

ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES



Том 47, № 3



ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

2020. Том 47, № 3

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

Ответственные секретари

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

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

Члены редколлегии:

А.В. Богомолов, доктор технических наук, профессор (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, директор института экономики, управления и бизнеса, заведующий кафедрой экономической безопасности (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)

В.Г. Рубанов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической кибернетики, заслуженный деятель науки РФ (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия)

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

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

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

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. Коханова. Корректур, компьютерная верстка и оригинал-макет Ю.В. Ивахненко. Гарнитура Times New Roman, Arial Narrow, Impact. Уч.-изд. л. 15,9. Дата выхода 30.09.2020. Оригиналы-макеты подготовлены отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

- 459 **Московкин В.М., Дивинари А., Горбунова Е.И.**
Количественный анализ кластерных инициатив регионов Российской Федерации
- 473 **Селютина Л.Г., Песоцкая Е.В., Черных А.Н.**
Методологические аспекты формирования экологической политики в условиях городской среды

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

- 483 **Дорошенко Ю.А., Бережная А.В.**
Методологические подходы к формированию комплексной инвестиционно-инновационной системы региона
- 491 **Шальнова Ю.П.**
Монетизация больших данных: технико-экономический анализ драйверов роста и издержек

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

- 501 **Гагерова А.В., Гармашова Е.П.**
Обзор рынка виноградарства и виноделия Российской Федерации на фоне общемировых тенденций
- 512 **Климова Т.Б.**
Динамика развития авиаотрасли: тренды и пандемийные вызовы
- 522 **Рябков И.Л., Яшалова Н.Н.**
Оценка значимости угроз экономической безопасности для ведущих отечественных предприятий черной металлургии

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

- 533 **Гордиенко М.С.**
Перспективы курортного и гостиничного сборов в системе неналоговых платежей РФ
- 545 **Косов М.Е.**
Проблемы межбюджетных отношений в России и пути их решения

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 555 **Маслобоев А.В., Быстров В.В.**
Концептуальная модель жизнеспособности критических инфраструктур в контексте современной теории безопасности сложных систем
- 573 **Ганичева А.В., Ганичев А.В.**
Математическое моделирование оценки качества коллективного решения
- 583 **Рубанов В.Г., Коробкова Е.Н., Луценко О.В.**
Метод синтеза формирователя тестовой последовательности с перестраиваемыми параметрами, основанный на представлении логических функций в обобщенной форме

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

- 600 **Гафуров К.А.**
Модель и алгоритм анализа данных спектральных составляющих зубного ряда при протезировании
- 610 **Баровик Д.В., Таранчук В.Б.**
Компьютерная модель, примеры анализа влияния ландшафтно-метеорологических факторов на динамику низовых лесных пожаров
- 623 **Михелёв В.В., Маторин С.И., Жихарев А.Г.**
Нормативная система системно-объектного анализа и моделирования
- 638 **Дорофеев Н.В., Панькина Е.С., Греченева А.В., Романов Р.В.**
Обработка технико-экономической информации в системе геотехнического мониторинга

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 648 **Олейник И.И.**
Исследование решающих правил распознавания объектов в малобазовой поляризационной измерительной системе при субполосной обработке сигналов

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES**2020. Volume 47, No. 3**

Previously, the magazine was published under the title "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. Stryabkova, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Applied Economics and Economic Security, Institute of Economics and Management (BSU, Belgorod, Russia)

Editorial assistants:

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

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

Members of Editorial Board:

A.V. Bogomolov, Doctor of technical sciences, Professor (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. Kantardjan, 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, Director of the Institute of Economics, Management and Business, Head of the Department of Economic, (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)

V.G. Rubanov, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Technical Cybernetics (Belgorod State Technological University named after V.G. Shuhov, Belgorod, 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. Chernomorets, Doctor of technical sciences, Associate professor of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Institute of Engineering and Digital Technologies (BSU, Belgorod, Russia)

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

Publication frequency: 4 /year

Commissioning Editor L.P. Kokhanova. Pag Proofreading, computer imposition, page layout by Y.V. Ivakhnenko. Typeface Times New Roman, Arial Narrow, Impact. Publisher's signature 15.9. Date of publishing 30.09.2020. 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

- 459 **Moskovkin V.M., Divinari A., Gorbunova E.I.**
Quantitative analysis of cluster initiatives in Russian regions
- 473 **Selyutina L.G., Pesotskaya E.V., Chernykh A.N.**
Methodological aspects of environmental policy formation in the urban environment

INVESTMENT AND INNOVATIONS

- 483 **Doroshenko Y.A., Berezhnaya A.V.**
Methodological approaches to the formation of an integrated investment and innovation system in the region
- 491 **Shalnova J.P.**
Big data monetization: qualitative technical and economic analysis of drivers of growth and costs

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

- 501 **Gagerova A.V., Garmashova E.P.**
Russian Federation viticulture and wine-making market overview with current global trends
- 512 **Klimova T.B.**
Dynamics of the aviation industry: trends and pandemic challenges
- 522 **Ryabkov I.L., Yachalova N.N.**
Assessment of the significance of threats to economic security for leading domestic ferrous metallurgy enterprises

PUBLIC AND BUSINESS FINANCE

- 533 **Gordienko M.S.**
Prospects of resort and hotel charges in the system of non-tax payments of the Russian Federation
- 545 **Kosov M.E.**
Problems of interbudgetary relations in Russia and its solution

COMPUTER SIMULATION HISTORY

- 555 **Masloboev A.V., Bystrov V.V.**
Conceptual model of critical infrastructures resilience in the context of modern theory of complex system security
- 573 **Ganicheva A.V., Ganichev A.V.**
Mathematical modeling of collective decision quality assessment
- 583 **Rubanov V.G., Korobkova E.N., Lutsenko O.V.**
Synthesis method for a test sequence generator with tunable parameters, based on the presentation of logical function in a generalized form

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

- 600 **Gafurov K.A.**
Model and algorithm for data analysis of spectral components of the dentition during prosthetics
- 610 **Barovik D.V., Taranchuk V.B.**
Computer model, examples of analysis of landscape and meteorological factors affecting the dynamics of surface forest fires
- 623 **Mikhelev V.V., Matorin S.I., Zhikharev A.G.**
Normative system of system-object analysis and modeling
- 638 **Dorofeev N.V., Pankina E.S., Grecheneva A.V., Romanov R.V.**
Processing of technical and economic information in the system of geotechnical monitoring

INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

- 648 **Oleynik I.I.**
Investigation of crucial rules for object recognition in a small basic polarization measuring system for sub-band signal processing

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

УДК 332.1

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-459-472

Количественный анализ кластерных инициатив регионов Российской Федерации

В.М. Московкин, А. Дивинари, Е.И. ГорбуноваБелгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: moskovkin@bsu.edu.ru, 690751@bsu.edu.ru, gorbunova_e@bsu.edu.ru

Аннотация

На основе данных Российской кластерной обсерватории, созданной на базе Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» в 2012 году сразу же после опубликования Стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 года, проведен количественный анализ распределения запуска кластерных инициатив по годам, численности участников (юридических лиц), фазам развития, видам государственной поддержки, численности работников, их специализации и по территориальному признаку. Предложена классификация кластеров по численности их работников. Согласно проведенному анализу, развитие кластерных инициатив имеет динамично развивающийся характер как по годам, так и по различным отраслям и территориям Российской Федерации.

Ключевые слова: стратегия инновационного развития, Российская кластерная обсерватория, кластерные инициативы, Стратегия развития инновационно-производственных кластеров, промышленные кластеры, инновационные кластеры.

Для цитирования: Московкин В.М., Дивинари А., Горбунова Е.И. 2020. Количественный анализ кластерных инициатив регионов Российской Федерации. Экономика. Информатика. 47 (3): 459–472. DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-3-459-472.

Quantitative analysis of cluster initiatives in Russian regions

V.M. Moskovkin, A. Divinari, E.I. GorbunovaBelgorod National Research University, 85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: moskovkin@bsu.edu.ru, 690751@bsu.edu.ru, gorbunova_e@bsu.edu.ru

Abstract

Based on data from the Russian cluster Observatory, established on The basis of the national research University Higher school of Economics in 2012 immediately after the publication Of the strategy for innovative development of the Russian Federation for the period up to 2020, a quantitative analysis of the distribution of the launch of cluster initiatives by year, the number of participants (legal entities), phases of development, types of state support, the number of employees, their specialization and by territory was performed. The classification of clusters by the number of their employees is proposed. According to the analysis, the development of cluster initiatives is dynamically developing both by year and by various industries and territories of the Russian Federation. The obtained various distributions of cluster initiatives in dynamics by participants of cluster initiatives, their development phases, the number of people employed in them, types of state support, their main specialization and distribution across the subjects of the Russian Federation and their analysis are the scientific novelty of this study.

Keywords: innovation development strategy, Russian cluster observatory, cluster initiatives, Strategy for the development of innovation and production clusters, industrial clusters, innovation clusters.

For citation: Moskovkin V.M., Divinari A., Gorbunova E.I. 2020. Quantitative analysis of cluster initiatives in Russian regions. *Economics. Information technologies*. 47 (3): 459–472 (in Russian). DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-3-459-472.

Введение

В настоящее время актуальной задачей современной экономики становится стремительное развитие кластеров в регионах Российской Федерации. Портер М. сформулировал два определения понятия «кластер»:

1) clusters are geographic concentrations of interconnected companies, specialized suppliers, service providers, firms in related industries and associated institutions (for example, universities, standards agencies, and trade associations) in particular fields that compete but also cooperate;

2) a cluster is a geographically proximate group of interconnected companies and associated institutions in a particular field, linked by commonalities and complementarities.

Ямилов Р.М. составил точный перевод, показанных выше понятий:

1) кластер – это географическая концентрация конкурирующих и сотрудничающих взаимосвязанных компаний, специализированных поставщиков, поставщиков услуг, фирм в соответствующих отраслях, и связанных с ними институтов в определенных областях (например, университетов, агентов по стандартизации, торговых ассоциаций));

2) кластер – это группа географически близких взаимосвязанных компаний и связанных с ними институтов в определенной сфере на основе общности и взаимозаменяемости [Ямилов, 2015].

Широкое распространение в мире идей Портера М. и создание на этой основе кластерных образований только со всем недавно было принято во внимание российским правительством, хотя советские территориально-производственные комплексы Н.Н. Колосовского, как показано в работе [Голиков, Московкин и др., 2006], являются теми же кластерами Портера, только сформированными на плановой основе. Они и позволили провести в короткий срок грандиозную индустриализацию страны.

Согласно Федеральному закону от 31 декабря 2014 года №488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации» промышленный кластер представляет собой совокупность субъектов деятельности в сфере промышленности, которые связаны взаимоотношениями в данной сфере в результате территориальной близости и функциональной зависимости и расположенных на территории одного субъекта России или на территориях нескольких субъектов [Закон Российской Федерации «О промышленной политике...», 2014].

В постановлении Правительства РФ от 31 июля 2015 года № 779 (ред. от 02.08.2018) «О промышленных кластерах и специализированных организациях промышленных кластеров» приняты требования к промышленным кластерам и специализированным организациям промышленных кластеров, согласно которым:

1. Участники промышленного кластера обязаны заключить со специализированной организацией промышленного кластера соглашение о принятии участия в деятельности промышленного кластера.

2. Объединения, которые являются правообладателями объектов инфраструктуры промышленного кластера, не являющиеся участниками промышленного кластера, обязаны заключить со специализированной организацией промышленного кластера соглашение о принятии участия в деятельности промышленного кластера.

3. Создание совокупности субъектов деятельности в области промышленности, которые связаны отношениями в данной области в результате территориальной близости и функциональной зависимости и размещенных на территории одного субъекта России или территориях нескольких субъектов, производящих промышленные товары и др.

Правила подтверждения соответствия промышленного кластера и специализированной организации промышленного кластера содержат:

1. Оплату со специализированной организации за подтверждение соответствия требованиям, в том числе за выдачу выписки из реестра или повторное прохождение подтверждения на соответствие требованиям, по истечении пятилетнего срока после внесения в реестр не взимается.

2. Специализированное объединение имеет право повторно, но не более трех раз в текущем календарном году предоставить документы в Министерство промышленности и торговли РФ после устранения причин, из-за которых Министерством было принято решение о несоответствии промышленного кластера и специализированной организации требованиям.

3. Решение о соответствии промышленного кластера и специализированной организации требованиям выдается Министерством промышленности и торговли Российской Федерации сроком на пять лет и т. д. [Правительство РФ «О промышленных кластерах...», 2015].

В 2016 году Министерство экономического развития Российской Федерации внедрило приоритетный проект «Развитие инновационных кластеров – лидеров инвестиционной привлекательности мирового уровня». Его главные цели – организация мест опережающего роста экономической сферы, инновационное развитие, экспорт высокотехнологических товаров и коммерциализация технологий, увеличение производительности труда и создание высокопроизводительных рабочих мест, рост конкурентоспособности России. Новая инициатива учитывает опыт программы поддержки пилотных инновационных кластеров, при этом производится акцент на ряде приоритетных направлений:

1) создание системы управления кластеров, основывающейся на современном опыте и значительном качестве ресурсов человека, в частности, обучение региональных распоряжений управления развитием кластеров-лидеров;

2) помощь в доступе к имеющимся видам поддержки развития некоторых территорий, включая бюджетные инструменты и институты развития, использование статусов особенной экономической территории и территории опережающего социально-экономического развития;

3) помощь во встраивании территорий в программы развития поставщиков больших компаний с государственным участием;

4) помощь выхода на внешние рынки, включая стимулирование экспорта, привлечение инвестиционных вложений, поддержка кооперации с заграничными партнерами [Инновационные кластеры..., 2020].

Отметим, что создание инновационных кластеров было запланировано в Стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 года, опубликованной в конце 2011 года. В частности, в ней к 2016 году предлагалось образование полноценных инновационных высокотехнологичных кластеров в областях – инновационных лидерах (30 функционирующих более двух лет центров кластерного развития) [Правительство РФ «О Стратегии инновационного...», 2011].

Как можно заметить, в определении промышленного кластера от портеровского определения кластера осталась только первая часть, а институциональная часть его определения проигнорирована, а в Стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 года, в которой идет речь о создании инновационных кластеров, и в проекте Минэкономразвития РФ 2016 года по развитию инновационных кластеров она, очевидно, присутствует.

Стратегия инновационного развития РФ на период до 2020 года призвана ответить на стоящие перед страной вызовы и угрозы в области развития инноваций, поставить цели, приоритеты и инструменты государственной инновационной политики. Вместе с тем Стратегия определяет долговременные цели развития субъектам инновационной деятельности, а также цели и инструменты финансирования сектора фундаментальной и прикладной науки и помощи в коммерциализации разработок. Кроме того, Стратегия опирается на результаты всесторонней оценки инновационного потенциала и долгосрочного научно-технологического прогноза. Положения Стратегии должны учитываться при

разработке концепций и программ социально-экономического развития страны. В Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года предусматривается формирование сети территориально-производственных кластеров, которые реализуют конкурентные возможности территорий, а также создание инновационных высокотехнологичных кластеров [Правительство РФ «О Стратегии инновационного...», 2011].

Сразу после публикации в 2011 году Стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 года была создана на базе НИУ «ВШЭ» Российская кластерная обсерватория с целью мониторинга кластерного развития регионов России. В ней уже накоплен достаточно большой статистический материал, но до сих пор он не подвергся аналитической обработке. Цель статьи и состояла в такой статистико-аналитической обработке. Полученные впервые различные распределения кластерных инициатив в динамике по участникам кластерных образований, фазам их развития, численности занятых в них, видам государственной поддержки, их главной специализации и распределению по субъектам РФ и проделанный их анализ и являются научной новизной данного исследования.

Материалы и методы исследования

На основе Российской кластерной обсерватории собраны все имеющиеся данные по кластерным инициативам, в количестве 118, на уровень 29.01.2020 г., которые распределены по годам, численности участников (юридических лиц), фазам развития, видам государственной поддержки, численности работников, их специализации и по территориальному признаку, а где, возможно, и классифицированы.

Основные результаты исследования

Мониторингом формирования сети региональных российских кластеров, начиная с 2012 года, как мы отмечали ранее, занимается Российская кластерная обсерватория при НИУ «ВШЭ», которая была создана по аналогии с Европейской кластерной обсерваторией.

Российская кластерная обсерватория предлагает обширный спектр услуг органам государственной власти и местного самоуправления, частным и некоммерческим предприятиям в сфере региональной кластерной политики, создания концепций и программ формирования кластеров, методической помощи созданным кластерам, оказания специализированных образовательных услуг. Специалисты обсерватории активно участвуют в публичных мероприятиях по актуальным вопросам кластерной политики и инновационного развития, а также они систематически выпускают результаты своих исследований в научных статьях и докладах.

Она проводит мониторинг через национальные порталы о кластерах и кластерной политике. Этой обсерваторией созданы:

- 1) библиотека нормативной правовой информации, методических материалов, научных публикаций и новостей о кластерах в стране и мире;
- 2) регулярный информационно-аналитический дайджест «Территориальные кластеры»: события, интервью, анонсы мероприятий, мониторинг технологических трендов;
- 3) площадка для дистанционного голосования экспертов по отбору кластеров и поддерживаемых мероприятий [Услуги Российской кластерной обсерватории].

На основе данных этой обсерватории по состоянию на 29.01.2020 г. построено распределение запуска кластерных инициатив по годам (табл. 1).

Данные табл. 1 для наглядности представлены в графическом виде (рис. 1). Из этих данных прослеживается два пика в запуске кластерных инициатив, приходящихся на 2012 и 2014 годы, и быстрый их спад, начиная с 2015 года.

Скачкообразный рост числа кластерных инициатив с 2012 года связан с запуском карты кластерных инициатив в рамках созданной в этом году Российской кластерной обсерватории при НИУ «ВШЭ», а их спад в 2016 году, возможно, связан с усилением роли саморегулируемых общественных организаций в некоторых отраслях с одновременным снижением степени участия государства в стимулировании развития отраслей.

Таблица 1

Table 1

Распределение запуска кластерных инициатив по годам по состоянию на 29.01.2020 года
Distribution of cluster initiative launches by year as of 29.01.2020

№ п/п	Годы	Количество кластеров
1.	1999	1
2.	2008	1
3.	2009	4
4.	2010	7
5.	2011	4
6.	2012	21
7.	2013	12
8.	2014	27
9.	2015	25
10.	2016	10
11.	2017	4
12.	2018	2
Итого		118

Источник: составлено авторами по материалам [Карта кластерных инициатив..., 2020].

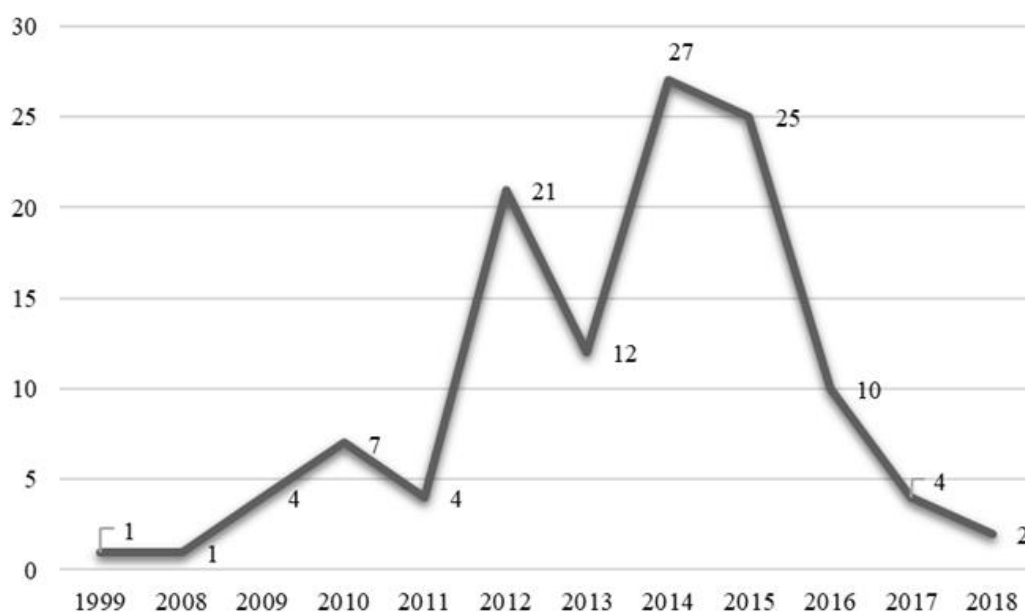


Рис. 1. Динамика запуска кластерных инициатив согласно данным таблицы 1

Fig. 1. Dynamics of cluster initiatives launch according to table 1 data

Источник: составлено авторами на основе табл. 1

На основе данных Российской кластерной обсерватории была составлена классификация кластерных инициатив по количеству участников. Они были разделены на три группы: от 0 до 50, от 50 до 100, более 100. Распределение кластерных инициатив по количеству участников (юридических лиц) в них по состоянию на 29.01.2020 года приведено в табл. 2.

Как видно из табл. 2, преобладают кластеры с небольшим количеством участников. В качестве участников кластерных инициатив могут рассматриваться поставщики сельскохозяйственной продукции (дикоросов), областные организации пищевой индустрии, федеральные, региональные розничные сети, учебные научные заведения, научные

объединения, созданные при поддержке администрации области в некоммерческое партнерство с целью организации инновационных продуктов [Меньшова, Ванюшина, 2019]. Для успешного функционирования кластера его ключевые участники, согласно кластерной идеологии Майка Портера, должны находиться в географической близости друг к другу, иметь возможности для активного взаимодействия, быть разнообразными и т. д. [Киселев, 2019].

Таблица 2

Table 2

Распределение кластерных инициатив по количеству участников (юридических лиц) по состоянию на 29.01.2020 года

Distribution of cluster initiatives by the number of participants (legal entities) as of 29.01.2020

№ п/п	Диапазон изменения количества участников в кластере	Количество кластерных инициатив
1.	0-50	97
2.	50-100	16
3.	Более 100	5
Итого		118

Источник: составлено авторами на основе [Карта кластерных инициатив..., 2020].

Распределение кластерных инициатив в соответствии с фазой их развития по данным Российской кластерной обсерватории на уровень 29.01.2020 года приведено в табл. 3.

Таблица 3

Table 3

Распределение кластерных инициатив кластеров в соответствии с фазой их развития по состоянию на 29.01.2020 года

Distribution of cluster initiatives in accordance with their development phase as of 29.01.2020

№ п/п	Фаза развития кластерных инициатив	Количество кластерных инициатив
1.	Начальный	87
2.	Средний	22
3.	Высокий	9
Итого		118

Источник: составлено авторами на основе [Карта кластерных инициатив..., 2020].

Пространственно-временной аспект кластерного развития, естественно, приводит к тому, что развитие кластеров будет находиться в разной фазе развития: начальной, средней, высокой. Создание и развитие кластеров – это результативный механизм привлечения прямых зарубежных инвестиций, активизации внешнеэкономической интеграции, модернизации отечественной технологической базы, роста скорости и качества роста экономики за счет увеличения международной конкурентоспособности организаций, которые входят в состав кластера [Павлов, Кайль, 2019].

