the right – the result of segmentation)

Результаты сегментации пикселей, относящихся к изображению огня, приведенные на рисунке 8, показывают, что применение разработанного решающего правила позволяет адекватно выделить пиксели, соответствующие изображению огня.

На основании предложенного решающего правила сегментации пикселей, относящихся к изображению огня, разработан метод обнаружения изображений пожаров в рамках применения цветовой модели Lab. Данный метод предлагается использовать как самостоятельно для обнаружения пожаров на изображении, а также применять в различных системах наблюдения как предварительный этап обработки изображений для детектирования пикселей, относящихся к пожару. Результаты вычислительных экспериментов показали, что разработанные решающие правила и метод позволяют производить обнаружение пожара на изображениях.

Выводы

Процесс сегментации изображения является первым и наиболее важным шагом для обработки изображений, содержащих изображения пожаров, поскольку он определяет адекватность выполнения следующих шагов. Сегментация лесных пожаров нетривиальна, цвет огня варьируется от желтого до красного и может присутствовать дым с разной степенью прозрачности. Для обнаружения пожара на видеопоследовательности применяют различные алгоритмы. Среди них можно выделить алгоритмы сегментации огня, которые используют цветовые критерии в разных цветовых пространствах: RGB, YCbCr, HSV, HSI или сочетание различных цветовых пространств.

В данной работе было использовано цветовое пространство Lab. Выбор цветового пространства CIE Lab заключается в том, что оно является перцептивно однородным цветовым пространством. При применении данного цветового пространства разработанные решающие правила и метод обнаружения пожаров на изображениях позволяют достаточно точно определять фрагменты при сегментации пикселей, относящихся к огню на изображениях.

Список литературы

1. Астратов О.С., Смирнов В.М., Филатов В.Н. 2018. Обнаружение лесных пожаров по видеоизображениям. Научная сессия ГУАП: сб. докл. СПб.: ГУАП, 7–11.
2. Веретенникова Н.С. 2021. Проблема Своевременного обнаружения и ликвидации лесных пожаров URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-svoevremennogo-obnaruzheniya-i-likvidatsiya-lesnyh-pozharov/viewer> (дата обращения: 19.08.2021)
3. Википедия. Свободная энциклопедия – Статья “Цветовое пространство LAB”. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LAB> (дата обращения 20.09.2021)
4. Красильников Н.Н. 2011. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений. СПб.: «БХВ-Петербург». 2011. 608 с.
5. Cetin A.E., Dimitropoulos K., Gouverneur B., Grammalidis N., Gunay O., Habiboglu Y.H., Toreyin B.U., Verstockt S. 2013 “Video fire detection–review,” Digital Signal Processing, 23(6): 1827–1843.
6. Chen J., He Y., Wang J., 2010. Multi-feature fusion based fast video flame detection. Building and Environment. 45(5): 1113–1122.
7. Chen T, Wu P., Chiou Y. 2004. An early fire-detection method based on image processing. Proceedings of the International Conference on Image Processing. 1707–1710.
8. Gati' Hazim Dway, Ahmed Mutar. 2019. Fire Detection Based On Color Spaces. URL: <https://www.iasj.net/iasj/download/83a65f24e81636bd> (дата обращения: 19.08.2021)
9. Greenpeace. 2021. 2021 год стал рекордным по площади пожаров. URL: <https://greenpeace.ru/news/2021/08/16/2021-god-stal-rekordnym-po-ploshhadi-pozharov/> (дата обращения 16.08.2021)
10. Gunay O., Toreyin B. U., Kose K., and Cetin A. E. 2012. Entropy-functional-based online adaptive decision fusion framework with application to wildfire detection in video. IEEE Transactions on Image Processing. 21(5): 2853–2865.