На основании представленных данных видно, что около 74 % кластеров находятся на начальной фазе развития. В данной фазе возникают первые компании, располагающиеся рядом с вузами и НИИ, поддерживая близкие отношения, и часто используя одну инфраструктуру [Факторная модель..., 2020]. Около 19 % кластеров находятся в средней фазе развития, что характеризуется средним инновационным потенциалом. В высокой фазе развития функционируют кластеры Северо-Западного и Центрального Федеральных округов, которые с 2000 г. входят во вторичную стадию модернизации и являются примером фазы ее начала и роста [Мартышкин, 2017]. Такие кластеры составляют 7,6 %.

Распределение кластерных инициатив в соответствии с видом их государственной поддержки на уровень 29.01.2020 года приведено в табл. 4.

Таблица 4

Table 4

Распределение кластерных инициатив в соответствии с видом государственной поддержки по состоянию на 29.01.2020 года

Distribution of cluster initiatives according to the type of state support as of 29.01.2020

№ п/п	Вид государственной поддержки	Количество кластерных инициатив
1.	Поддерживается центром кластерного развития в рамках программы Минэкономразвития России по поддержке малого и среднего предпринимательства	65
2.	Включен в перечень пилотных инновационных кластеров	29
3.	Включен в перечень промышленных кластеров, утверждаемый Минпромторг России	9
4.	Не имеет статуса	28
Итого		131

Примечание: 14 кластеров имеют два вида государственной поддержки.

Источник: составлено авторами на основе [Карта кластерных инициатив..., 2020].

Статус или вид государственной поддержки кластера присваивается определенной территории, обладающей набором успешно функционирующих предприятий, научных организаций и объектов обслуживающей инфраструктуры [Панкратов, 2017]. Существует три вида государственной поддержки кластеров: поддерживается центром кластерного развития в рамках программы Минэкономразвития России по поддержке малого и среднего предпринимательства, включен в перечень пилотных инновационных кластеров, включен в перечень промышленных кластеров, утверждаемый Минпромторгом России.

В рамках программы Минэкономразвития России образовывается сеть инфраструктуры помощи малому и среднему предпринимательству в областях, включающая в себя: фонды поддержки кредитования, микрокредитные предприятия, центры поддержки предпринимательства, центры инноваций социальной сферы, центры кластерного развития, региональные центры инжиниринга, центры прототипирования, центры сертификации, стандартизации и испытаний, центры поддержки экспорта и т. д. [Федеральная программа..., 2020].

К данной категории относится наибольшее число кластеров – 65.

Инновационный кластер включает в себя всю цепочку инноваций от генерации научных знаний и создания на их базе бизнес-идей до производства товарной продукции на традиционных или новых рынках сбыта. Центры генерации инноваций характерны каждому кластеру, и поэтому в каждом кластере есть определенный уровень инновационности [Черникова, 2016]. К такой категории относится 29 кластеров.

Наименьшее количество кластеров относится к третьей категории – 9. Промышленный кластер – совокупность субъектов деятельности в области промышленности, связанных отношениями в данной сфере вследствие территориальной близости и функциональной зависимости, а также размещенных на территории одного субъекта России или на территориях нескольких субъектов России [Промышленные кластеры России – 2016].

Ниже приведен перечень ключевых требований Минпромторга РФ к промышленным кластерам:

1. Более половины участников кластера входят в состав органов управления специализированного объединения кластера, заключившего соглашение с субъектом РФ о создании кластера.

2. Территория одного или нескольких субъектов России.

3. Более десяти промышленных организаций, осуществляющих конечное производство.

4. Формирование и развитие кластера осуществляются с учетом схем пространственного развития страны и схем планирования территорий.

5. Более 20 % промышленных товаров, выпускаемых любым участником кластера, используется другими участниками (за исключением производителей конечной продукции кластера).

6. Производительность труда в кластере – выше средней по субъекту России.

7. Более 50 % всех рабочих мест в кластере – высокопроизводительные.

8. В состав инфраструктуры входят более одного учреждения высшего профессионального образования или среднего профессионального образования и более двух объектов технологической инфраструктуры [Промышленные кластеры России – 2016].

Авторами предложена классификация кластеров по численности работников на основе данных Российской кластерной обсерватории. В данной классификации выделено 6 диапазонов изменения численности работников: менее 10 000 человек, от 10 000 человек до 20 000 человек, от 20 000 человек до 30 000 человек, от 30 000 человек до 40 000 человек, от 40 000 человек до 50 000 человек и более 50 000 человек.

Распределение кластерных инициатив по численности работников на уровень 29.01.2020 года приведено в табл. 5.

Для большей наглядности на основе табл. 5 построен график изменения числа кластеров в зависимости от диапазона изменения численности работников (рис. 2).

Таблица 5

Table 5

Распределение кластерных инициатив по численности работников по состоянию на 29.01.2020 года

Distribution of cluster initiatives by number of employees as of 29.01.2020

№ п/п	Изменения численности работников	Количество кластерных инициатив
1.	Менее 10 000	77
2.	10 000 – 20 000	10
3.	20 000 – 30 000	17
4.	30 000 – 40 000	6
5.	40 000 – 50 000	5
6.	Более 50 000	3
Итого		118

Источник: составлено авторами на основе [Карта кластерных инициатив..., 2020].

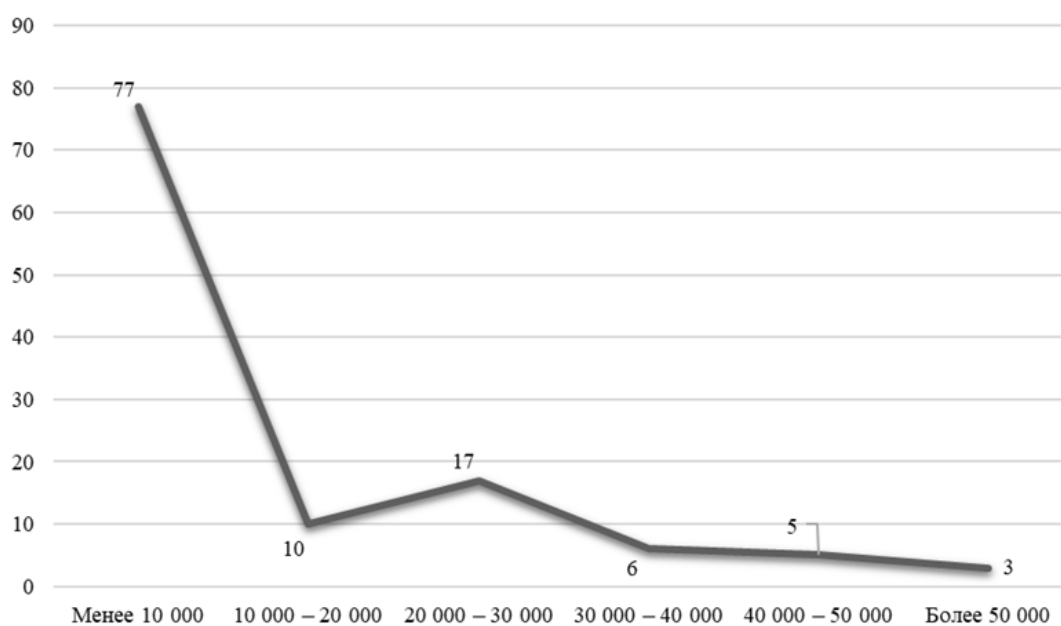


Рис. 2. График изменения числа кластеров в зависимости от диапазона изменения численности работников

Fig. 2. Graph of changes in the number of clusters depending on the range of changes in the number of employees

Источник: составлено авторами на основе [Карта кластерных инициатив..., 2020].

На данной диаграмме прослеживается тенденция к уменьшению числа кластеров с увеличением численности работников. Численность работников зависит от множества факторов: вид деятельности кластера, специфики его деятельности, фаза развития и т. д.

Распределение кластерных инициатив по их специализации приведено в табл. 6.

Таблица 6

Table 6

Распределение кластерных инициатив по их специализации по состоянию на 29.01.2020 года
Distribution of cluster initiatives by their specialization as of 29.01.2020

№ п/п	Специализация	Количество кластерных инициатив
1.	Авиастроение	5
2.	Автомобилестроение и производство автокомпонентов	4
3.	Бизнес-услуги (финансы и страхование; консалтинг в области права, бухгалтерского учета, управления; реклама; охрана; аренда и лизинг; обслуживание помещений; операции с недвижимостью)	1
4.	Добыча сырой нефти и природного газа	1
5.	Защита окружающей среды и переработка отходов	4
6.	Информационно-коммуникативные технологии	11
7.	Космическая промышленность	2
8.	Лесоводство и деревообработка; целлюлозно-бумажное производство	6
9.	Медицинская промышленность	7
10.	Металлургия, металлообработка и производство готовых металлических изделий	2
11.	Микроэлектроника и приборостроение	8
12.	Новые материалы	7
13.	Оборонная промышленность	4
14.	Оптика и фотоника	1
15.	Производство машин и оборудования (в т. ч. станков и спецтехники, подъемного и гидропневматического оборудования, роботов)	11
16.	Производство мебели	1
17.	Производство пищевых продуктов, напитков и табачных изделий	2
18.	Производство строительных материалов и иных изделий из стекла, бетона, цемента, гипса, глины, керамики и фарфора	1
19.	Производство текстильных изделий, одежды, обуви, изделий из кожи	1
20.	Производство электроэнергии и электрооборудования	2
21.	Производство ювелирных изделий	1
22.	Промышленные биотехнологии (производство продуктов на основе ферментов и микроорганизмов для последующего использования в химической отрасли, здравоохранения, производстве пищевых продуктов и кормов, моющих средств, бумаги и целлюлозы, текстильных изделий, а также в биоэнергетике)	3
23.	Сельское хозяйство и рыболовство	4
24.	Судостроение	2
25.	Туризм (индустрия развлечений и отдыха, искусство, спорт)	8
26.	Фармацевтика	9
27.	Химическое производство	4
28.	Ядерные и радиационные технологии	6
Итого		118

Источник: составлено авторами на основе [Карта кластерных инициатив..., 2020].

Специализация кластера в данном случае имеет в виду некую абстрактную совместную тематическую сферу, которая охватывает несколько областей. Например, общность технологий, рынков, процессов и т. д., которые обеспечивают связь со специализированными поставщиками, клиентами, инфраструктурой, квалифицированными рабочими [Сафиуллин,

Сарач, 2016]. В данном случае имеет место 28 специализаций. Наименьшее число кластеров (1) имеют следующие специализации: бизнес-услуги; добыча сырой нефти и природного газа; оптика и фотоника; производство мебели; производство строительных материалов и иных изделий из стекла, бетона, цемента, гипса, глины, керамики и фарфора; производство текстильных изделий, одежды, обуви, изделий из кожи; производство ювелирных изделий. В связи с активно развивающейся цифровой экономикой, а также машиностроительным производством в рамках программ импортозамещения наибольшее число кластеров (11) принадлежит специализациям, относящимся к информационно-коммуникативным технологиям и к производству машин и оборудования.

Распределение кластерных инициатив по территориальному признаку приведено в табл. 7.

Таблица 7

Table 7

Распределение кластерных инициатив по территориальному признаку по состоянию на 29.01.2020 года

Distribution of cluster initiatives by territory as of 29.01.2020

№ п/п	Наименование территории	Количество кластерных инициатив
1.	Астраханская область, Белгородская область, Брянская область, Костромская область, Краснодарский край, Красноярский край, Курганская область, Ленинградская область, Нижегородская область, Новосибирская область, Республика Башкортостан, Республика Бурятия, Республика Коми, Республика Марий Эл, Республика Мордовия, Свердловская область, Тюменская область, Удмуртская Республика, Хабаровский край, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Чувашская Республика – Чувашия	1
2.	Архангельская область, Волгоградская область, Иркутская область, Калужская область, Кемеровская область, Мурманская область, Республика Саха (Якутия), Тульская область, Ульяновская область	2
3.	Омская область, Орловская область, Пермский край, Рязанская область, Самарская область, Смоленская область, Томская область	3
4.	Московская область, Вологодская область, Липецкая область, Новгородская область, Пензенская область	4
5.	Алтайский край	5
6.	г. Москва, Воронежская область, Республика Татарстан	6
7.	Ростовская область	8
8.	г. Санкт-Петербург	10
Итого*		121

Примечание: 4 кластера находятся одновременно в нескольких субъектах РФ: Ассоциация «Инновационный территориальный электротехнический кластер Чувашской Республики» – Республика Марий Эл, Чувашская Республика – Чувашия; Кластер грузоподъемного (кранового) оборудования – Свердловская область, Челябинская область; Кластер фармацевтической, медицинской промышленности, радиационных технологий – Ленинградская область, Санкт-Петербург; ФармДолина – Краснодарский край, Московская область, Москва.

Источник: составлено авторами на основе [Карта кластерных инициатив..., 2020].

На основании приведенных данных наименьшее количество кластеров наблюдается на 21 территории (табл. 7), а наибольшее (10 кластеров) – в г. Санкт-Петербурге. Ситуация в Санкт-Петербурге очевидно связана с утверждением Распоряжения Правительства Санкт-Петербурга «О программах развития территориальных кластеров Санкт-Петербурга на 2019–2021 годы» от 21 мая 2019 года № 13-рп, в котором предусматривается:

1. Развитие инновационной, технической и технологической инфраструктуры Санкт-Петербурга, увеличение доли нематериальных активов компаний кластера, в том числе для увеличения экспорта продукции, производимой в Санкт-Петербурге.

2. Увеличение объема и номенклатуры производства продукции для обеспечения Санкт-Петербурга и развитие экспорта готовых форм лекарственных препаратов и фармацевтических субстанций, изделий медицинского назначения, производимых компаниями кластера.

3. Внедрение современных цифровых платформ и лучших регуляторных практик в организациях и на предприятиях, входящих в кластер.

4. Развитие собственных исследований и разработок.

5. Развитие системы подготовки и повышения квалификации научных, инженерно-технических и управленческих кадров, в том числе за счет создания консорциумов с технологическими партнерами [О программах развития..., 2020].

В г. Москве существует 6 кластеров, 3 из которых специализируются на медицинской промышленности и фармацевтике, 1 – на микроэлектронике и приборостроении, 2 – на новых материалах. Согласно Стратегии развития инновационно-производственных кластеров г. Москвы, утвержденной руководителем департамента науки, промышленной политики предпринимательства города Москвы Бочаровым О.Е. в 2015 году, реализация кластерной политики является приоритетом как на федеральном, так и на московском уровне. В Плане обеспечения устойчивого развития экономики и социальной стабильности г. Москвы в 2015 году, утвержденном постановлением Правительства Москвы от 10 февраля 2015 года № 40-ПП, в качестве одного из ключевых мероприятий обозначена государственная поддержка создания и стимулирования промышленных и сервисных кластеров. Стратегия развития инновационно-производственных кластеров города Москвы разработана в целях выработки стратегических приоритетов развития кластерной политики в городе Москве, формирование системы мер государственной поддержки московских кластеров и их участников – предприятий малого и среднего бизнеса. Стратегия определяет приоритеты, цели, задачи и перечень основных мероприятий по развитию существующих в Москве инновационно-производственных кластеров и кластерных инициатив [Стратегия развития..., 2020].

В Белгородской области 25 января 2010 года утверждена Стратегия социально-экономического развития на период до 2025 года, в которой говорится о том, что создание целей социально-экономического развития на долгосрочную перспективу требует четкого определения ценностных ориентиров общества, которые обеспечивают переход к инновационной экономике и стабильной социальной политике. Руководством России определены главные цели стратегического развития: достижение качественного изменения жизни населения, экономики и социальной сферы. Для этого необходимо повышение валового внутреннего продукта, увеличение диверсификации и придание экономике страны инновационного характера, рост производительности труда, укрепление обороноспособности и экономической безопасности Российской Федерации [Об утверждении Стратегии..., 2011]. На этот момент в регионе осуществляется один кластер «Кластер биофармацевтики». Создание данного кластера, который объединяет хозяйствующие субъекты области, специализирующиеся в сфере фармацевтики и биотехнологий:

– объединение усилий органов исполнительной власти региона, органов местного самоуправления и объединений предпринимателей области с целью формирования крупнейшего в Центрально-черноземном регионе Российской Федерации кластера компаний фармацевтической и биотехнологической промышленности;

– рост конкурентоспособности участников кластера за счет создания новых технологий, понижение издержек и увеличение эффективности соответствующих наукоемких услуг за счет эффекта синергии и унификации подходов в логистике, инжиниринге, информационных технологиях, менеджменте качества и др.;

– создание условий для эффективного организационного развития кластера, которые обеспечивают устранение «узких мест» и ограничений, подрывающих

конкурентоспособность услуг, а также обеспечивающего наращивание конкурентных преимуществ участников кластера;

– создание в рамках кластера ряда опорных проектов, таких как: строительство завода по производству субстанций и готовых лекарственных средств по стандарту GMP, строительство завода производства кормов для ценных пород рыб, организация производства гранулированных удобрений на основе биогумуса и создание центра клеточных технологий;

– повышение части участников кластера биофармацевтики на региональном и федеральном рынке.

Приоритетными направлениями кластера являются:

1. Организационное развитие кластера и усиление кооперационных связей между участниками.

2. Развитие инновационного потенциала и сектора исследований и разработок.

3. Развитие производственного потенциала и расширение рыночной доли продукции и услуг участников кластера.

4. Развитие кадрового потенциала.

5. Формирование общего бренда и повышение узнаваемости кластера.

6. Развитие связей с органами власти [Кластер Биофармацевтики..., 2020].

В настоящее время развитие этого кластера будет проходить в рамках НОЦ «Инновационные решения в АПК», которые в количестве пятнадцати будут созданы в РФ согласно Указу Президента РФ от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

Заключение

Подводя итог, следует отметить, что запуск кластерных инициатив направлен на развитие не только отдельных отраслей промышленности, но и всей экономики в целом. В ходе проведенного анализа выявлено, что развитие кластерных инициатив на протяжении 1999–2018 годов имеет скачкообразное развитие. Наибольший пик приходился на 2014 год. Наиболее востребованными оказались кластеры в сферах информационно-коммуникативных технологий, микроэлектроники и приборостроения, производства машин и оборудования, туризма, фармацевтики. В г. Санкт-Петербурге наблюдается наибольшее количество кластерных инициатив, так как именно на данной территории активно развивается программа развития территориальных кластеров Санкт-Петербурга на 2019–2021 годы.

Список литературы

1. Голиков А.П., Московкин В.М., Казакова Н.А., Подлепина П.А. 2006. Производственно-территориальные комплексы и энерго-производственные циклы Н.Н. Колосовского в контексте современных представлений о производственных системах и их использовании. Вестник Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина, 719: 60–64.

2. Карта кластерных инициатив России. URL: <https://map.cluster.hse.ru/list/> (дата обращения: 22 марта 2020).

3. Киселев Д.Н. 2019. Система координации и поддержки развития кластерно-сетевых структур. ModernScience, 12–3: 56–54.

4. Кластер Биофармацевтики. URL: <https://map.cluster.hse.ru/cluster/144> (дата обращения: 22 марта 2020).

5. Мартышкин А.С. 2017. Сравнительный анализ инновационного развития регионов: теоретические основания. В кн.: Теоретико-методологические и практические проблемы интеграции, диверсификации и модернизации региональных промышленных комплексов. Материалы международной научно-практической конференции (Самара, 1 июля 2017 г.). Самара, АНО «Издательство СНЦ»: 120–125.

6. Меньшова И.С., Ванюшина О.И. 2019. Направления развития человеческого капитала как элемент функционирования сельских территорий. В кн. Будущее науки. Материалы 7-й международной молодежной научной конференции (Курск, 25-26 апреля 2019). Курск, Юго-Западный государственный университет: 239–242.

7. Павлов И.А., Кайль О.Н. 2019. Методический подход к обследованию региональных кластеров, основанных на знаниях. Вопросы благополучия: экономик и социум, 1 (32): 51–71.
8. Панкратов А.А. 2017. Особенности российского опыта кластерной политики. В кн. Векслинские чтения. Материалы I всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Казань, 23–25 марта 2017). Казань, Издательство Казанского университета: 369–373.
9. Правительство Белгородской области «Стратегии социально-экономического развития Белгородской области на период до 2025 года» от 25 января 2010 г. № 27-пп изм. и допол. в ред. от 25.03.2019. URL: <http://docs.cntd.ru/document/428596289/> (дата обращения: 22 марта 2020).
10. Правительство РФ «О промышленных кластерах и специализированных организациях промышленных кластеров» от 31 июля 2015 г. № 779. URL: <https://base.garant.ru/71150302/> (дата обращения: 28 апреля 2020).
11. Правительство РФ «О Стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 года» от 08 декабря 2011 г. № 2227-р. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70006124/> (дата обращения: 22 марта 2020).
12. Правительство Санкт-Петербурга «О программах развития территориальных кластеров Санкт-Петербурга на 2019–2021 годы» от 21 мая 2019 г. № 13-пп. URL: <http://rdocs3.cntd.ru/document/554610263/> (дата обращения: 22 марта 2020).
13. Промышленные кластеры России – 2016: отраслевой обзор. URL: <http://xn----dtbhaacat8bfloi8h.xn--p1ai/sites/default/files/obzor-clusters-2016.pdf> (дата обращения: 22 марта 2020).
14. Сафиуллин М.Р., Сарач Л.В. 2016. Методика оценки экономического горизонта промышленного кластера. Казанский экономический вестник, 5 (25): 38–44.
15. Закон Российской Федерации «О промышленной политике в Российской Федерации» от 31 декабря 2014 г. № 488-ФЗ URL: <https://base.garant.ru/70833138/> (дата обращения: 28 апреля 2020).
16. Стратегия развития инновационно-производственных кластеров города Москвы. URL: <http://map.cluster.hse.ru/file/1365> (дата обращения: 22 марта 2020).
17. Услуги Российской кластерной обсерватории. URL: <https://cluster.hse.ru/services> (дата обращения: 28 апреля 2020).
18. Факторная модель оценки конкурентоспособности инновационных кластеров электроники на основе анализа этапов их жизненного цикла. URL: <http://beintrend.ru/2012-10-03-15-18-50/> (дата обращения: 22 марта 2020).
19. Инновационные кластеры – лидеры инвестиционной привлекательности мирового уровня. URL: <https://cluster.hse.ru/leaders> (дата обращения: 28 апреля 2020).
20. Федеральная программа развития малого и среднего предпринимательства в 2020 году. URL: <https://stayadmitrov.ru/federalnaya-programma-razvitiya-malogo-i-srednego-predprinimatelstva-v-2020-godu/> (дата обращения: 22 марта 2020).
21. Черникова В.Е. 2016. Формирование инновационных территориальных кластеров как инструментов реализации стратегии социально-экономического развития России. Научно-методический электронный журнал «Концепт», S6: 94–99.
22. Ямилов Р.М. 2015. Кластерное управление экономическим субъектом. Современные научные исследования и инновации, 8-1 (52): 129–133.

References

1. Golikov A.P., Moskovkin V.M., Kazakova N.A., Podlepina P.A. 2006. Production-territorial complexes and energy-production cycles of N.N. Kolosovsky in the context of modern ideas about production systems and their use. In: Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv national University, 719: 60–64. (in Russian)
2. Map of clusters in Russia. Available at: <https://map.cluster.hse.ru/list>.
3. Kiselev D.N. 2019. A system for coordinating and supporting the development of cluster-network structures. In: Modern Science, № 12–3: 56–54. (in Russian)
4. The Cluster of Biopharmaceuticals. Available at: <https://map.cluster.hse.ru/cluster/144>.
5. Martyshkin A.S. 2017. Comparative analysis of innovative development of regions: theoretical foundations. In: Theoretical, methodological and practical problems of integration, diversification and modernization of regional industrial complexes. Materials of the international scientific and practical conference (Samara, 1 July, 2017). Samara, ANO "SNC publishing House": 120–125. (in Russian)
6. Menshova I.S., Vanyushina O.I. 2019. The direction of the development of human capital as an element of functioning of rural territories. In: Future of science. Materials of the 7th international youth scientific conference (Kursk, 25–26 April, 2019). Kursk, South-Western state University: 239–242. (in Russian)

7. Pavlov I.A., Kayl O.N. 2019. Methodological approach to the survey of regional clusters based on knowledge. In: Welfare issues: economy and society, 1 (32): 51–71. (in Russian)
8. Pankratov A.A. 2017. Features of the Russian experience of cluster policy. In: Vexlin readings. Materials of the first all-Russian scientific and practical conference with international participation (Kazan, 23-25 March, 2017). Kazan, Kazan University Press: 369–373. (in Russian)
9. Government of the Belgorod region "Strategies of socio-economic development of the Belgorod region for the period up to 2025" dated January 25, 2010 № 27-PP ed. and add. in ed. from 25.03.2019. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/428596289>
10. Government of the Russian Federation "On industrial clusters and specialized organizations of industrial clusters" dated July 31, 2015 No. 779. Available at: <https://base.garant.ru/71150302/>.
11. Government of the Russian Federation "On the strategy of innovative development of the Russian Federation for the period up to 2020" dated December 08, 2011 № 2227-R. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70006124>.
12. Government of Saint Petersburg "On programs for the development of territorial clusters of Saint Petersburg for 2019-2021" dated May 21, 2019 No. 13-RP. URL: Available at: <http://rdocs3.cntd.ru/document/554610263>.
13. Industrial clusters of Russia-2016: industry overview. Available at: <http://xn----dtbhaacat8bfloi8h.xn--p1ai/sites/default/files/obzor-clusters-2016.pdf>.
14. Safiullin M.R., Sarach L.V. 2016. Methodology for assessing the economic horizon of an industrial cluster. In: Kazan economic Bulletin, 5 (25): 38–44. (in Russian)
15. Law of the Russian Federation "On industrial policy in the Russian Federation" of December 31, 2014 No. 488-FZ. Available at: <https://base.garant.ru/70833138>.
16. Strategy for the development of innovation and production clusters in Moscow. Available at: <http://map.cluster.hse.ru/file/1365>.
17. Services of the Russian cluster Observatory. Available at: <https://cluster.hse.ru/services>.
18. Factor model for assessing the competitiveness of innovative clusters of electronics based on the analysis of their life cycle stages. Available at: <http://beintrend.ru/2012-10-03-15-18-50/>.
19. Innovation clusters are the leaders of the investment attractiveness of the world level. Available at: <https://cluster.hse.ru/leaders>.
20. Federal program for the development of small and medium-sized businesses in 2020. Available at: <https://stayadmitrov.ru/federalnaya-programma-razvitiya-malogo-i-srednego-predprinimatelstva-v-2020-godu/>.
21. Chernikova V.E. 2016. Formation of innovative territorial clusters as tools for implementing the strategy of socio-economic development of Russia. In: Scientific and methodological electronic journal "Concept", S6: 94–99. (in Russian)
22. Yamilov R.M. 2015. Cluster management of an economic entity. In: Modern scientific research and innovation, 8-1 (52): 129–133 (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Московкин Владимир Михайлович, доктор географических наук, профессор кафедры мировой экономики, директор Центра развития публикационной активности Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

Дивинари Алэн, аспирант кафедры прикладной экономики и экономической безопасности Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

Горбунова Елена Игоревна, ассистент кафедры инновационной экономики и финансов Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir M. Moskovkin, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of World Economy, Director of the Center for Development of Publication Activity of Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Alen Divinari, Post-graduate Student of the Department of Applied Economics and Economic Security of Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

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

УДК 502.131

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-473-482

Методологические аспекты формирования экологической политики в условиях городской среды

Л.Г. Селютина¹, Е.В. Песоцкая², А.Н. Черных²

¹) Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

²) Санкт-Петербургский государственный экономический университет
Россия, 191023, Санкт-Петербург, ул. Садовая, 21

E-mail: ya.slarisa@ya.ru, epes@mail.ru, andrey.chernykh9911@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются актуальные экологические составляющие современной градосистемы. Характеризуются особенности экологической политики, исследуются методологические основы ее формирования и реализации. Выделяются основные методологические принципы экологической политики, раскрывается их содержание и возможность использования в управленческом инструментарии экологической политики в условиях городской среды. Особое внимание уделяется исследованию проблемы развития сферы туризма в условиях экологизации экономики города. Раскрывается суть понятия «экологизация туристской деятельности», характеризуются направления ее реализации с выделением управленческого аспекта. Показана необходимость разработки планов и программ экологизации туризма на основе анализа взаимовлияния функционирования сферы туризма и состояния окружающей среды.

Ключевые слова: экологическая политика, методологические принципы, городское пространство, экологизация туристской деятельности.

Для цитирования: Селютина Л.Г., Песоцкая Е.В., Черных А.Н. 2020. Методологические аспекты формирования экологической политики в условиях городской среды. Экономика. Информатика. 47 (3): 473–482. DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-3-473-482.

Methodological aspects of environmental policy formation in the urban environment

L.G. Selyutina¹, E.V. Pesotskaya², A.N. Chernykh²

¹) Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky pr.,
St. Petersburg, 190031, Russia

²) St. Petersburg State University of Economics, 21 Sadovaya St, 191023, Saint-Petersburg, Russia
E-mail: ya.slarisa@ya.ru, epes@mail.ru, andrey.chernykh9911@mail.ru

Abstract

The article discusses the current environmental components of a modern urban system. The features of environmental policy are characterized; the methodological foundations of its formation and implementation are investigated. The main methodological principles of environmental policy are highlighted; their content and the possibility of using environmental policy in management tools in the urban environment are revealed. Particular attention is paid to the study of the development of tourism in the context of greening the city's economy. The essence of the concept of "ecologization of tourist activity" is revealed, the directions of its implementation are described with the emphasis on the managerial aspect. The necessity of developing plans and programs for tourism greening based on the analysis of the mutual influence of the functioning of the tourism sector and the state of the environment is shown.

Keywords: environmental policy, methodological principles, urban space, ecologization of tourist activities.

For citation: Selyutina L.G., Pesotskaya E.V., Chernykh A.N. 2020. Methodological aspects of environmental policy formation in the urban environment. Economics. Information technologies. 47 (3): 473–482 (in Russian). DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-3-473-482.

Введение

Первые два десятилетия XXI века ознаменовались необычным ростом городского населения, во много раз превышающим общий рост населения земного шара. При этом российская урбанизированная система характеризуется высокой долей городского населения – 74,7 % [Россия в цифрах, 2019]. Сегодня все большее значение для сохранения жизни людей и условий, необходимых для ее поддержания, приобретает комфортная городская среда, на что указывают многие зарубежные и отечественные исследователи [Bulgakova, 2018; Raven, 2020].

Вместе с тем экологические показатели состояния городских территорий оказывают существенное влияние на формирование и укрепление здоровья горожан, продолжительность их жизни и трудовой активности. Следовательно, здоровая и благоприятная для природы и человека городская среда обуславливает комфортность проживания людей, динамичное и сбалансированное социально-экономическое развитие города. Наряду с этим современный город с его социально-экономической и инженерно-технической инфраструктурой становится зоной проявления экологических проблем.

Устойчивое развитие городов при реализации градостроительной деятельности направлено на обеспечение градостроительными средствами благоприятных условий проживания населения, особенно на полноценную защиту окружающей среды от вредного влияния антропогенных факторов и разумное использование природно-ресурсного потенциала территории для целей удовлетворения потребностей ныне живущих и будущих поколений людей. [Титов, Ваганова, 2015; Maleeva, 2018]. Важно подчеркнуть, что поиск балансов при формировании городской среды в аспекте ее устойчивого и гармоничного развития осуществляется в системе градорегулирования с особым акцентом на экологические приоритеты, т. е. организацию среды с градоэкологической позиции.

Экология как современная наука в контексте государственного регулирования имеет реальное исполнение, фокусирующееся, прежде всего, в концепции и принципах регулирования природоохранной деятельности, что в частности проявляется в экологической политике. Однако следует отметить, что только лишь в последнее время во всех странах мира проявляется активный интерес к долгосрочным перспективам развития экологической политики со стороны органов государственного управления и местного самоуправления.

Актуальность экологической проблематики с учетом современных реалий, несомненно, нарастает. В контексте этого обстоятельства вполне обоснованно ориентироваться на экологическую политику, научно аргументированную и опирающуюся на современный методологический и методический инструментарий формирования и развития экосистемы. При этом также актуализируется задача по поиску управленческих инструментов, использование которых обеспечит эффективную реализацию экологической политики.

В связи с этим *целью* исследования, проведенного в данной статье, является определение сущности, особенностей, методологического базиса экологической политики в условиях городской среды и обоснование необходимости экологизации индустрии туризма как одного из определяющих факторов создания привлекательной и комфортной городской среды.

Основные результаты исследования

Исторически и содержательно термин «политика» основывается на древнегреческом понятии (др.-греч. *πολιτική* – город-государство), связанным с организацией совместной жизнедеятельности людей в обществе. Политика в традиционном понимании – искусство управления государством в целях обеспечения эффективного руководства и достижения общественного блага и стабильности, что тесно соотносится с главными трендами и принципами экополитики в современном мире.

Вопросы сущности экологической политики и ее роли в осуществлении управления природоохранной деятельности сегодня изучают многие российские и зарубежные исследователи [Kamp I., 2003; Васильев А.Н., 2007]. Авторы настоящей статьи рассматривают экологическую политику как систему представлений о целях, принципах, приоритетах природоохранной направленности, базирующихся на документах, регламентирующих

нормативный и правовой аспекты природосберегающей деятельности, и не входящих в противоречие с научно-техническими, социально-экономическими тенденциями мировой экономики, в рамках которых осуществляются взаимодействия человеческого общества и окружающей природной среды. Как иллюстрация приведенного высказывания ниже представлен рисунок.

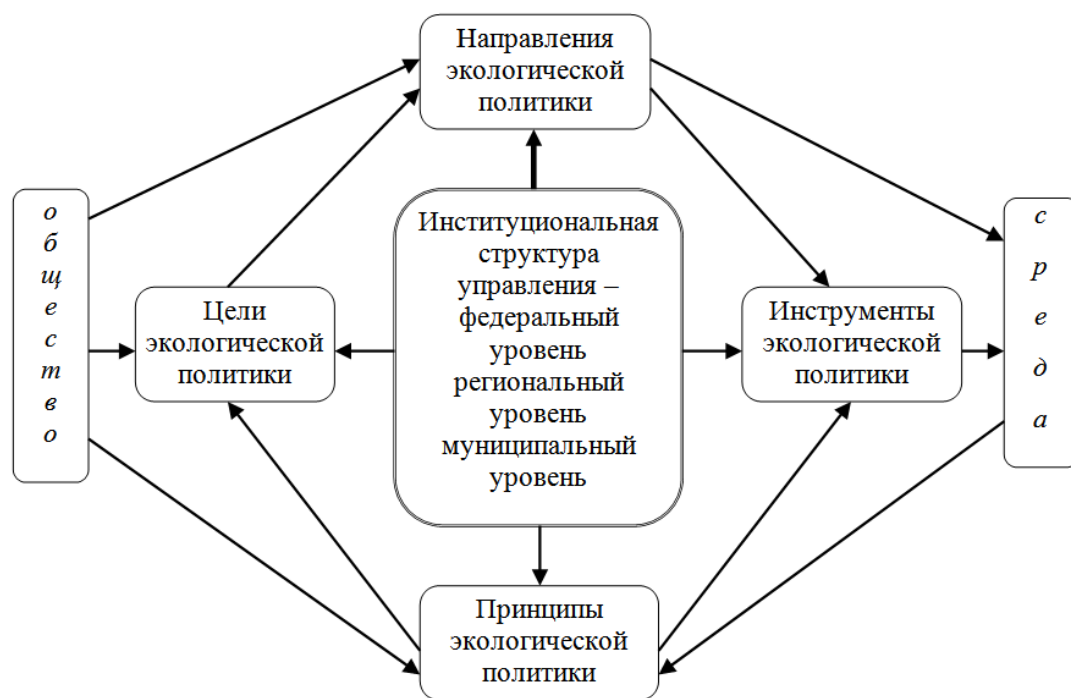


Рис. Теоретический аспект сущности экологической политики
Fig. Theoretical aspect of the essence of environmental policy

Следует особо подчеркнуть важность задачи большой сложности – выстраивание методологического и методического базиса экологической политики, позволяющей сформировать необходимые условия для обеспечения устойчивого развития экономики, усиления ее потенциала и повышения удовлетворенности населения качеством жизни.

Как считают некоторые эксперты и ученые, работающие в области экологической экономики, решение этой значимой задачи возможно с помощью важнейшего требования современности – экологизации бизнес-процессов [Бессонов, 2016; Egorova, 2017], предполагающей планомерное внедрение и конкретизацию экологических императивов в правовых нормах ведения бизнеса.

Анализ отечественных и зарубежных авторских подходов к понятию «экологизация» показывает, что значительная часть определений к его трактовке ориентируется на всю экономическую систему и охватывает действия в направлении активизации «зеленой» трансформации экономики, формирующей актуальную основу и эволюционную перспективу ее устойчивого развития. Однако, как представляется авторам статьи, целесообразно рассматривать экологический подход относительно конкретных элементов экономической сферы общественной жизни. В частности, туристская деятельность заслуживает особого внимания с позиции экологической безопасности городской среды.

Методологическую базу экологической политики формируют принципы, позволяющие учесть фундаментальные аспекты экологизации, а также специфику применения научных подходов в исследовании этого процесса. Анализ соответствующей современной литературы по проблеме исследования [Каранда, 2018; Frolova, 2019] позволяет сформулировать методологические принципы, при интегрированном использовании которых возможно формирование целостной и логически выверенной экологической политики в условиях городской среды.

Ключевым методологическим принципом является принцип *системности*, неразрывный с методологической предпосылкой формирования экологической политики – системным подходом, применение которого дает возможность рассмотрения объекта изучения как сложной, целостной системы с множеством взаимосвязанных и качественно разнообразных элементов. При этом системный подход в сочетании с интегративным видением экологической деятельности и с учетом административно-территориальных интересов может быть реализован по следующим направлениям, ориентированным на выявление, исследование и решение проблем экологии:

– в контексте необходимости перехода к устойчивому природосовместимому развитию современной градосистемы экополитика проявляется как совокупность намерений и принципов относительно экосистемы, выступающей в качестве системного объекта;

– исследование экологических составляющих градосистемы во взаимовлиянии и взаимосвязанности с социальными и экономическими компонентами, агрегированными в сложную социо-эколого-экономическую систему;

– учитывая важность преодоления современных экологических проблем, экополитика базируется на комплексности взаимосвязанных мероприятий, направленных на обеспечение экологических целей и задач, причем целесообразность и практическая значимость этих действий обусловлена непосредственно их системностью.

Вместе с тем экологическая политика характеризуется как исходный компонент иерархической организации экологического менеджмента, содержащей последовательно структурированные и системно связанные элементы (начиная с разработки политики и заканчивая оперативными решениями по ее реализации), которые в совокупности генерируют многоуровневые иерархии, адекватные переходу от наиболее общего к конкретному (частному).

Другим принципом, неразрывно связанным с принципом системности, является принцип *целеполагания*. Вопрос формулировки целей и задач экологической политики является объектом исследования в трудах многих зарубежных и отечественных ученых [Каранда, 2018; Raven, 2020]. Анализ изложенных в них точек зрения исследователей позволил вычлнить три группы целевых установок в области экологической политики:

– рациональное использование природного разнообразия и сохранение естественных экосистем;

– достижение гармонии между экологическим состоянием окружающей среды и реализацией результатов научно-технического и социально-экономического развития урбанизированных территорий;

– комплексная организация процесса целенаправленной экологизации секторов экономики и видов экономической деятельности, имеющая целью их выход на траекторию развития в условиях зеленой экономики.

Представленные группы следует рассматривать с позиции дальнейшей дифференциации целевых установок. При этом выполняется процедура, предопределенная методологической концепцией системного подхода – формирование внутри каждой группы блока подцелей, которые в последовательном порядке переходят в конкретные практические задачи.

Большое значение в формировании современной экологической политики имеет принцип *гармонизации интересов*. Реализация этого принципа направлена на принятие своевременных, правильных управленческих решений в области природопользования и экологии, не создающих экологических угроз и не вступающих в противостояние с интересами общества. Иногда принцип гармонизации в терминологическом контексте отождествляют с принципом баланса интересов. Помимо очевидного сходства этих терминов следует отметить и существующие отличия, связанные с конкретными задачами исследования. Обычно баланс интересов рассматривают не обособленно, а в единой связи с поставленными целями, реализация которых возможна на основе построения некоторой балансовой модели. С экологической позиции применение данного моделирования не представляется возможным ввиду многоаспектности экологической политики, а также наличия неопределенности в ходе

реализации экологических процессов и экологических последствий. В связи с этим в данном случае совершенно правомерно стремиться к согласованности целей и опираться именно на гармонизацию интересов, осуществляющуюся без четкого формализованного описания, в свою очередь, присущую модели балансовой технологии.

Не менее важным принципом современной экологической политики является *принцип инновационности* как основополагающий вектор, задающий направление развития исследуемой сферы. Его актуальный фон очень высок и обусловлен, прежде всего, разработанной и в настоящее время реализуемой государственной концепцией проектирования инновационных преобразований во всех сферах общественной жизни, в т. ч. в сфере экологии и охраны окружающей среды. Действие принципа инновационности распространяется в рамках процесса экологизации на все отрасли экономики хозяйственного комплекса, проявляется в использовании наилучших доступных технологий, снижающих техногенную нагрузку на окружающую среду и обуславливающих внедрение системы зеленой экономики.

В качестве другого принципа экологической политики следует выделить *принцип результативности*, внедрение которого означает, что при формировании и реализации экологической политики ее разработчики должны исходить из необходимости достижения заданных результатов, касающихся как экологической, так и социально-экономической ситуации в целом. При этом важным является наличие у результатов четко обозначенного контента, который может иметь количественную и качественную характеристику. При правильной оценке количественные параметры благодаря достаточной точности служат аналитическим базисом формирования достоверных динамических рядов, необходимых для оценки прогноза и реализации рациональных управленческих решений. В соответствии с этим следует максимизировать число показателей результатов, имеющих количественные характеристики.

Напротив, качественные параметры нужно минимизировать, т. к. они не поддаются строгому количественному измерению, обладают низкой точностью и их оценивают по итогам наблюдения за результатами, т. е. субъективно, на основе экспертных оценок. Поэтому у многих исследователей возникают сомнения в верности инструментальной базы (алгоритма и процедур оценки) метода экспертного оценивания.

Немаловажно отметить и тот факт, что качественные показатели являются опережающими индикаторами, которые, влияя на конечные результаты, как бы предупреждают о вероятных отклонениях количественных параметров, и если измерять качественные показатели, то с большей вероятностью можно достичь и требуемый количественный результат. Поэтому при формировании и оценке результатов экологической политики использование качественных показателей также неизбежно, однако, учитывая универсальность экспертного метода, следует сфокусироваться на совершенствовании его алгоритма и процедур поддержки принятия решения или выбора.

Необходимо обратить особое внимание на соблюдение принципа *организационного единства*. На современном этапе важную роль в реализации эколого-хозяйственных приоритетов играет гибкая, рационально сбалансированная организационная среда, базирующаяся на единых подходах и нормах, формирующаяся с учетом четкого распределения ответственности за несоблюдение экологических нормативов и требований. С учетом этого, экологическая политика должна ориентироваться на организационные условия, обеспечивающие менеджмент исполнения природоохранных мероприятий, целенаправленную практическую реализацию различного уровня программ экологической направленности, соответствующих планов оперативного, тактического и стратегического уровней. Организационная основа экологической политики в виде вышеперечисленных ее элементов соединяется с процессом выстраивания специальной регуляторной среды и инструментов с функцией поддержания заданных элементов в статусе однозначности, логичности и достаточности.

Следующий принцип, базирующийся на структурировании накопленных экологических знаний, их систематизации и обобщения, можно сформулировать как принцип

открытого обсуждения, устанавливающий следующее положение: обсуждение актуальных вопросов охраны окружающей среды, природопользования и экологической безопасности должно осуществляться с активным участием общественных организаций и граждан. Применение данного принципа предполагает использование сети Интернет и различных приложений мобильных социальных сетей. Существенный результат может дать организация и проведение публичных слушаний, общественных обсуждений природоохранных мероприятий, планов, программ и проектов.

К числу наиболее быстроразвивающихся рыночных сфер в городской среде относится современный туризм, развитие которого характеризуется возникновением проблем, связанных с процессом экологизации туризма, необходимостью актуализации в туристском секторе парадигмы экологизации социально-экономического пространства, что, безусловно, предусматривает применение адаптивного инструментария управления.

Важно подчеркнуть, что расширение сферы взаимодействия природы и человека объективно ведет к усилению роли экологически устойчивых системных процессов в обществе. В современной науке к таким процессам относится экологизация туристской деятельности, которая как научная категория в последние годы получила широкое распространение. Однако следует отметить, что использование данной категории не всегда сопровождается раскрытием и уточнением ее смысловой нагрузки, при этом существующие подходы к ее трактовке, в целом не имея принципиальных отличий, осуществляются с разных позиций [Черных, 2017; Камп, 2003]: рассматривают ее обобщенно или фрагментарно по отдельным составляющим процесса экологизации.

Учитывая результаты анализа точек зрения представителей зарубежной и отечественной научной школы по исследуемому вопросу под экологизацией туристской деятельности, на наш взгляд, следует понимать длительный инновационно-технологический процесс постепенного внедрения новых туристских практик с экологически чистыми и безопасными составляющими, способствующих устойчивому развитию туризма с минимальным негативным влиянием на экологию.