11. Mutar Ahmed. 2019. Study Fire Detection Based On Color. URL: https://www.researchgate.net/publication/332882077_Study_Fire_Detection_Based_On_Color_Spaces (дата обращения 20.09.2021)
12. NASA. 2021. Fires Scorch the Sakha Republic earthobservatory.nasa.gov. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/148537/fires-scorch-the-sakha-republic> (дата обращения: 19.09.2021)
13. Qi X., Ebert J. 2009. A computer vision-based method for fire detection in color videos. *International Journal of Imaging*. 2(S09): 22–34.
14. Reuters. 2021. Russian planes seed clouds as raging wildfires near Siberian power plant. URL: <https://www.reuters.com/business/environment/russian-planes-seed-clouds-raging-wildfires-near-siberian-power-plant-2021-07-19/> (дата обращения: 19.08.2021)
15. Sangwine S.J., Horne R.E.N. 1998. *The color image processing Handbook*, Chapman & Hall. 472 p.

References

1. Astratov O.S., Smirnov V.M., Filatov V.N. 2018. Obnaruzhenie lesnyh pozharov po videoizobrazheniyam [Detection of forest fires by video images]. *Nauchnaya sessiya GUAP [Scientific session of SUAI]*. SPb., GUAP, 7–11.
2. Veretennikova N.S. 2021. Problema Svoevremennogo obnaruzheniya i likvidatsii lesnyh pozharov [Problem of timely detection and elimination of forest fires]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-svoevremennogo-obnaruzheniya-i-likvidatsiya-lesnyh-pozharov/viewer> (accessed 19.08.2021)
3. Wikipedia. Svobodnaya enciklopediya – Stat'ya “Cvetovoe prostranstvo LAB” [Wikipedia. Free Encyclopedia – Article “LAB color space”]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LAB> (accessed 20.09.2021)
4. Krasil'nikov N.N. 2011. *Cifrovaya obrabotka 2D- i 3D-izobrazhenij [Digital processing of 2D and 3D images]*. SPb. «BHV-Peterburg». 608 p.
5. Cetin A.E., Dimitropoulos K., Gouverneur B., Grammalidis N., Gunay O., Habiboglu Y.H., Toreyin B.U., Verstockt S. 2013 “Video fire detection–review,” *Digital Signal Processing*, 23(6): 1827–1843.
6. Chen J., He Y., Wang J., 2010. Multi-feature fusion based fast video flame detection. *Building and Environment*. 45(5): 1113–1122.
7. Chen T, Wu P., Chiou Y. 2004. An early fire-detection method based on image processing. *Proceedings of the International Conference on Image Processing*. 1707–1710.
8. Gati' Hazim Dway, Ahmed Mutar Study. 2019. Fire Detection Based On Color Spaces. URL: <https://www.iasj.net/iasj/download/83a65f24e81636bd> (accessed 19.08.2021)
9. Greenpeace. 2021. 2021 god stal rekordnym po ploshchadi pozharov [2021 became a record year for the area of fires]. URL: <https://greenpeace.ru/news/2021/08/16/2021-god-stal-rekordnym-po-ploshhadi-pozharov/> (accessed 16.08.2021)
10. Gunay O., Toreyin B. U., Kose K., and Cetin A. E. 2012. Entropy-functional-based online adaptive decision fusion framework with application to wildfire detection in video. *IEEE Transactions on Image Processing*. 21(5): 2853–2865.
11. Mutar Ahmed. 2019. Study Fire Detection Based On Color. URL: https://www.researchgate.net/publication/332882077_Study_Fire_Detection_Based_On_Color_Spaces (accessed 20.09.2021)
12. NASA. 2021. Fires Scorch the Sakha Republic earthobservatory.nasa.gov. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/148537/fires-scorch-the-sakha-republic> (accessed: 19.09.2021)
13. Qi X., Ebert J. 2009. A computer vision-based method for fire detection in color videos. *International Journal of Imaging*. 2(S09): 22–34.
14. Reuters. 2021. Russian planes seed clouds as raging wildfires near Siberian power plant. URL: <https://www.reuters.com/business/environment/russian-planes-seed-clouds-raging-wildfires-near-siberian-power-plant-2021-07-19/> (accessed 19.08.2021)
15. Sangwine S.J., Horne R.E.N. 1998. *The color image processing Handbook*, Chapman & Hall. 472 p.



Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ба Хала Ашраф Мохаммед Али, аспирант
института Инженерных и цифровых технологий,
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, г. Белгород

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ba Hala Ashraf Mohammed Ali, Ph. D student
Institute of Ingeenering and Digital Technologies,
Belgorod National Research University, Belgorod