В этой связи к основным задачам экологической политики в сфере туризма, поддерживающей и способствующей повышению результативности экологизации экономики на национальном, региональном и местном уровнях можно отнести:

- мотивация граждан к здоровому образу жизни, что необходимо для развития личности и общества в целом;
- обеспечение сохранения целостности природных ресурсов и наращивания природно-ресурсного потенциала российских территориальных образований;
- активизация развития туристской индустрии, выступающей в качестве одного из наиболее динамично развивающихся и эффективных секторов экономической системы и являющейся катализатором экономического и социального развития территорий;
- предоставление потребителям в сфере туристских услуг туристской продукции с экологически чистыми составляющими, что имманентно присуще экотуризму;
- развитие важнейшей составляющей современной сферы туристской индустрии – системы охраны окружающей природной среды;
- создание условий для формирования эффективных управленческих решений в области проектирования и организации туристско-рекреационных территорий при помощи активного участия реальных пользователей территории – местных жителей и городских сообществ, и другие задачи.

Для решения данной группы задач требуется разработка и применение соответствующих правил и процедур выработки, принятия и корректировки оперативных, тактических и стратегических управленческих решений. Причем каждый из этих механизмов управления должен строиться с учетом сложности, многофакторности экологических проблем и ситуаций, и неприемлемости их решения посредством лишь общезначимых положений теории менеджмента. В этой связи представляется целесообразным при формировании экологической политики ориентировать универсальный управленческий инструментарий в

сторону применения экологического подхода с акцентом на его базовых принципах, предметно исследовав их с точки зрения поиска эффективных управленческих решений, учитывающих снижение экологического риска и экологического дефицита территории.

Анализируя сложившуюся практику решения тех или иных проблем экологизации экономики, важно отметить следующие направления современного процесса экологизации городской туристской деятельности:

- разработка и реализация стратегии и приоритетных направлений развития процесса экологизации туризма как составной части концепции экологически сбалансированного, устойчивого развития экономики;
- развитие инновационных процессов в туристской индустрии, на основе применения ресурсосберегающих технологий и инновационно-технических решений, сопровождаемое функционированием взаимосвязанных обслуживающих комплексов;
- формирование экологически ориентированной городской транспортной инфраструктуры, прежде всего за счет использования в туристском обслуживании экологически чистых («зеленых») транспортных средств;
- организация экологически безопасной системы обращения с бытовым и промышленным мусором, образующимся при функционировании турорганизаций;
- развитие системы менеджмента экологического качества экономики в контексте внедрения методологии (принципов и методов) управления качеством экологизации туристской деятельности;
- создание интеграционной системы организационного развития процесса экологизации хозяйственной сферы экономики градосистемы и индустрии туризма с широким охватом всех ее элементов: разработкой необходимых организационных схем, правил, норм и стандартов; идентификацией субъектных позиций в структурной схеме; организацией системы обучения экологической безопасности (экологии) с подготовкой организационно-управленческих кадров в сфере экологического туризма.

Реализация программ по экологической ориентации туризма и планов экологизации туристской деятельности обеспечивается действием множества факторов и условий, среди которых особое место занимает объективно существующая взаимообусловленность процесса развития индустрии туризма и состояния природной среды в любом территориальном структурном компоненте.

Для получения адекватной оценки степени и характера такого взаимодействия целесообразно предложить следующий алгоритм, состоящий из последовательных этапов.

На начальном этапе построения алгоритма составляется перечень индикаторов для оценки уровня развития процесса экологизации. Система таких данных в большинстве случаев включает количественные характеристики существующей ситуации:

- количество организаций туристского профиля, работающих в рамках нормативно-правовых условий экологического туризма;
- число потребителей услуг эколого-туристских организаций;
- величина финансовых средств, направляемых на экологизацию туристского бизнеса;
- размер расходов по внедрению инновационных ресурсосберегающих экологических технологий в туризме и другие показатели.

В дополнение к ним могут быть использованы качественные параметры, вычисляемые с помощью метода экспертных оценок.

Затем переходят к этапу сбора показателей, их обработки, фиксирования и приведения в систему с последующим изучением изменений анализируемых показателей во времени.

Построение шкалы оценки динамических изменений по каждому анализируемому показателю выполняется уже на следующем этапе. Важной характеристикой подобной шкалы является точность, которая обуславливается действиями, проявляемыми ее разработчиками в направлении логического следования и рационального мышления. Среди аналитических методов, применяемых в таких исследованиях, основными и наиболее распространенными являются: метод факторного анализа, метод анализа иерархий, метод экстраполяции, метод экспертной оценки, метод логического моделирования, причем получило широкое применение также изучение прошлого опыта.

Далее следует этап непосредственного измерения скорости изменения (динамики) оцениваемых показателей. Помимо этой важной процедуры, на данном этапе также выполняется анализ качественных показателей со вниманием к изменению уровней динамических рядов.

Принципиально важен следующий этап, в рамках которого строится система баллов – косвенных оценок, используемых с целью описания конкретных изменений относительно каждого из анализируемых параметров. Для выполнения этого процесса, как и других оценочных процедур, применяемых в представленном алгоритме, может быть использован метод экспертных оценок с учетом определения параметров весомости (значимости) показателей, интегрирующих в себе характеристики пространства взаимодействия индустрии туризма и окружающей природной среды.

В целях предотвращения экспертных ошибок и придания результатам экспертного оценивания несомненной достоверности и обоснованности важно выполнять следующие требования к экспертам и организации процесса проведения экспертной оценки:

- для надежного обоснования принятия решения важно привлекать к участию в экспертных оценках достаточный численный состав экспертной группы, не допускать принятия решений, основанного на использовании одного или двух мнений, независимо от их организационно-управленческого ранга;

- специалисты, привлекаемые в роли экспертов, должны обладать профессиональной компетентностью, независимостью суждений и заинтересованностью в объективных результатах экспертизы;

- реализация возможности ознакомления с прошлым опытом экспертов с целью его подробного анализа и предотвращения на его основе возможных экспертных ошибок, а также согласования точек зрения и выработки единой позиции между экспертами.

Заключительный этап базируется на работе с результатами оценок, выставленных экспертами, тем самым отражается интегральный уровень расчетов. Причем объективно возрастает сложность таких расчетов, предполагающих учет степени значимости оцениваемых параметров, их возможностей адекватно выразить интенсивность взаимообусловленности экологических факторов и состояния городской среды и функционирования туристской индустрии. Нередко для решения подобных задач используется метод весовых коэффициентов, точность определения которых зависит от компетентности и опыта экспертов, и их умения методически сформировать систему взаимовлияния разнообразных качественных факторов.

Как видно из вышеприведенного алгоритма, при реализации его составных компонентов уместно исходить из возможности применения метода экспертного оценивания, что вполне правомерно. В поддержку этого тезиса следует отметить, что степень взаимодействия (взаимосвязи) определенных явлений действительности имеет качественную характеристику и не поддается измерению иным способом, а именно только с помощью экспертных оценок. Фактически экспертная оценка является попыткой количественно измерить показатель, отражающий системную глубину качественных показателей, а переход качества в количество относительно практики принятия управленческих решений или выполнения экономических обоснований, а также методик, их регламентирующих, в большинстве случаев подкрепляется заключениями экспертов.

Заключение

Вышеизложенное позволяет сформулировать следующие выводы.

Во-первых, в работе исследованы методологические принципы формирования экологической политики городского развития, средством реализации которых является набор определенных инструментов, регулирующих экологическое равновесие между окружающей природной средой и человеком (обществом). Принято различать две группы рычагов воздействия на состояние экологии в стране (регионе): прямые и косвенные. Первая группа включает инструменты прямого регулирования, предполагающие меры административно-правового воздействия, вторая же – основана на организационно-экономических методах

регулирования. Обе инструментальные группы регулирования многочисленны и достаточно многообразны, однако, к сожалению, преждевременно говорить о результативном инструментальном обеспечении экологической политики. Хотя достаточно хорошо и глубоко проработаны теория и методология отдельных компонентов экологического менеджмента, до сих пор на стадии обсуждения находятся вопросы выявления и оценки степени проявления стимулирующего фактора во многих инструментах воздействия, в т. ч. не вполне ясна их взаимосвязь, сочетаемость и комплементарность. Вместе с тем возникают вопросы об актуальном значении многих инструментов и их практическом использовании при решении конкретных экологических задач. Фактически сегодня также не до конца ясны итоговые последствия в отношении многих принятых и реализованных в последнее время экологически значимых управленческих решений. При этом современные проблемы экологии не систематизированы, а их идентификация и решения часто имеют фрагментарное представление. Касаясь этих аспектов исследуемой проблемы, важно отметить, что только всесторонние и полные исследования, базирующиеся на объективном теоретико-методологическом обосновании, включающем в себя наиболее значимые элементы системного подхода, могут обеспечить адекватное решение данных вопросов.

Во-вторых, важным элементом представления об экологически устойчивом развитии экономики города является экологизация туризма, которая с позиции современного менеджмента несет в себе много вопросов, требующих безотлагательного решения. Одним из таких открытых вопросов выступает систематический анализ и оценка взаимообусловленности, взаимосвязи окружающей природной среды (экологических факторов) и сферы туризма (перспектив его развития) с отражением их непосредственных результатов в принимаемых управленческих решениях. Именно его проработке и решению должно уделяться значительное внимание, т. к. благодаря этому формируются основные подходы и механизмы успешной реализации экологической политики, основы сбалансированного развития которой интегрируются и в индустрию туризма, остающегося одним из наиболее динамично развивающихся и эффективных секторов экономики современной градосистемы.

Список литературы

1. Бессонов М.С., 2016. Социальное жилье – стратегическое направление развития строительства в регионах России. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 6–1: 142–144.
2. Васильев А.Н. 2007. Совершенствование организации управления инвестиционными процессами инновационной деятельности предприятий строительного комплекса. *Управление инвестициями и инновациями*, 1 (1): 46–55.
3. Каранда А.В. 2018. Особенности реализации экологической политики в условиях городской среды. *Аллея науки*, 6 (22): 332–335.
4. Россия в цифрах – 2019, 2019. М., Росстат-М., 549.
5. Титов А.Б., Ваганова О.В., 2015. Методический подход к определению перспективных отраслей региона в условиях турбулентности экономики. *Научный результат. Серия: Экономические исследования*, 1–3: 56–63. DOI: 10.18413/2409-1634-2015-1-3-56-63.
6. Черных А.Н., 2017. Развитие сферы туризма в условиях экологизации экономики: Дисс. на соиск. уч. степ. канд. экон. наук. СПб.: СПбГЭУ.
7. Bulgakova K.O., 2018. Basics of investment projects selection for the implementation of regional investment programs in the sphere of social house building. *Espacios*, 39 (26).
8. Egorova M., 2017. Modeling of investment processes in the sphere of social house building. *Innovations in science and education. International Conference Proceedings. Central Bohemia University*, pp. 67–72.
9. Frolova N.N., 2019. Acceleration of regional housing development in Russia on the basis of industrial housing construction modernization. *E3S Web of Conferences*, 97: 06003. DOI: 10.1051/e3sconf/20199706003.
10. Kamp I., 2003. Urban environmental quality and human well-being: Towards a conceptual framework and demarcation of concepts; a literature study. *Landscape and Urban Planning*, 65 (1–2): 5–18 (in Russian).
11. Maleeva T., 2018. Analysis and evaluation of financial resources of social housing construction in city. *Materials Science Forum*, 931: 1118–1121.

12. Raven R., 2020. Nurturing nature: Exploring socio-spatial conditions for urban experimentation. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 34: 7–25.

References

1. Bessonov M.S., 2016. Social housing – a strategic direction for the development of construction in the regions of Russia. *International Journal of Applied and Basic Research*, 6–1: 142–144 (in Russian).
2. Vasiliev A.N., 2007. Improving the organization of management of investment processes of innovation activities of enterprises of the construction complex. *Investment and Innovation Management*, 1 (1): 46–55 (in Russian).
3. Karanda A.V., 2018. Features of the implementation of environmental policy in an urban environment. *Alley of Science*, 4–6 (22): 332–335 (in Russian).
4. Russia in numbers – 2019 [Moscow]. 2019: Moscow, Rosstat-M., 549.
5. Titov A.B., Vaganova O.V., 2015. A methodological approach to identifying promising industries in a region in a turbulent economy. The scientific result. Series: Economics Research, 1–3: 56–63. DOI: 10.18413/2409-1634-2015-1-3-56-63.
6. Chernykh A.N., 2017. Development of tourism in the context of greening the economy: Candidate's thesis, St.-Petersburg: Publishing House of SPbGIEU (in Russian).
7. Bulgakova K.O., 2018. Basics of investment projects selection for the implementation of regional investment programs in the sphere of social house building. *Espacios*, 39 (26).
8. Egorova M., 2017. Modeling of investment processes in the sphere of social house building. *Innovations in science and education. International Conference Proceedings. Central Bohemia University*, pp. 67–72.
9. Frolova N.N., 2019. Acceleration of regional housing development in Russia on the basis of industrial housing construction modernization. *E3S Web of Conferences*, 97: 06003. DOI: 10.1051/e3sconf/20199706003.
10. Kamp I., 2003. Urban environmental quality and human well-being: Towards a conceptual framework and demarcation of concepts; a literature study. *Landscape and Urban Planning*, 65 (1–2): 5–18 (in Russian).
11. Maleeva T., 2018. Analysis and evaluation of financial resources of social housing construction in city. *Materials Science Forum*, 931: 1118–1121.
12. Raven R., 2020. Nurturing nature: Exploring socio-spatial conditions for urban experimentation. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 34: 7–25.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Селютина Лариса Григорьевна, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики и менеджмента в строительстве Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

Песоцкая Елена Владимировна, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики и менеджмента в сфере услуг Санкт-Петербургского государственного экономического университета, Санкт-Петербург, Россия

Черных Андрей Николаевич, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и менеджмента в сфере услуг Санкт-Петербургского государственного экономического университета, Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Larisa G. Selyutina, Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Economics and Management in Construction of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia

Elena V. Pesotskaya, Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Economics and Management in the Service Sector, St. Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russia

Andrey N. Chernykh, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Management in the Service Sector, St. Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russia

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ INVESTMENT AND INNOVATIONS

УДК 332.012.23

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-483-490

Методологические подходы к формированию комплексной инвестиционно-инновационной системы региона

Ю.А. Дорошенко, А.В. Бережная

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,

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

E-mail: 549709@mail.ru, annabera@bk.ru

Аннотация

Актуальность исследования региональных экономических систем обусловлена низкой конкурентоспособностью отечественной продукции на международных рынках, отрицательным сальдо торгового баланса и преобладанием импортной продукции на внутреннем высокотехнологичном рынке. Поэтапное развитие российских регионов призвано обеспечить развитие науки и техники, промышленности, сферы услуг и туризма, базируясь на уникальных природно-климатических условиях и природных богатствах. В статье представлены основные методологические подходы к формированию сложной инвестиционно-инновационной системы региона, призванной аккумулировать существующие ресурсы инвестиционно-инновационного потенциала для дальнейшего их вовлечения в инновационный процесс.

Ключевые слова: инвестиции, инновации, региональная инновационная система, методологические подходы, инновационный процесс.

Для цитирования: Дорошенко Ю.А., Бережная А.В. 2020. Методологические подходы к формированию комплексной инвестиционно-инновационной системы региона. Экономика. Информатика. 47 (3): 483–490. DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-3-483-490.

Methodological approaches to the formation of an integrated investment and innovation system in the region

Y.A. Doroshenko, A.V. Berezhnaya

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 45 Kostyukov St,

Belgorod, 308012, Russia

E-mail: 549709@mail.ru, annabera@bk.ru

Abstract

The study of complex economic systems involves their improvement, the inclusion of new elements due to the economic challenges of their time, in one way or another. Requirements are increased for market participants both for consumers and for the state because of the influence of scientific and technological progress as innovation is the key to the competitive recovery of state products on international stage. For this reason, regions actively pursue an innovative policy. However, the problem of underinvestment may arise on the path of innovative development. In order to avoid a shortage of investment resources it is proposed to transform the classical regional innovation system into an investment-innovative. In this system the representatives of the investment infrastructure would act not as separate entities, but as elements of a system with a high level of mutual interaction. The paper presents the main methodological approaches to the formation of a complex investment-innovative system in the region with the purpose of accumulating of existing resources of investment-innovative potential for their further involvement in the innovation process. This research study

takes into consideration the current trend towards the convergence of scientific knowledge in order to improve the complex economic systems management mechanism and increase their efficiency.

Keywords: investments, innovations, regional innovation system, methodological approaches, innovation process.

For citation: Doroshenko Y.A., Berezhnaya A.V. 2020. Methodological approaches to the formation of an integrated investment and innovation system in the region. Economics. Information technologies. 47 (3): 483–490 (in Russian). DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-3-483-490.

Введение

В условиях небывалого роста научно-технического прогресса, когда инновации проникают во все сферы общественной жизни, всё больше возрастает популярность интеграции научных знаний, методов и подходов, раскрывающих новые грани ранее исследованных проблем. Экономика, обладающая свойствами сложной и динамичной системы, наиболее зависима от междисциплинарных изысканий, поскольку научно-техническое развитие напрямую воздействует на социально-экономическую ситуацию в государстве. Экономический рост государств, особенно тех, которые относятся к развивающемуся типу, во многом зависит от умения моментально реагировать на происходящие изменения в трендах и тенденциях мировой науки.

Региональная экономика является основой для дальнейшего государственного развития и выхода на новый уровень в мировом экономическом пространстве. Как уже говорилось, инновации в 21 веке выступают ключевым фактором развития в любом направлении общественной жизни, и поэтому государствам, заинтересованным в экономическом благополучии, особенно важной является поддержка инновационной деятельности в регионах.

Организация инновационной деятельности требует согласованности действий между государством, наукой и бизнесом. Государство обязано обеспечить науку и бизнес благоприятными условиями для НИОКР, включающими как создание благоприятной инновационной инфраструктуры, так и обеспечение нужного уровня финансирования. Как правило, инновационная деятельность требует более высоких материальных вложений относительно стандартных проектов по модернизации и наращиванию производственных мощностей. Инновационный процесс требует инвестиционных вложений на всех этапах жизненного цикла инновации, в связи с чем возрастает позитивный эффект от скорости и объемов их привлечения [Дорошенко, Бережная, 2019].

Формы инвестиционной поддержки инновационной деятельности принимают различные формы в зависимости от масштабов и целей инновационного процесса. По наиболее упрощенному принципу инвестиции можно подразделить на государственные, частные и собственные. В настоящий момент инвесторы – самостоятельные игроки на региональном рынке, которые никак не зависят друг от друга. Однако из-за отсутствия коммуникаций между финансовыми институтами возрастает риск сокращения объемов инвестиций на внутреннем инновационном рынке, связанный с банкротством отдельно взятых финансовых институтов или недостатком средств для финансирования ими потенциально успешных проектов, что снижает приток финансовых ресурсов и, соответственно, препятствует дальнейшему развитию по инновационному пути.

С целью развития инновационной деятельности в рамках сформировавшихся региональных инновационных систем целесообразно также совершенствовать инвестиционную инфраструктуру, превращая её в систему, элементы которой будут взаимодействовать между собой, оказывать финансовую поддержку на льготных условиях и интегрироваться для участия в наиболее масштабных и значимых инновационных проектах. Таким образом, мы приходим к созданию комплексной инвестиционно-инновационной системы региона, в которой финансовые институты и индивидуальные инвесторы

взаимодействуют не только с наукой и бизнесом в процессе реализации инновационных проектов, но и между собой. Ожидается, что создание такой системы положительно скажется на инвестиционной привлекательности территорий для внешних инвесторов.

Основные результаты исследования

Инновационная теория зародилась в начале XX века в процессе изучения длинноволнового механизма социально-экономического развития. Йозеф Шумпетер в своей работе «Теория экономического развития» (*Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*, 1911) проанализировал большие циклы и способы преодоления кризисов, придя к выводу, что экономический кризис наступает, когда происходит застой научно-технического развития, а экспансия – когда создается что-то новое, будь то способ производства или продукт [Шумпетер, 1982]. Однако инновация не возникает сама по себе, научные изыскания требуют не только материальную базу, но и больших финансовых вложений, из чего следует, что инновационное развитие возможно лишь при активизации инвестиционной деятельности государства и бизнеса.

Региональные инновационные системы (РИС) являются предметом научных дискуссий на протяжении нескольких десятков лет, тогда как идея формирования комплексной инвестиционно-инновационной системы региона, в которой финансовые институты выступают единым организмом, а не самостоятельными, никак не взаимодействующими субъектами, находится на стадии зарождения. Ввиду высокой коррелированности инвестиций и инновационного процесса мы можем рассматривать подходы, ранее характеризующие РИС, относительно инвестиционно-инновационной системы региона.

В первую очередь, стоит рассмотреть *процессный подход*. Отличительной чертой процессного подхода является систематизация деятельности каждого участника процесса и нацеленность на конечный результат. В рамках процессного подхода инвестиционно-инновационная система рассматривается как совокупность инвестиционных и инновационных процессов в регионе, подлежащих регламентации со стороны административных органов. Данного подхода придерживались Й. Шумпетер, Н.Д. Кондратьев, Г. Менш, С. Кузнец и другие исследователи, являющиеся основоположниками инноватики. С точки зрения процессного подхода формирование комплексной инвестиционно-инновационной системы способствует институциональному преобразованию общества с переходом на новый уровень научно-технического, и, следовательно, социально-экономического развития.

Функциональный подход базируется на определении социально-значимых функций инвестиций и инновационного процесса в целом, их взаимодействии с остальными участниками экономической деятельности региона, определяя таким образом вектор дальнейшей инвестиционно-инновационной политики региона. К представителям функционального подхода относятся Ю. Яковец, П. Друкер, М. Портер, С. Глазьев, Д. Львов и другие. Стоит отметить, что Питер Друкер [Drucker, 2007] в своей работе «Бизнес и инновации» определял инновации как материальные изобретения и идеи, способные улучшить, повысить эффективность уже существующих вещей. С этой точки зрения формирование инвестиционно-инновационной системы это усовершенствованная РИС, призванная увеличить отдачу от инвестиционных вложений и тем самым повысить деловую активность как малых инновационных предприятий и индивидуальных инноваторов, так и финансового сектора.

Таким образом, качество и темпы развития общества связаны с функционированием отдельных элементов системы – институтов (финансовых, правовых и др.). *Системно-институциональный подход* предполагает не просто тесный контакт экономических, финансовых, научных институтов и государственного сектора, но и вовлечение их в создание и потребление инноваций. Наиболее яркими представителями данного подхода являются [Freeman, 1987; Lundvall, 1992; Nelson, 1993], которые сформулировали концепцию национальных инновационных систем, определяя взаимосвязь всех экономических агентов в инновационном процессе. Инновационная политика регионов строится таким образом, что

поощряется не только трансфер результатов инновационной деятельности, но и их адаптация под существующие нужды инновационного процесса, поскольку в чистом виде инновация может быть не реализуема в рамках конкретной мезо- и микросистемы.

Трансформация инвестиционной инфраструктуры в единую систему со взаимосвязанными элементами является еще одним шагом на пути к инновационному развитию территорий. Формирование такой системы предполагает, что самостоятельные элементы инфраструктуры: инвестиционные, лизинговые и страховые компании, фонды венчурного финансирования и бизнес-ангелы, бизнес-инкубаторы и технопарковые структуры, фонды поддержки малого и среднего бизнеса, банки, биржевые брокеры – должны взаимодействовать не только с инноваторами, но и между собой, поскольку их сотрудничество позволит преумножить капитал, избежать банкротства отдельных инфраструктурных элементов и, таким образом, обеспечить интенсивное финансирование инноваций на территории региона. На наш взгляд, системно-институциональный подход точно соответствует нуждам инновационного процесса на данном этапе – низкая межсубъектная коммуникация на фоне острой конкуренции препятствует взаимовыгодному партнерству.

Сторонники *пространственного* подхода объясняют природу возникновения региональных систем экономико-географическими, природно-климатическими, этническими и социально-политическими особенностями развития тех или иных территорий. В основе данного подхода заложены идеи немецкого ученого Иоганна фон Тюнена, автора одноименной модели Тюнена [Thünen, 1826], которая характеризует размещение производственных сил относительно ключевых потребителей. Также изучением экономических процессов с позиции географического расположения регионов занимались В. Кристаллер (теория центральных мест), А. Лёш (теория организации экономического пространства), У. Айзард и П. Кругман. В отечественной науке пространственный подход к изучению территориального развития нашел своё отражение в работах таких экономистов, как А.Н. Асаул, Л.Б. Вардомский, А.Г. Гранберг, В.Н. Лексин, П.А. Минакир, Н.Н. Некрасов, О.С. Пчелинцев.

Ввиду того, что российские регионы расположены в нескольких климатических зонах, данный подход наиболее актуален для формирования национальной инновационной системы России. Территориально-климатические условия задают вектор для развития конкретной РИС с учетом сложившихся отраслевых преимуществ, наличия земель и полезных ископаемых, поскольку инновации должны быть направлены, в первую очередь, на развитие внутреннего рынка. Дифференциация регионов способствует их взаимодействию, а также сосредоточенному развитию каждого из секторов экономики – не расплываясь в несколько сфер одновременно, регионы могут добиваться успеха в избранном направлении.

Вышеперечисленные подходы характеризуют конкретно экономические системы, их сущность, многогранность и общие черты. Они применимы как к простым, так и более сложным системам, к которым в том числе относятся концепции НИС и РИС. Тем не менее наука ежеминутно продвигается вперед, и сейчас наибольшую популярность имеют междисциплинарные исследования. Конвергенция научного знания обусловлена инновационным развитием и поиском революционных путей решения, казалось бы, несложных задач [Румянцева, Алиева, Шевченко, 2012]. Рассмотрение вопросов экономики с позиции механики, кибернетики или биологии позволяет раскрыть новые грани функционирования сложных экономических систем.

По мере развития теории управления сложными системами появлялись новые подходы к их формированию и дальнейшему исследованию внутренних связей между элементами. Одним из таких подходов считается *кибернетический*, получивший своё распространение благодаря работам американского ученого-математика Н. Винера. Термин «кибернетика» происходит из древнегреческого языка и означает «искусство управления», поэтому до XX века его относили к сугубо политической терминологии. Сейчас же данный термин чаще употребим в отношении машин и компьютеров, однако Винер [1983] также связывал этот

термин с обществом и протекающими в нем процессами. Таким образом, кибернетический подход базируется на общности биологических, технических и социальных систем.

В понимании Винера управление это «...не что иное, как посылка сообщений, эффективно влияющих на поведение их получателя» [1983]. Управление с позиции кибернетического подхода основывается на информации и алгоритмах: успешность функционирования систем зависит от того, насколько быстро и качественно обрабатывается поступающая информация, а также насколько совершенны алгоритмы решения задач в условиях неопределенности [Новиков, 2016]. Таким образом, социально-экономические системы приравнивают к техническим системам, которые работают на основе заданных параметров. Следовательно, формирование инвестиционно-инновационной системы региона с позиции кибернетического подхода подразумевает строгую иерархичность и распределение функций между её элементами, из чего следует, что элементы обязательно взаимодействуют между собой, в противном случае система не сможет существовать.

Следующим этапом развития теории кибернетики стала междисциплинарная область исследований – синергетика. Сам термин «синергетика», что в переводе с древнегреческого означает «совместная деятельность», был введён в научный обиход немецким физиком Германом Хакеном [1980] в отношении сложных систем. Синергизм объясняется тем, что для каждой системы характерно переживать флуктуации, вызываемые внешним воздействием, и когда они достигают своего максимума, или точки бифуркации, отдельные элементы системы функционируют иначе. С течением времени случайные изменения переходят в детерминированный процесс, в то же время в результате изменений отдельные элементы системы могут также иначе взаимодействовать друг с другом, связи либо ослабевают, либо усиливаются, создавая кооперативные процессы.

Синергетический подход предполагает, что элементы внутри сложных систем находятся в тесной взаимосвязи, а сами системы имеют способность к самоорганизации – с течением времени они адаптируются к изменениям внешней среды [Рузавин, 2008]. Стоит отметить, что инвестиции и инновации во все времена были когерентны – в своем первоначальном виде, когда понятий «инвестиции» и «инновации» в научном обиходе не существовало, денежные вложения, как таковые, считались источником преумножения богатства, вне зависимости от их направленности. Научно-технический прогресс красной нитью проходит через развитие рыночных отношений: появление новых орудий труда, создание первых мануфактур и фабрик были результатом инноваций, источником которых являлись инвестиции.

Региональная инновационная система включает в себя множество элементов, формирующих её ресурсы, и инвестиционная деятельность выполняет здесь роль координатора. Кооперация элементов инвестиционной инфраструктуры позволит изменить сам принцип организации РИС, создавая прочную финансовую основу для дальнейшего развития.

Но не только инвестиции выступают базовым ресурсом инновационного процесса. Инновации, как правило, являются результатом интеллектуальной деятельности человека. Поэтому в исследовании региональных инвестиционно-инновационных систем следует придерживаться и *когнитивного подхода*. Когнитивная наука также относится к междисциплинарным исследованиям, она сосредоточена на особенностях мыслительного процесса, получения, хранения, преобразования и использования знаний, как естественным, так и искусственным интеллектом.

Впервые когнитивный подход в изучении сложных систем был применен когнитологом Д. Канеманом, который совместно с А. Тверским и П. Словиком исследовал особенности принятия решений человеком в условиях неопределенности [Канеман, Словик, Тверски, 2005]. Ими было установлено, что когнитивные процессы способны как позитивно, так и негативно сказываться на управленческой деятельности – особенности личности и темперамента, страхи и предрассудки, излишняя мягкость или наоборот строгость. В настоящее время психология управленческой деятельности стала самостоятельной дисциплиной.

Отечественные ученые [Абдикеев, Аверкин, Ефремова, 2010] характеризуют когнитивную экономику как область знания, изучающую развитие экономических систем как результата интеллектуальной деятельности человека. В когнитивном подходе применяются методы нейрофизиологии, психологии, лингвистики, антропологии, а также весь аппарат современных компьютерных наук вплоть до робототехники и моделирования мозга на суперкомпьютере.

В эпоху развития высоких технологий рыночная экономика трансформируется в экономику знаний, где интеллектуальный капитал представляет стратегическую значимость. Поэтому изучение особенностей мыслительного процесса и, следовательно, способов воздействия на него становится одним из факторов инновационного процесса, поскольку инновации объединяют не только научно-технический прогресс, но и новаторские подходы к организационно-управленческой и маркетинговой деятельности.

Стратегии территориального развития опираются на имитационное моделирование, позволяющее охарактеризовать региональную инвестиционно-инновационную систему на основе аккумулируемых данных и спрогнозировать возможные сценарии развития. К имитационным моделям относятся системная динамика, дискретно-событийное и агент-ориентированное моделирование. По мнению [Гайнанов, Атаева, 2015], *имитационный подход* повышает эффективность стратегического планирования в сложных системах с большим числом элементов и разнонаправленными связями между ними. В рамках данного подхода В.В. Орешниковым было разработано адаптивно-имитационное моделирование, в основе которого лежит механизм ускоренной адаптации элементов системы и её управления в целом к социально-экономическим изменениям, при этом адаптивные механизмы разрабатываются с использованием искусственного интеллекта и компьютерных технологий.

Заключение

В заключение отметим, что формы экономического развития территорий подлежат трансформации под воздействием научно-технического прогресса. Возникновение новых течений в развитии науки и техники непременно сказывается и на общественно-экономической жизни, поэтому поиск путей развития предполагает всесторонний анализ существующих методик и подходов к организации деятельности региональных экономических систем. Особенно если речь идет об инновационной модели развития, поскольку инновации – это и есть научный прогресс, и если регион позиционирует себя инноватором, то все сферы его жизнедеятельности будут пропитаны новаторскими идеями и подходами. При этом инновационная система сама может способствовать научному развитию благодаря единению науки, государства и бизнеса.

В работе проанализированы основные подходы к формированию инвестиционно-инновационной системы региона, которые с позиции развития научной мысли объясняют, как системность воздействует на темпы и формы экономического развития. Многообразие подходов обусловлено историческим этапом их возникновения, однако каждый из них может оказаться эффективным в каждой конкретной ситуации. Мы полагаем, что междисциплинарные исследования способствуют совершенствованию методологического инструментария исследования сложных систем, что непременно расширяет возможности организации инновационного процесса в мезоструктурах.

Список литературы

1. Абдикеев А.Н., Аверкин А.Н., Ефремова Н.А. 2010. Когнитивная экономика в эпоху инноваций. Вестник РЭА. 1: 3–20.
2. Атаева А.Г. 2018. Методические проблемы разработки стратегических документов инновационного развития регионов. Вопросы инновационной экономики. 1: 51–67.
3. Бережная А.В., Павлова И.Г., Сотникова А.А. 2019. Оценка и перспективы развития инвестиционно-инновационного потенциала Белгородской области. В кн.: Пространственное развитие территорий. Материалы II Международной научно-практической конференции (Белгород, 28 ноября 2019 г.). Белгород, Изд-во ООО «Эпицентр»: 42–50.

4. Винер Н. 1983. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. М.: Наука, 344. (Wiener N. 1948. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Hermann & Cie Editeurs, Paris, The Technology Press, Cambridge, Mass., John Wiley & Sons Inc., New York).
5. Гайнанов Д.А., Атаева А.Г. 2015. Технологии имитационного моделирования как инструмент преодоления методологических парадоксов стратегического планирования территориального развития. В кн.: Проблемы функционирования и развития территориальных социально-экономических систем. Материалы IX Всероссийской научно-практической интернет-конференции. Уфа, Изд-во: ИСЭИ УНЦ РАН: 75–78.
6. Дорошенко Ю.А., Бережная А.В. 2019. Условия и факторы инновационного развития региона. В кн.: Экономика. Общество. Человек. Типы научной рациональности в информационном обществе: методологические аспекты. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Вып. XXXVII. Т. 2. Белгород, Изд-во БГТУ: 109–115.
7. Ильина Е.А. 2017. Региональные аспекты функционирования объектов инвестиционной инфраструктуры. Государственное управление. Электронный вестник. 63: 249–263.
8. Канеман Д., Словик П., Тверски А. 2005. Принятие решений в неопределенности: Правила и предубеждения. Пер. с англ. Харьков: Гуманитарный центр, 632. (Kahneman D., Slovic P., Tversky A. 1982. *Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases*. New York: Cambridge University Press).
9. Кондратьев Н.Д. 2002. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Избранные труды. М., Экономика, 384.
10. Мальхина И.О., Бережная А.В. 2019. Анализ принципов организации и способов стимулирования инновационной деятельности регионов. Белгородский экономический вестник. 2 (94): 57–61.
11. Новиков Д.А. 2016. Кибернетика 2.0. Проблемы управления. 1: 73–81.
12. Плотинский Ю.М. 2010. «Общество знаний» и развитие когнитивного подхода. Вестник Московского университета. Серия: Социология и политология. 1: 45–63.
13. Радыгина С.В. 2013. Инвестиционная инфраструктура как фактор активизации инновационно-инвестиционной деятельности в регионе. Вестник Удмуртского университета. 1: 55–59.
14. Рузавин Г.И. 2008. Синергетика и сложноорганизованные системы. Эпистемология и философия науки. 1: 100–116.
15. Румянцева А.М., Алиева Н.З., Шевченко Ю.С. 2012. Концепт «конвергирующие технологии» в междисциплинарном контексте. Современные проблемы науки и образования. Электронный журнал. 5. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7264> (дата обращения: 09.05.2020).
16. Хакен Г. 1980. Синергетика. Пер. с англ. М., Мир, 405. (Haken H. 1978. *Synergetik*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York).
17. Шумпетер Й. 1982. Теория экономического развития. М.: Прогресс, 455.
18. Drucker P. F. 2007. *Innovation and entrepreneurship: practice and principles*. Amsterdam [etc.]: Elsevier; Oxford: Butterworth-Heinemann, 253.
19. Freeman C. 1987. *Technology Policy and Economic Performance*. L.: Pinter Publishers, 215
20. Lundvall B.A. 1992. *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. L., Pinter Publishers, 317.
21. Nelson R. 1993. *National Innovation Systems*. Oxford, Oxford University Press, 541.
22. Thünen J.H. 1826. *Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationaloekonomie*. Hamburg: Perthes, 290

References

1. Abdikeev A.N., Averkin A.N., Efremova N.A. 2010. Cognitive Economics in the Age of Innovation. *Vestnik REA*. 1: 3–20. (in Russian)
2. Ataeva A.G. 2018. Methodological problems of developing strategic documents for innovative development of regions. *Journal of Innovation Economics*. 1: 51–67. (in Russian)
3. Berezhnaya A.V., Pavlova I.G., Sotnikova A.A. 2019. Assessment and development prospects of investment and innovation potential of the Belgorod region. V kn.: *Prostranstvennoe razvitie territoriy. Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Belgorod, 28 noyabrya 2019 g.). Belgorod, Izd-vo OOO «Epitsentr»: 42–50. (in Russian)
4. Viner N. 1983. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Tr. fr. engl. M.: Nauka, 344. (Wiener N. 1948. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Hermann & Cie Editeurs, Paris, The Technology Press, Cambridge, Mass., John Wiley & Sons Inc., New York). (in Russian)

5. Gaynanov D.A., Ataeva A.G. 2015. Simulation technology as a tool to overcome the methodological paradoxes of strategic planning of territorial development. V kn.: Problemy funktsionirovaniya i razvitiya territorial'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh sistem. Materialy IX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii. Ufa, Izd-vo: ISEI UNTs RAN: 75–78. (in Russian)
6. Doroshenko Yu.A., Berezhnaya A.V. 2019. Conditions and factors of innovative development of the region. V kn.: Ekonomika. Obshchestvo. Chelovek. Tipy nauchnoy ratsional'nosti v informatsionnom obshchestve: metodologicheskie aspekty. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Vyp. XXXVII. T. 2. Belgorod, Izd-vo BGTU: 109–115. (in Russian)
7. Il'ina E.A. 2017. Regional aspects of the functioning of investment infrastructure. Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyy vestnik. 63: 249–263. (in Russian)
8. Kahneman D., Slovic P., Tversky A. 2005. Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases. Tr. fr. engl. Khar'kov: Gumanitarnyy tsentr, 632. (Kahneman D., Slovic P., Tversky A. 1982. Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases. New York: Cambridge University Press). (in Russian)
9. Kondrat'ev N.D. 2002. Big business cycles and foresight theory. Featured Works. M., Ekonomika, 384. (in Russian)
10. Malykhina I.O., Berezhnaya A.V. 2019. Analysis of the principles of organization and ways to stimulate innovation in the regions. Belgorodskiy ekonomicheskyy vestnik. 2(94): 57–61. (in Russian)
11. Novikov D.A. 2016. Cybernetics 2.0. Problemy upravleniya [Management problem]. 1: 73–81. (in Russian)
12. Plotinskiy Yu.M. 2010. «Knowledge Society» and the development of a cognitive approach. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya: Sotsiologiya i politologiya. 1: 45–63. (in Russian)
13. Radygina S.V. 2013. Investment infrastructure as a factor in enhancing innovation and investment in the region. Vestnik Udmurtskogo universiteta. 1: 55–59. (in Russian)
14. Ruzavin G.I. 2008. Synergetika i slozhnoorganizovannyye sistemy. Epistemologiya i filosofiya nauki [Synergetics and complex systems. Epistemology and philosophy of science]. 1: 100–116. (in Russian)
15. Rumyantseva A.M., Alieva N.Z., Shevchenko Yu.S. 2012. The concept of converging technologies in an interdisciplinary context. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. Elektronnyy zhurnal. 5. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7264> (data obrashcheniya: 09.05.2020). (in Russian)
16. Haken H. 1978. Synergetik. Tr. fr. engl. M., Mir, 405. (Haken H. 1978. Synergetik. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York). (in Russian)
17. Shumpeter Y. 1982. Theory of Economic Development. M.: Progress, 455. (in Russian)
18. Drucker P. F. 2007. Innovation and entrepreneurship: practice and principles. Amsterdam [etc.]: Elsevier; Oxford: Butterworth-Heinemann, 253.
19. Freeman C. 1987. Technology Policy and Economic Performance. L.: Pinter Publishers, 215
20. Lundvall B.A. 1992. National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. L., Pinter Publishers, 317.
21. Nelson R. 1993. National Innovation Systems. Oxford, Oxford University Press, 541.
22. Thünen J.H. 1826. Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationaloekonomie. Hamburg: Perthes, 290.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дорошенко Юрий Анатольевич, доктор экономических наук, профессор, директор института экономики и менеджмента, профессор кафедры стратегического управления БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

Бережная Анна Вячеславовна, ассистент кафедры стратегического управления БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuriy A. Doroshenko, Doctor of Economics, Professor, Director of the Institute of Economics and Management, Professor of the Department of Strategic Management of BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Anna V. Berezhnaya, Assistant of the Department of Strategic Management of BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

УДК 338.512

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-491-500

Монетизация больших данных: технико-экономический анализ драйверов роста и издержек

Ю.П. Шальнова

ПАО Сбербанк, Россия, 603000, г. Нижний Новгород, ул. Октябрьская, д. 35

Email: julia.shalnova@gmail.com

Аннотация

В статье на примерах банковской деятельности показано, что внедрение инновационной технологии больших данных является одним из IT-трендов развития мировой и отечественной экономик. Акцентировано внимание на монетизации технологии как необходимом условии внедрения. Предложен не требующий количественных оценок подход повышения инвестиционных результатов, основанный на качественной постановке задач обработки больших данных и формировании множества релевантных им данных. Исследованы основные характеристики больших данных, влияющие на издержки внедрения технологии. Сделан вывод о необходимости приоритетной разработки методик инвестиционного анализа технологии больших данных. Отмечен пилотный характер исследования.

Ключевые слова: большие данные, монетизация, факторы роста, характеристики больших данных, издержки внедрения и эксплуатации.

Для цитирования: Шальнова Ю.П. 2020. Монетизация больших данных: технико-экономический анализ драйверов роста и издержек. Экономика. Информатика. 47 (3): 491–500. DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-3-491-500.

Big data monetization: qualitative technical and economic analysis of drivers of growth and costs

J.P. Shalnova

Sberbank, 35 Oktyabrskaya St, Nizhny Novgorod, 603000, Russia

Email: julia.shalnova@gmail.com

Abstract

Using examples from the banking industry, the article demonstrates that introduction of the big data technologies has become one of the main IT-trends in the development of domestic, as well as world economies. The author highlights that high efficiency of this innovative technology is taken for granted, since in open sources she found none of the studies dedicated to evaluation of investment into such innovation. She claims that one of the key requirements for big data technology implementation in various subject domains is the potential to monetize it. The author puts forward a qualitative approach for result maximization, which is based on a more robust objective setting for big data processing and subsequently forming datasets necessary to achieve the goals of big data tasks at hand. Difficulties of setting big data processing tasks are defined. The author examines distinctive features of big data which determine the size of costs associated with big data technology implementation. She concludes that further analysis of investment into big data technology and development of special techniques for such studies should be prioritized. The pilot studies, therefore, are iterative in nature.

Keywords: big data, monetization, growth factors, big data characteristics, implementation and running costs.

For citation: Shalnova J.P. 2020. Big data monetization: qualitative technical and economic analysis of drivers of growth and costs. Economics. Information technologies. 47 (3): 491–500 (in Russian). DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-3-491-500.

Введение

Внедрение цифровых технологий в экономике и социальной сфере – одна из целей национального развития Российской Федерации [Указ, 2018]. Для ее достижения принята Национальная программа «Цифровая экономика». Федеральный проект этой программы

«Цифровые технологии» предусматривает создание инновационных «сквозных» цифровых технологий, в том числе технологию *больших данных*.

Устремления России в области больших данных соответствуют современной экономической тенденции. Так, согласно исследованию International Data Corporation (IDC), мировые доходы от решений для больших данных и бизнес-аналитики вырастут с \$166 млрд в 2018 году до \$260 млрд в 2022 году [Release, 2018]. При этом флагманом внедрения больших данных являются крупные банки. В США 76 % крупнейших банков используют большие данные для привлечения клиентов, улучшения коммуникаций и повышения лояльности. [McKinsey, 2017], а по оценкам исследования Gartner еще в 2013 году 34 % банков в мире инвестировали в развитие этих технологий [Cnews, 2013]. Поэтому тему, вынесенную в заглавие настоящей статьи, рассмотрим в контексте банковских задач.

В Интернете и популярной литературе широко представлены описания новых возможностей клиентов банков, реализуемых на основе технологий больших данных. Внимание автора привлек следующий фрагмент на сайте BBC: если клиент «собирается погасить свою ипотеку, банк может устроить для него «момент конфетти» – отправить поздравительную открытку, цветы и воздушные шарик, попутно предложив полезные идеи о том, как распорядиться высвобождающимися дополнительными денежными средствами, например, сформировать индивидуальный финансовый план. Прогнозирование жизненных событий и предстоящих финансовых трудностей может помочь банкам укрепить лояльность клиентов и удовлетворять их реальные потребности» [BBC].

В действительности прагматика накладывает существенные ограничения на описанные перспективы. Это могут быть технические, организационные (например, оппортунистическое поведение персонала, «кадровый голод» на Data Scientist), правовые ограничения. И, самое главное, должно выполняться условие монетизации инновационных IT-решений.

Монетизация как основное условие внедрения технологии больших данных

Монетизация данных – это современный бизнес-процесс, при котором генерируемые организацией и внешние данные используются для получения измеримой экономической выгоды (создания реальной стоимости из данных).

В материалах Всемирного экономического форума монетизация данных рассматривается как один из факторов, которые потенциально могут полностью изменить ландшафт финансового рынка [World Economic Forum, 2017]. Перспективность монетизации данных отражается в большом количестве прогнозов. В частности компания Reports and Data прогнозирует рост глобального рынка монетизации данных к 2026 году до \$4,75 млрд [Reports and Data, 2019].

В общем случае монетизация возможна при использовании данных:

1. Во внутреннем контуре организации для:
 - увеличения доходов;
 - снижения затрат;
 - создания новых услуг и реализации иных инновационных возможностей (например, для снижения оттока клиентов, расширения клиентской базы, в том числе в новых направлениях развития, сохранения и увеличения доли рынка);
 - минимизации рисков.

2. Во внешнем контуре организации путем продажи данных третьим лицам или передачи (обмена) их в рамках контрагентских отношений. Однако в настоящее время в силу правовых ограничений (банковская и коммерческая тайны, персональные данные) эти возможности кредитные организации не используют, хотя продажа обезличенной агрегированной информации, аналитики, которая не нарушает закон, не запрещена.

На обязательность выполнения условия монетизации в немногочисленных интервью указывают и представители российских банков, курирующие соответствующие IT-направления [Плас, 2018; Big Data, 2019].

По их мнению, основной целью внедрения инновационных IT является увеличение прибыли через улучшение бизнес-процессов. В случае больших данных – это извлечение

коммерческой ценности из огромных массивов данных, который формируют frontend и, добавим, backend информационные системы.

Для выполнения указанного условия необходимо уметь измерять процессы. Важно понимать потенциальные уровни роста доходности и/или снижения издержек по сравнению с состоянием до внедрения IT-проекта.

Практически банки монетизируют данные, интерпретируя ВВС, путем повышения клиентоориентированности. Для этого анализируют демографию, индивидуальные потребности, исторические покупки и взаимодействия, поведение покупателей и ключевые события и уже на этой основе предлагают персонализированные продукты и услуги на всех стадиях взаимодействия клиент-банк.

Это интуитивно понятный подход. Однако, во-первых, он реализует лишь одно направление монетизации (повышение эффективности продаж). Во-вторых, не отвечает на главный, по нашему мнению, вопрос исследуемого бизнес-процесса: как измерить полученные результаты монетизации (эффект конфетти)? В специальной литературе также не описываются даже общие схемы его разрешения, а экономическая эффективность работы с большими данными просто постулируется.

Как показывают прикладные исследования, лидерами монетизации данных могут считаться компании, у которых рост доходов (снижение расходов) как следствие обработки данных за последние три года составляет не менее 6 %. При значении указанного показателя менее 1 % организация относится к группе аутсайдеров в области обработки данных [McKinsey, 2017]. Приведенные значения можно принять в качестве критериальных и не более того, поскольку McKinsey не раскрывает ноу-хау своих методик.

Принципиальным недостатком всех вышеприведенных результатов исследований является отсутствие упоминания о каком-либо инвестиционном анализе проектов больших данных, под которым в простейших случаях понимают сравнение полученной прибыли и инвестиционных затрат. Иначе: не рассматриваются и не оцениваются драйверы роста прибыли и факторы возникновения издержек при монетизации больших данных.

При этом «попытки использования традиционных методов для инвестиционного анализа IT-проектов сопряжены с большими трудностями количественной оценки элементов формулы ROI (*Return On Investment* – курсив наш), т.к. расчет прибыли и инвестиций является самостоятельной нетривиальной задачей. Эта сложность имеет институциональный характер ...» [Карпычев, 2010].

Также очевидно, что в любом IT-проекте можно выделить ряд частных системно связанных задач, решение которых направлено на увеличение ROI. Применительно к большим данным такой частной задачей является минимизация издержек формирования стоимости больших данных и технологий их обработки.

Рассмотрим основные факторы и технические характеристики, формирующие стоимость больших данных. Для этого, прежде всего, определим понятие «*большие данные* – это большой объем, высокая скорость и/или большое разнообразие информационных активов, которые требуют *экономически эффективных* (курсив наш), инновационных форм обработки информации, позволяющих улучшить понимание, принятие решений и автоматизацию процессов» [Glossary].

Это определение фиксирует основные сугубо технические характеристики больших данных: объем (Volume), скорость (Velocity), разнообразие (Variety), 3V, которые следует учитывать при технико-экономическом проектировании систем больших данных. Но оно не охватывает ряд важнейших для экономического анализа факторов, непосредственно влияющих на его результаты.

Цели обработки больших данных

Как и любая сложная деятельность, монетизация технологий больших данных может быть представлена развитым деревом целей. Корневая (основная) цель – получение различных

выгод в стоимостном исчислении – сформулирована нами выше. Эта цель достигается посредством постановки и достижения целей более низкого уровня.

В качестве таких целей применения технологии больших данных банковское сообщество в настоящее время рассматривает:

- определение и анализ структуры доходов и расходов клиентов;
- выявление основных каналов транзакций (через отделение банка или разнообразные дистанционные каналы обслуживания) и характерных для них действий клиента (оплата картой, безналичные переводы, оформление вкладов или кредитов и т. д.);
- сегментирование клиентов в соответствии с их профилями;
- анализ рентабельности промоакций, новых услуг и совместных предприятий;
- кросс-продажи банковских продуктов на основе сегментации клиентов;
- противодействие мошенничеству (anti-fraud) и иным противоправным деяниям;
- оценку риска, соответствие требованиям безопасности и отчетности перед регулятором;
- анализ отзывов клиентов о работе банков.

Приведенный перечень не является закрытым. Более того, ведутся постоянные исследования по его расширению, например, как следует из приведенной цитаты ВВС, прорабатываются решения по созданию персонального «финансового советника».

В общем случае известно несколько направлений использования больших данных [McKinsey], в том числе для получения *скрытой* информации (закономерностей, взаимосвязей и тенденций), содержащейся в больших данных (*hidden pattern*), и, что важно, изначально не предназначенных для ее добычи и использования.

В этой связи необходимо упомянуть о технологии Data Mining (раскопка данных), которая вкуче с технологией больших данных позволяет добывать *скрытую* в данных большого объема информацию (закономерности, взаимосвязи и тенденции). *Data mining* – это нетривиальное извлечение из данных неявной, ранее неизвестной и потенциально полезной информации [Frawley et al, 1992]. Именно это направление является перспективой широкого применения больших данных.

Для целей дальнейшего изложения представим задачу создания системы больших данных простым выражением

$$G=F(D), \quad (1)$$

где G – требуемый результат (цель), D – набор исходных данных, F – функционал информационной системы, преобразующей исходные данные в требуемый результат.

Условие качественной постановки задачи (1) является определяющим фактором в успешности проекта (максимизации ROI) больших данных. Поясним понятие качественной постановки задачи. Прежде всего, это четкая постановка цели, которая, пожалуй, является самой сложной для формулирования, формализации и интерпретации процедурой. Некоторые эксперты считают, что многие проекты больших данных оканчиваются неудачей (в контексте статьи – низкой монетизацией) из-за некорректно поставленных целей [Marx, 2015].

Обобщенная вербализация этой стадии проекта больших данных достаточно сложна. Поэтому проиллюстрируем изложенные тезисы частным примером. Пусть в терминах бизнес-процесса сформулирована проблема: «клиент ушел в отток», что означает снижение денежных поступлений от клиентской базы. Непосредственными причинами этой проблемы могут быть приостановка, расторжение договоров, неиспользование услуг в течение определенного промежутка времени, несвоевременная оплата счетов и др.

В свою очередь, эти причины могут быть вызваны обстоятельствами более высокого порядка, например, макроэкономическими и политическими. Естественно, ни в одном хранилище или источнике данных не заложены бизнес-правила, устанавливающие связи снижения денежных поступлений (например, закрытие депозитных договоров) и этих факторов.

Очевидно, что качественное формулирование цели определяется знаниями предметной области и IT весьма дорогостоящих специалистов, известных как Data Scientist. Это означает,

что на стадии формирования целей экспертно должна быть решена классическая оптимизационная задача минимизации затрат на Data Scientist при допустимом уровне риска некорректного формирования целей.

Цели последовательно определяют данные и их источники, а также методы анализа данных и, соответственно, стоимостные характеристики проектов больших данных.

Формирование множества релевантных данных

Сформулированная цель G обработки больших данных детерминирует формирование предметно-ориентированного множества больших данных D (перечень и семантику), т. е. эту задачу можно представить выражением

$$G \rightarrow D = \{d_1, \dots, d_m\}, \quad (2)$$

где d_i – элемент множества релевантных цели G данных.

С предметной точки зрения элемент d_i – фактор, каким-либо образом влияющий на достижение цели G .

Основными критериями включения элемента d_i в множество D являются:

- семантическая принадлежность (релевантность) элемента к предметной области;
- важность (вес) элемента d_i .

Важность – показатель, характеризующий степень влияния (вклад) на достижение цели G . Важность некоторых данных может быть неочевидна для конкретной цели G . Так, продолжая вышеприведенный пример (отток клиентов), следует определить необходимость использования соответствующих высказываний клиентов (данных) на специализированных площадках (banki.ru) и в социальных сетях (источников).

Постановка задачи (2) не является тривиальной. Большинство предметных специалистов, принимающих решение, затрудняются:

- в оценке объемов и качества скрытой информации, которую содержат данные;
- в определении источников данных.

Действительно, «найти данные для анализа – это отчасти наука, отчасти исследовательская работа и отчасти предположения» [Ohlhorst, 2013].

Методы формирования множества D – экспертные, результаты – уникальные и определяются целью G и квалификацией эксперта. Стоимостная характеристика процедуры формирования множества D и стоимость входящих в него данных в конкретных проектах имеют широчайшую вариативность. С точки зрения минимизации издержек на внедрение и последующую эксплуатацию информационной системы больших данных множество данных D должно отвечать условию семантической необходимости и достаточности для достижения цели G . Кроме этого, на стоимость технологии больших данных влияет еще и ряд рассматриваемых ниже характеристик.

Основные характеристики, влияющие на стоимость больших данных

Объем больших данных (Volume) – технический параметр, значения которого не вполне определены, в том числе и потому, что научно-технический прогресс непрерывно расширяет их диапазон. С экономической точки зрения объем данных прямо, но не всегда линейно влияет на стоимостные характеристики процесса обработки (генерация, передача, преобразование, хранение) данных. При этом стоимость обработки единицы данных существенным образом зависит от схемы и технологии обработки данных. Возможны варианты технологических решений, например, хранение данных в облаке, удешевляющее процедуру.

Кроме того, следует указать, что известны публикации, в которых показано, что чрезмерно большой объем данных также негативно влияет на результаты работы систем больших данных (ошибки в работе), как и их недостаток [Calude, Longo G, 2017].

Таким образом, в технико-экономическом обосновании инвестиционного проекта больших данных, очевидно, должен присутствовать раздел, аргументирующий объем данных для поставленных задач.

Семантика и синтаксис больших данных. Сущность работы с большими данными заключается в автоматизированной обработке семантики данных: постановку цели G , формирование множества D и методы обработки осуществляет эксперт, непосредственную обработку данных – ЭВМ.

Автоматизированная обработка семантической информации возможна только при ее формализации. В настоящее время это одна из самых трудных и дорогостоящих задач в IT-сфере. По этому критерию в теории больших данных выделяют структурированные, полуструктурированные и неструктурированные данные [Vozábal, 2016].

Структурирование – это выделение семантически важных элементов в информации и установление связей между ними. В структурированных данных четко и однозначно определены семантические единицы и связи между ними (например, реляционные данные). Обработка структурированных данных имеет наименьшую стоимость.

В неструктурированных данных семантические единицы и связи между ними, соответствующие предметной задаче, в явном виде не определены. Неструктурированные данные: текстовая (электронные письма, твиты, форумы, блоги), числовая (временные ряды данных финансовых рынков), графическая информация (рисунок, фото), аудио (массивы записей человеческой речи) и видеофайлы.

Работа с неструктурированными данными – технически сложная задача. Для их семантической обработки необходимы сложные математико-алгоритмические решения, дорогостоящее аппаратно-программное обеспечение с высокими техническими характеристиками. Техническая сложность обуславливает повышенную стоимость решений при разработке, эксплуатации и сопровождении систем больших данных. Это должно быть учтено при принятии решения о включении (важности) конкретного неструктурированного элемента d_i в множество D .

Кроме семантики в описании больших данных должен быть отражен *синтаксис*, под которым обычно понимают формально-структурные характеристики информации, не затрагивающие ее смыслового содержания. Физически в электронном виде формально-структурные характеристики данных реализуются в конкретных форматах файлов.

Корреспондируя и расширяя это понятие до технологии работы с данными, мы выявляем различия и, как следствие, ограничения (по производителям, платформам, версиям, форматам и др.) на аппаратно-программные средства. Экономический аспект этого явления заключается в необходимости введения в бизнес-процесс обработки данных дополнительной затратной процедуры согласования форматов данных. Простейший пример необходимости такой процедуры – согласование форматов файлов xls иxlsx табличного процессора Excel.

Интеграция данных. Ключевой в 3V-определении больших данных показатель *разнообразие* (Variety) предполагает сбор данных из двух и более источников данных с различными структурно-параметрическими характеристиками (синтаксис и семантика). Это означает обязательность процесса интеграции – объединения данных разнородных источников. Данные могут быть неоднородны как в части программной реализации (форматы), так и в части модели их представления (структуры). Интеграция обеспечивает единое представление (формирование полного и непротиворечивого набора данных) и оперирование этими данными [Dong, Srivastava, 2015].

В качестве примера интеграции приведём задачу «Аналитика телефонных переговоров» для контактных центров банков. Целями задачи могут быть:

- поиск каких-либо трендов на множестве телефонных коммуникаций (структурированная информация);
- распознавание определенного содержания (неструктурированная информация);
- увязка структурированных и неструктурированных данных с выделением новой (скрытой) информации.

Интеграция данных также весьма сложная техническая задача, решения которой находятся в начальной стадии. Выполнение этой обязательной для больших данных процедуры предполагает дополнительные затраты на аппаратно-программное обеспечение,

квалифицированный персонал и связано с дополнительными административно-хозяйственными расходами и временными издержками.

Техническая сложность задачи также сопряжена с повышенными рисками ошибок, отказами технических средств и иными нештатными ситуациями, прямо влияющими на экономические результаты организации (снижение ROI, рост TCO – полной стоимости владения информационной системой, total cost of ownership). Это означает, что наибольшие инвестиционные и эксплуатационные издержки технологии больших данных существуют при использовании (включении в D) всех видов неструктурированной информации.

Иные экономически значимые параметры больших данных. Для исследования экономической эффективности технологии больших данных целесообразно учитывать еще ряд параметров.

Режим обработки данных – способ выполнения задач, непосредственно влияющий на время, стоимость и другие характеристики. При обработке больших данных могут быть использованы режимы: пакетный; реального масштаба времени; разделения времени; регламентный; телеобработки, однопрограммный; мультипрограммный и др. [Шепелев и др., 2019].

Выбор режима обработки данных обусловлен условиями задачи (1). Так, для обработки транзакционных данных в anti-fraud задаче необходим режим реального времени, для определения динамики расходов клиентов возможно применение пакетного режима и т. д.

Инвестиционные и эксплуатационные расходы на реализацию режима обработки данных относятся к прямым издержкам и рассчитываются обычным калькулированием затрат.

Для некоторых задач имеют значение *темпоральные* (временные) *характеристики* данных: момент, интервал, период, время хранения [Jensen, 2000], обуславливающие особенности, в том числе экономические, их обработки. Для финансовых организаций это могут быть:

- разрыв между моментами генерации данных источником и окончанием их обработки приемником (режим торгов на Московской бирже T+2);
- асинхронное время работы источников и пользователей данных (мировые финансовые рынки);
- различные интервалы времени обработки одних и тех же данных при использовании их несколькими процессами или задачами (подготовка отчетности в разных разрезах и глубины детализации);
- загрузка данных «задним числом» (пакетная передача темпорально значимых данных) и др.

Для банков имеет значение время (стоимость) хранения больших данных. Например, платежные транзакции, актуальные в моменте, приобретают временное значение при анализе истории операций клиента.

Планируемые виды анализа данных. При постановке задачи (1) желательно определить вид анализа (Types of Data Analytics) больших данных, иначе – функционал информационной системы F . Как правило, вид (метод) анализа определяется требуемым результатом.

В терминах *Data Mining* виды анализа представляются двумя классами моделей: *описательными* (Descriptive) и *предсказательными* (Predictive). Виды моделей, составляющих каждый класс, формализуют задачу (1), например, выявление закономерностей между связанными событиями (ассоциация).

Решение задачи обеспечивается применением одного из методов Data Mining, соответствующего модели. В свою очередь, применение конкретного метода Data Mining накладывает определенные требования на характеристики данных D , например, вид данных: числовой, категориальный и др. [Барсегян и др., 2007; Kantardzic, 2020].

Экономические аспекты выбора метода анализа больших данных заключаются в сравнительной стоимостной оценке типового программного инструментария выполнения функционала F или стоимостной оценке вновь разрабатываемого инструмента.

Принадлежность данных. Информационная потребность организации в конкретных данных всегда сопряжена с вопросом о принадлежности прав владения, пользования, распоряжения данными. По этому критерию выделим внутренние (собственные) и внешние данные. Соответственно, можно говорить о внутренних и внешних источниках данных.

Внутренние данные (first party data) – это существующие, ранее созданные, полученные иным образом приобретенные для целей предметной деятельности и размещенные в хранилищах организации данные. Права на такие данные в полном объеме принадлежат этой организации, что означает отсутствие издержек на реализацию права их использования в технологии больших данных.

Внешние данные – данные, правообладателем которых являются третьи лица, сторонние для заинтересованной организации. В этом случае данные рассматриваются как объект экономических отношений (объект обмена, имеющий ценность, товар).

По критерию возмездности доступа (использования) к внешним данным выделим две категории: условно-бесплатные (shareware) и проприетарные данные (данные как услуга, data as a service). Обе схемы предполагают приобретение анонимизированных или агрегированных данных. Так, банк «УралСиб» обращается к размещаемым в свободном доступе данным ФНС РФ [Big Data, 2019], а АО «Национальное бюро кредитных историй» приобретало у одного из стартапов открытую информацию для оценки кредитоспособности пользователей социальной сети «ВКонтакте» (судебное дело № А40-18827/2017). Весьма интересными для таргетированных контактов банка могут быть агрегированные и анонимизированные данные геолокации клиентов.

В контексте настоящей статьи обращение к внешним источникам данных означает введение в функционально-стоимостную модель технологии больших данных дополнительных транзакционных издержек.

Заключение

Проведенное исследование выявило факторы роста монетизации и снижения издержек технологии больших данных. Полученные результаты полезны для обобщенного понимания стоимостной природы проекта и могут быть использованы при пилотном (предпроектном) технико-экономическом анализе систем больших данных, а также для экспертной поддержки принятия решений при невозможности количественной оценки результатов проекта.

Для более точной постановки задач анализа больших данных необходим учет не рассмотренных в настоящем исследовании уникальных факторов: географии, отрасли и размера организации [Release, 2018]. И, наконец, еще одним направлением дальнейших научных исследований является разработка подходов (методик) количественной оценки экономически значимых характеристик больших данных.

Список литературы

1. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И.. 2007. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP. СПб.: БХВ-Петербург, 384.
2. Карпычев В.Ю. 2010. Инвестирование в информационные технологии: проблемы и решения, Экономический анализ, 25: 2–8.
3. Плас. 2018. Big Data в банкинге: универсальных рецептов нет [Электронный ресурс]. URL: https://plusworld.ru/journal/section_2018/plus-2-2018/big-data-v-bankinge-universalnyh-retseptov-net/ (Дата обращения: 03.06.2020).
4. Указ Президента Российской Федерации № 204. 2018. О национальных целях и стратегических задачах развития РФ на период до 2024 года. [Электронный ресурс]. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/43027> (Дата обращения: 14.06.2020).
5. Шепелев К.В., Суркова Н.Е., Шувалова И.С. 2019. Анализ режимов автоматизированной обработки данных. Промышленные АСУ и контроллеры, 12: 48–53.
6. BBC. Demystifying Big Data in banking. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bbc.com/storyworks/banking-on-innovation/bigdata> (Дата обращения: 10.05.2020).

7. Big Data и ИИ в банках: тренд или реальный инструмент? 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://mcs.mail.ru/blog/big-data-i-ii-v-bankah-trend-ili-real-instrument> (Дата обращения: 02.06.2020).
8. Calude C.S., Longo G. 2017. The Deluge of Spurious Correlations in Big Data. *Foundations of Science*, Volume 22: 595–612.
9. Cnews. 2013. Как крупнейшие банки используют большие данные. [Электронный ресурс]. URL: https://cnews.ru/articles/kak_kрупnejshie_banki_ispolzuyut_bolshie (Дата обращения: 10.06.2020).
10. Dong X.L., Srivastava D. 2015. *Big Data Integration*. Morgan & Claypool. 178.
11. Frawley W., Piatetsky-Shapiro G., Matheus C. 1992. Knowledge Discovery in Databases: An Overview. *AI Magazine*: 213–228.
12. Glossary Gartner. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data> (Дата обращения: 12.02.2020).
13. Jensen C.S. 2000. *Temporal Database Management*. Aalborg University. 1323.
14. Kantardzic M. 2020. *Data mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms*. Wiley. Hoboken. 661.
15. Marr B. 2015. Where Big Data Projects Fail. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2015/03/17/where-big-data-projects-fail/#c8ef3f6239f6> (Дата обращения: 14.06.2020).
16. McKinsey. 2017. Fueling growth through data monetization. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-analytics/our-insights/fueling-growth-through-data-monetization> (Дата обращения: 09.06.2020).
17. McKinsey Global Institute. Big data: The next frontier for innovation, competition and productivity. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation> (Дата обращения: 12.02.2020).
18. Ohlhorst F. 2013. *Big Data Analytics Turning Big Data into Big Money*. Wiley. 176.
19. Reports and Data, 2019. Report: Data Monetization Market By Data Type, By Component, By Organization Size, By Deployment Mode (Cloud and On-premises), By End Use, By Industry Vertical, And Segment Forecasts, 2016-2026. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.reportsanddata.com/report-detail/data-monetization-market> (Дата обращения: 08.06.2020).
20. Release Summary. 2018. Сайт BusinessWire. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20180815005095/en/Revenues-Big-Data-Business-Analytics-Solutions-Forecast> (Дата обращения: 08.06.2020)
21. Vozábal M. 2016. *Tools and Methods for Big Data Analysis*. Pilsen. University of West Bohemia. 134.
22. World Economic Forum. 2017. Beyond Fintech: A Pragmatic Assessment Of Disruptive Potential In Financial Services [Электронный ресурс]. URL: http://www3.weforum.org/docs/Beyond_Fintech_-_A_Pragmatic_Assessment_of_Disruptive_Potential_in_Financial_Services.pdf (Дата обращения: 10.06.2020).

References

1. Barsegyan A.A., Kupriyanov M.S., Stepanenko V.V., Kholod I.I. 2007. *Tekhnologii analiza dannykh: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP [Data analysis technologies: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP]*. Saint-Petersburg: BKhV-Peterburg, 384.
2. Karpychev V.Yu. 2010. Investing in IT: problems and solutions. *Economic analysis*, 25: 2–8. (in Russian)
3. Plus. 2018. Big Data in banking: there are no universal recipes. Available at: https://plusworld.ru/journal/section_2018/plus-2-2018/big-data-v-bankinge-universalnyh-retseptov-net/ (accessed 03 June 2020). (in Russian)
4. President of the Russian Federation, edict № 204. 2018. Regarding national goals and and strategic development of the Russian Federation until 2024. Available at: <http://kremlin.ru/acts/bank/43027> (accessed 14 June 2020). (in Russian)
5. Shepelev K.V. Shepelev K.V., Surkova N.E., Shuvalova I.S. 2019. Analysis of automated data processing modes. *Industrial ACS and controllers*, 12: 48–53. (in Russian)
6. Big Data and AI in banks: a trend or a real tool? Available at: <https://mcs.mail.ru/blog/big-data-i-ii-v-bankah-trend-ili-real-instrument> (accessed 02 June 2020). (in Russian)
7. BBC. Demystifying Big Data in banking. Available at: <http://www.bbc.com/storyworks/banking-on-innovation/bigdata> (accessed 10 May 2020).

8. Calude C.S., Longo G. 2017. The Deluge of Spurious Correlations in Big Data. *Foundations of Science*, Volume 22: 595-612.
9. Cnews. 2013. How major banks use big data. [Электронный ресурс]. URL: https://cnews.ru/articles/kak_krupnejshie_banki_ispolzuyut_bolshie ((accessed 10 June 2020).
10. Frawley W., Piatetsky-Shapiro G., Matheus C. 1992. Knowledge Discovery in Databases: An Overview. *AI Magazine*: 213–228.
11. Glossary Gartner. Available at: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data> (accessed 12 February 2020).
12. Dong X. L., Srivastava D. 2015. *Big Data Integration*. Morgan & Claypool. 178.
13. Jensen C. S. 2000. *Temporal Database Management*. Aalborg University. 1323.
14. Kantardzic M. 2020. *Data mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms*. Wiley. Hoboken. 661.
15. Marr B. 2015. Where Big Data Projects Fail. Available at: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2015/03/17/where-big-data-projects-fail/#c8ef3f6239f6> (accessed 10 June 2020).
16. McKinsey. 2017. Fueling growth through data monetization. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-analytics/our-insights/fueling-growth-through-data-monetization> (accessed 09 June 2020).
17. McKinsey Global Institute. Big data: The next frontier for innovation, competition and productivity. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation> (accessed 12 February 2020).
18. Ohlhorst F. 2013. *Big Data Analytics Turning Big Data into Big Money*. Wiley. 176.
19. Reports and Data. 2019. Report: Data Monetization Market By Data Type, By Component, By Organization Size, By Deployment Mode (Cloud and On-premises), By End Use, By Industry Vertical, And Segment Forecasts, 2016-2026. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.reportsanddata.com/report-detail/data-monetization-market> (accessed 08 June 2020).
20. Release Summary. 2018. Available at: <https://www.businesswire.com/news/home/20180815005095/en/Revenues-Big-Data-Business-Analytics-Solutions-Forecast> (accessed 08 June 2020).
21. Vozábal M. 2016. *Tools and Methods for Big Data Analysis*. Pilsen. University of West Bohemia. 134.
22. World Economic Forum. 2017. Beyond Fintech: A Pragmatic Assessment Of Disruptive Potential In Financial Services. Available at: http://www3.weforum.org/docs/Beyond_Fintech_-_A_Pragmatic_Assessment_of_Disruptive_Potential_in_Financial_Services.pdf (accessed 10 June 2020).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Шальнова Юлия Павловна, ведущий экономист отдела экономической оценки Центра компетенций «Финансово-экономическая оценка» Службы финансового менеджмента ПАО Сбербанк, Нижний Новгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Julia P. Shalnova, Leading Economist of the Economic Assessment Department of the Financial and Economic Assessment Competence Center of the Financial Management Service of Sberbank, Nizhny Novgorod, Russia

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

УДК 663.2

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-501-511

Обзор рынка виноградарства и виноделия Российской Федерации на фоне общемировых тенденций

А.В. Гагерова, Е.П. ГармашоваСевастопольский государственный университет,
Россия, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: vip_belochka@mail.ru**Аннотация**

Цель: обзор ключевых тенденций и динамики развития российского рынка виноделия и виноградарства, а также выявление его базовых конкурентных позиций, составляющих потенциал для перспективного развития отрасли на фоне общемировых приоритетов в виноделии. Работа построена на использовании методов анализа, синтеза и обобщения данных. В результате исследования выделены сильные конкурентные позиции отечественного рынка виноделия, которые необходимо активно использовать для наращивания их присутствия на мировых рынках. Рост объемов отечественных вин, произведенных из собственного сырья, позволяет контролировать качество поставляемой продукции при активном увеличении территорий, занятых под виноградники.

Ключевые слова: виноградарство, виноделие, площади виноградников, потребление вина на душу населения, столовые вина, игристые вина.

Для цитирования: Гагерова А.В., Гармашова Е.П. 2020. Обзор рынка виноградарства и виноделия Российской Федерации на фоне общемировых тенденций. Экономика. Информатика. 47 (3): 501–511. DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-3-501-511.

Russian Federation viticulture and wine-making market overview with current global trends

A.V. Gagerova, E.P. GarmashovaSevastopol State University, 33 University St., Sevastopol, 299053, Russia
E-mail: vip_belochka@mail.ru**Abstract**

Purpose: The basic development trends of Russian winemaking and viticulture market were reviewed. Main competitive positions that make up the future development potential of the industry were identified. The position of Russian wines on the world markets is estimated. The work is based on the use of methods of analysis, synthesis and data aggregation. This article discusses dynamics vineyards areas in the Russian Federation, as well as development trends in comparison with world indicators. Trends and modifications of in recent years in the domestic wine production were analyzed. Changes in the structure, in the volume of consumption, main trends in wine pricing are traced. Industry's development perspectives are listed in accordance with the identified trends and patterns. Problem spheres, that require a comprehensive approach to their solution, are highlighted. The solution of the identified problems will increase the level of domestic wine products competitiveness on the domestic market and on the world market. The growth in the volume of domestic wines production from their own raw materials allows to control the quality of products. The increase in the area under vineyards allowed Russia to collect 0.81% of the world's harvest in 2018.

Keywords: viticulture, viniculture, vineyard areas, per capita wine consumption, table wines, sparkling wines.

For citation: Gagerova A.V., Garmashova E.P. 2020. Russian Federation viticulture and wine-making market overview with current global trends. *Economics. Information technologies*. 47 (3): 501–511 (in Russian). DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-3-501-511.

Введение

Винодельческой отрасли РФ на сегодняшний день по праву отводится значимое место среди других активно развивающихся и имеющих достаточно высокий уровень конкурентоспособности отраслей экономики. Продукция отечественной винодельческой отрасли обладает значительным, имеющим положительную динамику, потребительским спросом и объектом туристского интереса как для внутренних, так и для иностранных туристов. Высокий уровень спроса на продукцию отрасли создает базу, обеспечивающую существенный объем поступлений в федеральный и местные бюджеты страны в форме акцизных и налоговых отчислений. При этом основной характеристикой рынка виноделия и виноградарства выступают постоянно усиливающаяся конкуренция и непрерывная борьба за потребителя и новые ниши для успешного сбыта [Щербакова, 2014]. Одной из возможных перспектив для активного развития виноделия в РФ можно рассматривать значительные колебания по мировым показателям последних лет.

Использовались методы анализа и синтеза данных, оценки ретроспективных данных.

Исследование ориентировано на обзор ключевых тенденций развития российского рынка виноделия и виноградарства.

Новизна исследования заключается в том, что авторами выявлены, проанализированы и обобщены базовые конкурентные позиции, составляющие потенциал для перспективного развития отрасли на фоне общемировых тенденций развития виноделия. Полученные результаты могут использоваться в рамках разработки стратегии отдельных винодельческих предприятий и оценки их конкурентоспособности на рынке.

Оценке проблем и перспектив винодельческой и виноградарской отрасли в последние годы посвящен целый ряд работ российских исследователей, аналитиков, специалистов винодельческой отрасли, инвестиционных компаний. При этом тема остается актуальной в связи с непрерывной динамикой условий и факторов развития отрасли.

Основные результаты исследования

Согласно данным, опубликованным OIV («Международная организация виноградарства и виноделия») по итогам 2018 г. 7,45 млн га приходилось на общемировые площади виноградников [OIV 2018 report on the world vitivinicultural situation]. Прирост к 2017 г. составил всего 0,32 % или 24 тыс. га. При этом необходимо отметить, что это первая неотрицательная тенденция, начиная с 2014 г. В совокупности мировые площади за весь период с 2014 по 2018 г. включительно сократились с 7557 тыс. га, т. е. на 1,43 % [Pomranz, 2019].

Площади, занятые под виноградниками по всем странам мира по итогам 2018 года, на 51 % устойчиво представлены странами-лидерами: Испанией (969 тыс. га в 2018 г.), Китаем (875 тыс. га), Францией (793 тыс. га), Италией (705 тыс. га) и Турцией (448 тыс. га). По перечисленным странам (кроме Турции) отмечен в сравнении с 2017 г. прирост. Сокращение связано с устойчивым ежегодным уменьшением площади виноградников США, Ираном, а также Португалией и Турцией. То есть странами-лидерами отрасли, входящими в первую десятку [Анализ рынка вин в России]. Указанные площади позволили собрать в 2017 г. 73,3 млн тонн, а в 2018 г. – 77,8 млн тонн, 52 % и 57 % из которых соответственно были направлены в винодельческую отрасль [Pomranz, 2019].

Общая площадь, занятая под виноградники в России, оценена по итогам 2018 г. в 92 тыс. га [Расцвет виноградарства в РФ] (для сравнения: в Италии задействовано под возделывание виноградников – 699 тыс. га, а в Португалии – 194 тыс. га) [OIV 2018 report on the world vitivinicultural situation]. Это определило ее позицию 19-м местом в мировом

рейтинге. В качестве положительного момента необходимо выделить устойчивый ежегодный прирост площадей, занятых виноградниками с 2013 г. в размере 48,39 %. Наибольший скачок прослеживаем в 2014 г. (рис. 1).

Совокупный объем урожая винограда, собранного с указанных площадей по всем странам мира в 2018 г., составил 77,8 млн тонн, что на 6,58 % выше показателя 2017 г. В свою очередь, совокупный объем собранного по всем странам мира винограда в 2017 г. показал падение на 3,31 % в сравнении с 2016 г. [World wine production 2018].

Первое место по объему урожая винограда устойчиво принадлежит Китаю (11,7 млн тонн) и Италии (8,6 млн тонн). При этом всего 10,3 % от общего объема урожая винограда, собранного в 2018 г. Китаем, является винным [World wine production 2018]. По Италии доля винного винограда составила 86,5 %. 99,6 % от совокупного урожая винограда Франции в 2018 г. являлось винным (в целом Франция заняла 5-е место – 6,2 млн тонн) [OIV 2018 report on the world vitivinicultural situation].

Российские аграрии собрали в 2018 г. 0,63 млн тонн винограда, что составило 0,81 % от общего мирового урожая [Рынки алкоголя и табачной продукции 2018]. По итогам 2017 г. доля российского винограда в общемировом объеме урожая составила 0,79 %.



Рис. 1. Динамика российских площадей, занятых под виноградники (составлен по [Виноделия работают над импортозамещением])

Fig. 1. Russian area of vineyards dynamic

Кроме того, прослеживаем устойчивый прирост собранного объема урожая по РФ: в 2018 г. – на 8,6 %, в 2016 г. – на 15,38 % (рис. 2), как и ее лидерское положение в сравнении с целым рядом стран СНГ, специализирующихся на виноделии и виноградарстве [Раджабов, 2019].

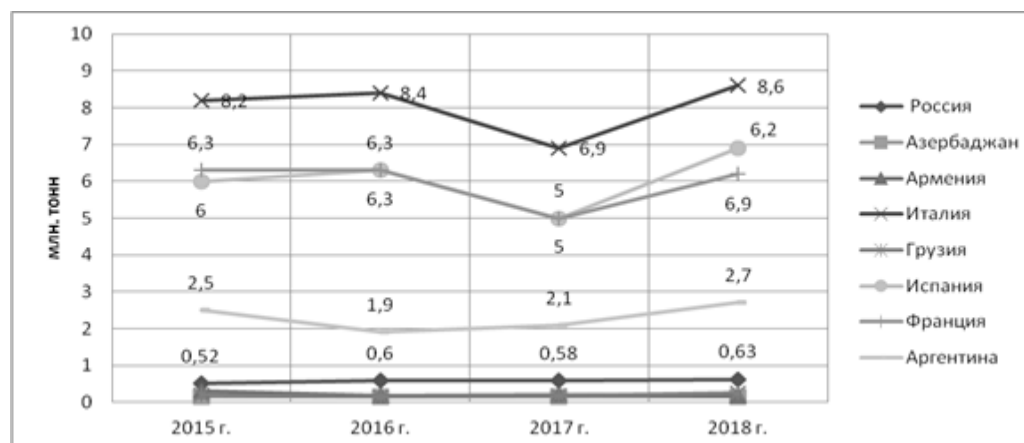


Рис. 2. Объемы сбора урожая винограда РФ и некоторыми зарубежными странами (составлен по [Раджабов, 2019; OIV 2018 report...])

Fig. 2. Grape harvest volumes in Russia and some foreign countries

В отличие от площадей виноградников и их урожайности, по объемам производства продукции винодельческой отрасли в натуральном выражении Россия заняла согласно официальным итогам за 2018 г. 13-е место, а по объему импорта виноградных вин и сула – вошла в пятерку крупнейших мировых рыночных игроков [Расцвет виноградарства в РФ].

2018 год считается рекордным по объемам производства вин в общемировом масштабе – 282 млн декалитров после наиболее низких итогов 2017 г. (251 млн дал.). В 2019 г. произошло сокращение производства вина на мировом уровне до 263 млн дал. в связи с активным изменением климатических условий [World wine production 2018].

Лидерами рынка по объемам произведенного вина по результатам 2018 г. стали: Италия (48,5 млн дал., с приростом в 14 % к 2017 г.) и Испания (40,9 млн дал.). Эти две страны продемонстрировали рекордный за последнее десятилетие прирост. Максимальный спад производства вина в 2017 г. отмечен в Бразилии – 55 % и в Венгрии – 38 %; в 2018 г. – в Португалии – 22 % и в Бразилии – 17 %. Россия продемонстрировала значительное падение производства продукции винодельческой отрасли в 2017 г. (-9,62 %) и затем еще на 4,9 % за 2018 г. [Pomranz, 2019].

Объем производства вин отечественными предприятиями винодельческой отрасли составил в 2016 г. 36,25 млн дал., в 2017 г. – 31,97 млн дал. и по итогам 2018 г. – 30,41 млн дал. То есть прослеживаем сокращение объемов производства в 2017 г. ниже уровня 2014 г. [Россия в цифрах 2018]. Если сравнить итоги 2018 г. и 2010 г., то снижение объемов выпуска вин российскими предприятиями составило 43,79 % (рис. 3).



* предварительные данные Росстата

Рис. 3. Динамика производства столовых вин российскими предприятиями (составлен по [Виноделы работают над импортозамещением])

Fig. 3. Russian wine production dynamic

Несмотря на факт активного развития собственной винодельческой отрасли, российское производство вина в значительной мере находится в непосредственной зависимости от импортного сырья. Согласно различным оценкам экспертов, доля импортных виноматериалов в отечественном производстве достигает 60–70 % [Виноделы работают над импортозамещением]. Как следствие, делаем вывод, что пересчет структуры рынка, доля отечественных вин, произведенных из виноматериалов российского происхождения, в итоге сокращается.

С 01.07.2020 г. вступит в силу федеральный закон от 27.12.2019 г. № 468-ФЗ «О виноградарстве и виноделии в РФ». Согласно новому закону, надпись «Вина России» должна будет в обязательном порядке размещена на винных напитках, при производстве которых на 100 % были использованы отечественные виноматериалы. По состоянию на текущий момент дефицит урожая винограда не позволит разместить такие этикетки даже на 50 % отечественного производства вин [Новый закон об «импортозамещении» вина...].

Объем продаж вин на российском рынке обеспечивается устойчиво продукцией отечественного производства не более, чем на 35 %. Согласно итогам за 2015 г. было продано

100 млн дал. вина на отечественном рынке, по итогам 2017 г. – 95 млн дал., в 2019 г. по предварительным оценкам 96,2 млн дал. вина, в том числе 50,6 млн дал. тихих вин [Матушевская, Огильба, 2016; Развитие и перспективы рынка вина в России 2019] (рис. 4).



*- предварительные данные Росстата

Рис. 4. Динамика продажи вина на российском рынке
(составлен по [Развитие и перспективы рынка вина в России 2019; Россия в цифрах 2018])
Fig. 4. Wine sales on the Russian market dynamic

Из графика наблюдается устойчивое снижение объемов продаж вина в России за период с 2015 по 2018 гг. и затем значительный прирост в 2019 г.

Рост среднего уровня доходов населения РФ и активная популяризация культуры потребления вин выступают в качестве ключевых факторов обеспечения спроса на них. Параллельно прослеживаем усиление государственного контроля за производством крепкой алкогольной продукции и рост цен на неё при сокращении населения трудоспособного возраста (с 85,9 млн чел в 2014 г. до 82,7 млн чел по итогам 2017 г. [Рынки алкоголя и табачной продукции 2018]), то есть основной категории потенциальных потребителей.

В России в июле 2018 г. на законодательном уровне был введен помарочный (или поштучный) учет алкоголя в Единой государственной автоматизированной информационной системе (ЕГАИС) учета объема производства и оборота алкогольной продукции [Новый закон об «импортозамещении» вина]. Это нашло прямое отражение в ценовой политике.

На протяжении последних 50 лет несколько раз в значительной мере существенно изменялась структура потребления вина, а также экономическая и социальная роль винодельческой отрасли в России [Рыкова, Губанов, 2016]. В 70-х гг. XX в. среднее потребление в расчете на душу населения составляло до 15 л вина. Затем наблюдалось резкое и значительное сокращение объемов потребления вина российским населением, вследствие уменьшения доходов активной антиалкогольной политики со стороны руководства страны. Уже к 90-м гг. прошлого века потребление вина сократилось в 6 раз в сравнении с данными за 1970 г., т. е. всего до 2,5 л. на душу населения [Цапелик]. Происходит переориентация рынка алкогольной продукции на водку.

Постепенный рост начал прослеживаться только к концу 90-х гг. прошлого века. В 2009 г. на душу населения в РФ потреблялось в среднем 6 л вина в год [Щербакова, Цветкова, 2014]. До 2014 г. была характерна тенденция к росту уровня потребления вина до 6,79 л на человека в год в среднем по России. По итогам 2018 г. снова прослеживаем уменьшение потребления вина в среднем в расчете на душу населения до 3,6 л из-за значительного роста цен и сокращения реального уровня доходов населения в целом по стране [Анализ рынка вин в России] (рис. 5). Доля алкогольной продукции в объеме приобретенных товаров повседневного потребления, согласно оценкам экспертов, не превышала 20 % в сравнении с 20,2 % за 2017 г. В 2018 г. Россия заняла 21 место в мире по суммарному потреблению вина [Анализ рынка вин в России].

Последние несколько лет происходит сокращение общего потребления алкоголя в целом и вин в частности в среднем на душу населения в РФ. Так в 2018 году в общем объеме продаж алкогольной продукции на отечественном рынке на долю вина приходилось 16,3 % [Рынки алкоголя и табачной продукции 2018]. При этом устойчивый спрос в основном имеют импортные вина. Такая тенденция в спросе остается актуальной, несмотря на то что большую часть стоимости импортных вин составляют расходы на качественную пробку, бутылку, этикетку, доставку, а также на приобретение акциза. Импорт вин в РФ за 2019 г. вырос в общей сложности на 15,8 %.

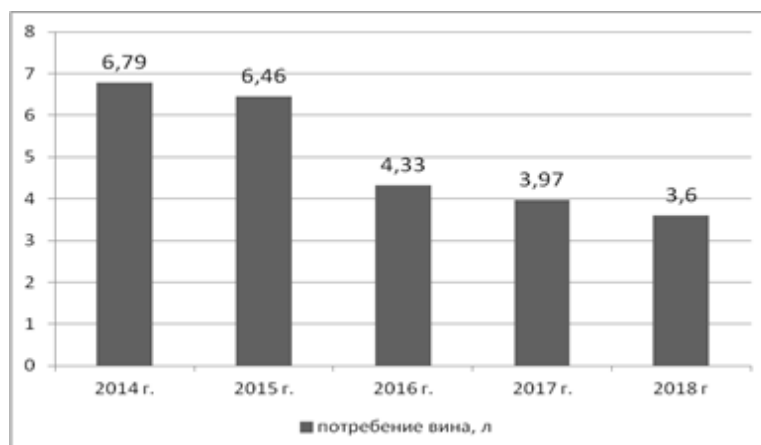


Рис. 5. Динамика объемов потребления вина на душу населения в РФ (составлен по [Анализ рынка вин в России])

Fig. 5. Wine consumption per capita Dynamics in the Russian Federation

На рис. 6 отражено изменение темпов роста производства и реализации вин на российском рынке. С 2017 г. темпы роста по объемам продаж на отечественном рынке вина превышают темпы роста по объемам производства.



Рис. 6. Изменение темпов роста производства и реализации вин на российском рынке (составлен автором)

Fig. 6. The changes Russian market's growth rate of wine production and sales

В 2018 г. на российском рынке вин в структуре натуральных продаж лидировали столовые вина. Их доля в совокупном объеме продаж составила 76,7 % (табл. 1).

На втором месте по объему продаж – были игристые и газированные вина с долей в 21,9 %. Доля продажи специальных вин по всем регионам РФ в 2018 г. составила 1,4 % (рис. 7). В целом с 2014 г. по 2018 г. наибольший спад реализации продукции наблюдался в категории специальных вин и составил более 56 % за пятилетие. Продажи игристых и

газированных вин за исследуемый период снизились на 20,3 %. Реализация столовых вин сократилась на 9,0 % [Расцвет виноградарства в РФ]. Доля продаж игристых и шампанских вин в 2017 г. составила 15,34 %, что на 2,41 % меньше, чем в 2014 г. Доля продажи фруктовых вин наоборот выросла с 4,23 % в структуре в 2014 г. до 10,54 % – в 2017 г., т. е. на 6,31 %. По винным напиткам также видим рост доли в структуре продаж до 27,25 %. В сравнении с 2014 г. прирост составил в итоге 5,2 % [Развитие и перспективы рынка вина в России 2019].

Таблица 1

Table 1

Данные об объемах производства и продаже вина в РФ
The volume of wine Russian Federation production and realization

Наименование вина, тыс. дал	2014 год	2015 год	2016 год	2017 год	2018 год
Производство					
Вина игристые	15011,2	16015,8	14734,9	12774,6	12443,2
Вино, в т. ч.	64157,2	79931,2	73740,5	76714,3	78613,3
вина столовые	32078,6	39926,5	36835,6	44740	48199,3
вина тихие	32078,6	40004,7	36904,9	31974,3	30414
Вина ликерные	29	13,6	84,4	57,4	77,1
Вино фруктовое	4483	5246,4	6085,4	15059	14156
Винные напитки	15985,1	22063,2	29581,2	22251,6	25206
Реализация					
Вина игристые	29634,3	26277,5	19280,1	16489,8	16108,9
Вино	93025,7	81056,3	71428,1	50281,9	49606
Вина ликерные	463,6	333,8	381,2	125,1	74,23
Вино фруктовое	7056,1	6147,5	5780,1	11328	14768
Винные напитки	36807,6	34606,8	39443,7	29294,8	25809

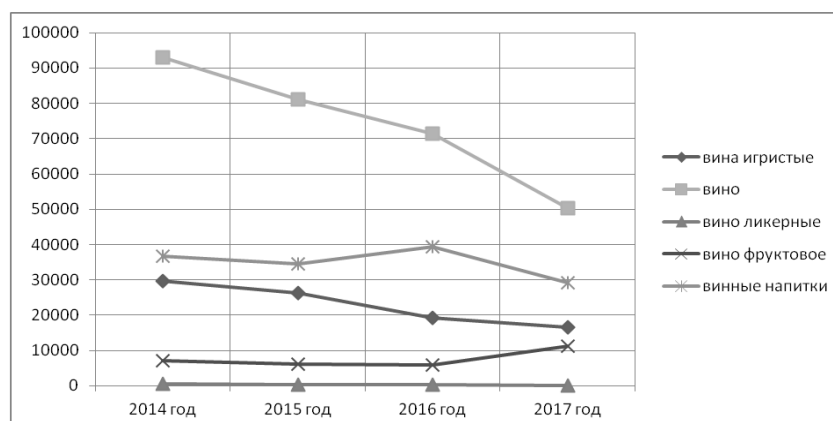


Рис. 7. Объемы продажи продукции виноделия по РФ, тыс. дол.

Fig. 7. The wine products in Russia, thousand dol

На рис. 8 показана доля, приходящаяся на реализацию разных категорий продукции виноделия в 2014 и в 2017 гг. в общем объеме реализации винодельческой продукции по РФ.

В 2016–2018 гг. физический объем поставок иностранных вин (включая игристые вина) в РФ находится на стабильной отметке почти 41 млн дал, по данным Федеральной таможенной службы. В стоимостном выражении наблюдается рост: если в 2016 г. вина было ввезено на 653,88 млн дол., то за 2017 г. – на 41,1 % больше, то есть на общую сумму в 922,83 млн дол. Объем импортных поставок вин на российский рынок за период с 2015 г. по 2019 г. вырос на 64,57 % [Развитие и перспективы рынка вина в России 2019].

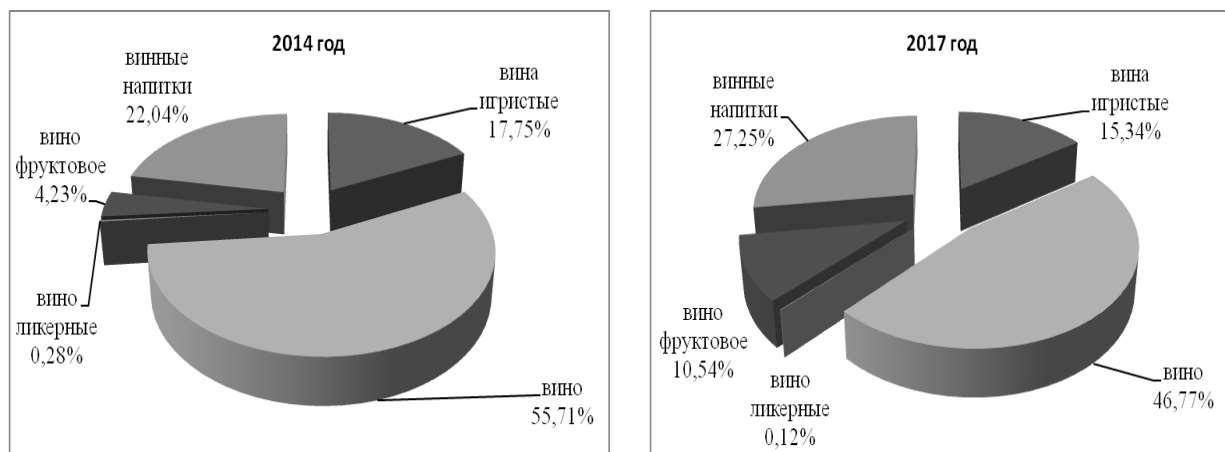


Рис. 8. Доля продаж вина по категориям в общем объеме продаж винодельческой продукции по РФ
 Fig. 8. The wine sales by category share in total volume sales of Russian wine production

Сокращение объема продаж вина с 2014 г. связано с регулярным ростом цен на него. Цены в свою очередь устойчиво росли вслед за систематическим ростом ставок акциза и цен на импортные виноматериалы, а также на комплектующие (этикетки, бутылки, укупорки).

За 2013–2018 гг. цена реализации вина в стране в целом выросла на 49,9 %, то есть с 266,5 руб. до 399,4 руб. в среднем за 1 литр. При этом наибольший прирост показателя отмечался в 2015 г. – на 21,9 % к уровню 2014 года. Такая динамика стала прямым следствием резкой девальвации рубля на 56,1 %. Цена производителей также показывает устойчивый рост по винам: 75,14 руб./литр в 2016 г. и 116,1 руб./литр в 2018 г. Отсюда прирост цены производителя на вина составил 54,5 % за 2 года.

По игристым и шампанским винам цена производителя в 2017 г. выросла по отношению к 2016 г. всего на 1,1 % или на 1,53 руб./литр [Расцвет виноградарства в РФ]. В среднем в 2018 г. цена на шампанские и игристые вина в среднем у российского производителя была на 8,6 % выше, чем в 2017 г. (рис. 9). На рис. 10 показана динамика роста цен реализации на вино с 2012 по 2017 г. в среднем для конечного потребителя.



Рис. 9. Цены производителя в среднем по РФ на вина и игристые вина без акциза (составлен по [Расцвет виноградарства в РФ])
 Fig. 9. Average producer prices for RF wines and sparkling wines without excise duty



Рис. 10. Цены реализации в среднем по РФ на вина и игристые вина отечественного производства (составлен по [Расцвет виноградарства в РФ])

Fig. 10. Average sales prices for RF wines and sparkling wines

Заключение

На основе рассмотренных и проанализированных данных по виноделию и виноградарству можно выделить ряд перспектив развития данной сферы экономики в нашей стране:

– несмотря на незначительные в мировом масштабе площади, занятые под виноградники в РФ (19-е место – 92 тыс. га) и объем урожая винограда, составляющий всего 0,81 % в 2018 г. от общемирового, прослеживаются положительные тенденции для нашей страны по исследуемой экономической сфере деятельности;

– благоприятные климатические условия и популяризация потребления вина, а, следовательно, и спроса на него, способствуют росту заинтересованности аграриев в наращивании потенциала отечественного виноградарства;

– ежегодно увеличиваются площади, отведенные под виноградники во всех специализирующихся на виноградарстве регионах виноградарства РФ. Данная тенденция позволяет прогнозировать сокращение зависимости от импортного виноматериала и увеличивать объем производства отечественных вин;

– рост объемов отечественных вин, произведенных из собственного сырья, позволяет в полной мере контролировать качество поставляемой в результате на рынок продукции и усиливать его конкурентные позиции;

– наращивание выпуска вин из собственного сырья позволяет проводить постепенное импортозамещение, а также контролировать отпускные цены.

Среди отрицательных тенденций, которые прослеживались в ходе анализа, можно выделить следующий ряд:

– незначительные объемы площадей, занятых под виноградники в РФ, а также фактически получаемый ежегодно уровень урожая не позволяет в достаточной мере обеспечить производственные мощности винодельческих предприятий (до 70 % импортное сырье);

– внесение поправок в законодательство РФ, касающееся винодельческой отрасли с 01.07.2020 г., приведет к острой нехватке собственного сырья для обеспечения выпуска достаточного объема продукции виноделия под маркой «Вина России»;

– высокий уровень спроса на импортную продукцию виноделия со стороны населения не способствует соответствующему росту спроса, позволяющему увеличивать объемы производства и реализации вин на отечественном рынке;

– существует объективная необходимость активного продвижения отечественных вин как на внутреннем российском рынке, так и на международном. При этом возникает ряд проблем, связанных с острой конкуренцией с рядом стран, обладающих большим опытом и потенциалом для развития виноделия и виноградарства;

– систематический рост цен на продукцию винодельческой отрасли ведет к сокращению спроса на нее со стороны населения ввиду того, что покупательная способность растет значительно более медленными темпами;

– российский экспорт вина за рубеж за период с 2015 г. по 2019 г. вырос на 85,29 %.

Имеющийся значительный потенциал для наращивания площадей, отведенных под виноградники, создает базовые условия для увеличения объемов производства продукции российского виноделия.

Научный результат проведенного исследования состоит в том, что были выявлены весомые сдерживающие факторы для развития виноделия на российском рынке. Среди таких факторов определены: недоверие к качеству вин российского производства со стороны как отечественного, так и иностранного потребителя, а также высокая конкуренция, связанная с предложением на рынке широкой линейки импортной продукции. Принятие нового законодательства в отношении виноделия в РФ и представленная динамика рассмотренных показателей в совокупности с выделенными перспективами развития отрасли определяет направления и возможности для стратегического ориентирования в развитии отдельных предприятий отрасли, обозначая для них потенциальные ниши для наращивания своего присутствия.

Список литературы

1. Анализ рынка вин в России [Электронный ресурс] Отчет BusinesStat. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/11298/>
2. Виноделы работают над импортозамещением. Информационно-аналитический портал Best4service URL: <http://journal.best4service.ru/vinodely>
3. Концепция развития виноградарства и виноделия в Российской Федерации на период 2016–2020 годов и плановый период до 2025 года [Электронный ресурс]. Портал правительства России. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/718/events>
4. Матушевская Е.А., Огильба А.В. 2016. Динамика и перспективы развития винодельческой отрасли в Российской Федерации. Актуальные вопросы права, экономики и управления. Сборник статей V международной научно-практической конференции. Пенза, Наука и Просвещение: 256–262.
5. Новый закон об «импортозамещении» вина может сократить долю российских вин [Электронный ресурс] Информационное агентство КВ: новости и аналитика от 19.01.2020. URL: <https://rossaprimavera.ru/feed/news>
6. Раджабов А.К., Мишуоров Н.П., Щеголихина Т.А. 2019. Состояние и перспективы развития виноградарства, включая питомниководство: научно аналитический обзор. М., ФГБНУ «Росинформагротех», 92.
7. Развитие и перспективы рынка вина в России 2019 [Электронный ресурс]. Портал о пищевой промышленности СФЕРА. URL: <https://sfera.fm/articles/konditerskaya/>
8. Расцвет виноградарства в РФ [Электронный ресурс] Материалы информационно-аналитического сайта от 11.07.2019 <https://aftershock.news/770146>
9. Россия в цифрах 2018 [Электронный ресурс] Онлайн стат. сборник. URL: <https://nangs.org/analytics/rosstat.pdf>
10. Рыкова И.Н., Губанов Р.С. 2016. Анализ состояния и перспективы стратегического развития виноградарства в России. Вестник Ростовского государственного экономического университета, 1 (53): 170–179.
11. Рынки алкоголя и табачной продукции 2018. Отчет [Электронный ресурс]. Аналитический центр при правительстве РФ. URL: <https://ac.gov.ru>
12. Скоробогатов М.В., Захарова А.Г. 2014. Особенности развития винодельческой отрасли России в современных условиях [Электронный ресурс] Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент», 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-razvitiya-vinodelcheskoj-otrasli-rossii-v-sovremennyh-usloviyah>
13. Цапелик В. Российские вина: история, современность и стили [Электронный ресурс]. Портал о виноделии и виноградарстве Vinmoldova/ URL: <http://www.vinmoldova.md/analytics/vladimir-tsapelik-rossijskie-vina-istoriya-sovremennost-i-stili/>
14. Щербакова Т.С., Цветкова Л.К. 2014. Конкурентоспособность российского виноделия: проблемы и возможности развития. Вестник РУДН, серия Экономика, 3: 75–86.
15. OIV 2018 report on the world vitivinicultural situation. News, November 2019. URL: <http://www.oiv.int/en/oiv-life/oiv-2019>
16. Pomranz M. Wine Production Saw a Massive Turnaround in 2018/ Report. July 2019. URL: <https://www.foodandwine.com/wine/wine-production-2018-report>

17. World wine production 2018/ Global economic vitiviniculture data press release. Paris, 26 October 2018. URL: <http://www.oiv.int/public/medias/6307/.pdf>

References

1. Analysis of the wine market in Russia/ Report BusinesStat. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/11298/>
2. Winemakers are working on import substitution. Information and analytical portal Best4service URL: <http://journal.best4service.ru/vinodely>
3. The concept of development of viticulture and winemaking in the Russian Federation for the period 2016–2020 and the planning period until 2025. Portal of the government of Russia. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/718/events>
4. Matushevskaya E.A., Ogilba A.V. 2016. Dynamics and prospects of development of the wine industry in the Russian Federation. Current issues of law, Economics and management. Collection of articles of the V international scientific and practical conference, Penza, Science and Education: 256–262.
5. The New law on "import substitution" of wine can reduce the share of Russian wines. news Agency KV: news and Analytics from 19.01.2020. - URL: <https://rossaprimavera.ru/feed/news>
6. Radzhabov A. K., Mishurov N.P., Shchegolikhina T. A. 2019. State and prospects of development of viticulture, including nursery production: scientific and analytical review. Moscow: FGBNU "Rosinformagrotech", 92.
7. Development and prospects of the wine market in Russia 2019. Portal about the food industry sphere. URL: <https://sfera.fm/articles/konditerskaya/>
8. The development of viticulture in Russia. Materials of the information and analytical site from 11.07.2019 <https://aftershock.news/770146>
9. Russia in numbers 2018 [Электронный ресурс]. Online statistics. URL: <https://nangs.org/analytics/rosstat.pdf>
10. Rykova I.N., Gubanov R.S. 2016. Analysis of the state and prospects of strategic development of viticulture in Russia. Bulletin of the Rostov state University of Economics, 1 (53): 170–179.
11. The markets of alcohol and tobacco products 2018. Report. Analytical center under the government of the Russian Federation. URL: <https://ac.gov.ru>
12. Skorobogatov M.V., Zakharova A.G. 2014. Features of the development of the wine industry in Russia in modern conditions. Scientific journal of the ITMO research INSTITUTE. Series "Economics and environmental management", 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-razvitiya-vinodelcheskoy-otrasli-rossii-v-sovremennyh-usloviyah>
13. Tsapelik V. Russian wines: history, modernity and styles. Portal about wine and viticulture Vinmoldova. URL: <http://www.vinmoldova.md/analytics/vladimir-tsapelik-rossijskie-vina-istoriya-sovremennost-i-stili/>
14. Shcherbakova T. S., Tsvetkova L. K. 2014. Competitiveness of Russian winemaking: problems and opportunities for development. Vestnik RUDN, Economics series, 3: 75–86.
15. OIV 2018 report on the world vitivinicultural situation. News, November 2019. URL: <http://www.oiv.int/en/oiv-life/oiv-2019>
16. Pomranz M. Wine Production Saw a Massive Turnaround in 2018. Report. July 2019. URL: <https://www.foodandwine.com/wine/wine-production-2018-report>
17. World wine production 2018. Global economic vitiviniculture data press release. Paris, 26 October 2018. URL: <http://www.oiv.int/public/medias/6307/.pdf>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гагерова Анастасия Викторовна, магистрант, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

Гармашова Елена Петровна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики предприятия института финансов, экономики и управления ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anastasiya V. Gagerova, Master's Degree Student, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Elena P. Garmashova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Enterprise Economics, Institute of Finance, Economics and Management, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

УДК 338.012

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-512-521

Динамика развития авиаотрасли: тренды и пандемийные вызовы

Т.Б. Климова

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

Аннотация

В статье рассмотрена динамика развития авиаотрасли в «допандемийную эпоху» и сложившаяся ситуация в отрасли, связанная с распространением COVID-19 и его последствиями. Международная ассоциация воздушного транспорта (IATA) отметила, что никогда в истории авиационная отрасль не сталкивалась с подобной ситуацией. Для решения таких срочных проблем во всем мире принимаются скоординированные меры авиационных властей и бизнеса. В статье автор концентрирует внимание на том, что сгладить последствия нынешней экономической нестабильности без эффективной государственной поддержки не удастся. Менеджменту авиакомпаний, со своей стороны, также необходимо разрабатывать новые стратегии, научиться использовать новые инструменты и стандарты, перспективные технологии, мобилизовать все возможности для дальнейшего развития, которые непременно откроются, так как последствия кризиса приводят к необходимым для дальнейшего роста позитивным изменениям. Отмечено, что для достижения сбалансированного и эффективного перезапуска отрасли необходим глобальный подход, основанный на оценке мер по снижению рисков восстановления отрасли с необходимостью разблокировать экономику и обеспечить возможности пассажирских авиаперелетов.

Ключевые слова: авиакомпании, авиаперевозки, пассажиропоток, Международная ассоциация воздушного транспорта, пандемия.

Для цитирования: Климова Т.Б. 2020. Динамика развития авиаотрасли: тренды и пандемийные вызовы. Экономика. Информатика. 47 (3): 512–521. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-512-521.

Dynamics of the aviation industry: trends and pandemic challenges

T.B. Klimova

Belgorod State University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: Tklimova@bsu.edu.ru

Abstract

The article considers the dynamics of the aviation industry development in the "pre-pandemic era" and the current situation in the industry related to the spread of COVID-19 and its consequences. The International Air Transport Association (IATA) noted that the aviation industry has never faced such a situation in its history. To solve such urgent problems, coordinated measures are being taken by aviation authorities and businesses around the world. In the article, the author focuses on the fact that it will not be possible to smooth the consequences of the current economic instability without effective state support. Airline management, for its part, also needs to develop new strategies, learn to use new tools and standards, promising technologies, and mobilize all the opportunities for further development, which will certainly open up, as the consequences of the crisis lead to the positive changes necessary for further growth. It is noted that in order to achieve a balanced and effective restart of the industry, a global approach is needed, based on the assessment of measures to reduce the risks of restoring the industry with the need to unblock the economy and provide opportunities for passenger air travel.

Keywords: airlines, air transportation, passenger traffic, International Air Transport Association, pandemic.

For citation: Klimova T.B. 2020. Dynamics of the aviation industry: trends and pandemic challenges. Economics. Information technologies. 47 (3): 512–521. (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-512-521.

Введение

Глобализация способствовала развитию гражданской авиации, и последние десятилетия характеризовались достаточно быстрыми темпами ее роста. Открытие воздушного пространства и международного сообщения, введение безвизового режима и отмена пограничного контроля между многими странами, а также научно-технический прогресс положительно сказывались на всей авиационной отрасли, превратив ее в доступный и наиболее комфортабельный вид транспорта.

На конец 2018 года мировой пассажиропоток гражданской авиации увеличился с 1,4 млрд пассажиров в 1970 г. до 4,3 млрд пассажиров [Мальцев А.А., Матвеева А.В., 2018, Годовые доклады..., 2018, Статистические данные..., 2018].

Среди ярких событий этого периода в отрасли можно выделить [История развития..., Деловой авиационный портал, 2002]:

- ввод первого в мире дальнемагистрального широкофюзеляжного пассажирского самолета Boeing – 747 (в последующем были введены и другие модели Boeing и Airbus), позволившего в следующие годы увеличить максимальную дальность полета до 12400 км. (1970 г.);

- ввод первого беспосадочного рейса авиакомпании Cathay Pacific по маршруту Гонконг – Ванкувер, соединившего азиатский регион к западу от Японии с Северной Америкой (1980 г.);

- ввод первой программы лояльности для часто летающих пассажиров авиакомпании American Airlines (1981 г.);

- массовое появление бюджетных авиакомпаний – «лоукостеров» (1998 г);

- ввод самого длинного беспосадочного рейса из Гонконга в Лондон, протяжённость трассы – 21 602 км., время в пути – 22 ч. 40 мин. (2005 г.);

- выпуск самолета Boeing 787, что в дальнейшем определило конкурентные позиции американской авиационной промышленности, которая с 2015 г. станет лидером по производству широкофюзеляжных пассажирских самолетов, выпуская примерно в два раза больше самолетов, чем европейский Airbus.

В настоящее время авиационный транспорт является важным инструментом развития мировой экономики.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования в данной статье являются авиационная отрасль и авиакомпании, которые в настоящее время оказались в масштабной кризисной ситуации, вызванной пандемией COVID-19. Основными источниками для написания данной статьи послужили статистические данные и итоги исследований Всемирной туристской организации (UNWTO), данные исследований Международной организации гражданской авиации (ICAO), Международной ассоциации воздушного транспорта (IATA), рейтинги Британской консалтинговой компании SKYTRAX. Для всестороннего изучения объекта исследования использованы источники научных и периодических изданий по проблемам развития мирового рынка гражданской авиации и пассажирских авиационных перевозок, аналитические отраслевые обзоры, включая обзоры рынка авиаперевозок, подготовленные Объединенной авиастроительной корпорацией и представленные в открытых источниках. В статье использовались методологические подходы, в том числе концептуальные положения системного подхода, методы логического анализа и синтеза, а также методы дедукции, сравнительного анализа, анализа микроэкономической динамики, графической интерпретации данных.

Результаты и их обсуждение

Согласно данным ЮНВТО более 50 % путешествий по всему миру приходится на долю авиатранспорта (800 млн туристов). Структура общемировых транспортных пассажирских перевозок туристов представлена на рис. 1 [International Tourism Highlights, 2019].

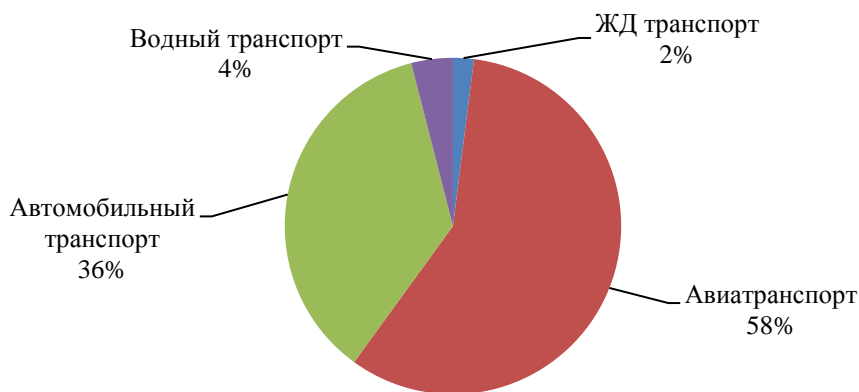


Рис. 1. Структура общемировых транспортных пассажирских перевозок туристов на 2018 г.
Fig. 1. Structure of global transport passenger transportation of tourists for 2018

В 2018 году благодаря устойчивому росту пассажирских перевозок было перевезено 4,3 млрд пассажиров регулярными авиарейсами, из которых 1,8 млрд (41 %) пассажиров пришлось на международные авиaperезовки и, соответственно, 59 % составили внутрирегиональные перевозки [Статистические данные..., 2018].

Рост общемирового пассажиропотока в 2018 году по сравнению с предыдущим годом составил 6,4 %. (рис. 2).

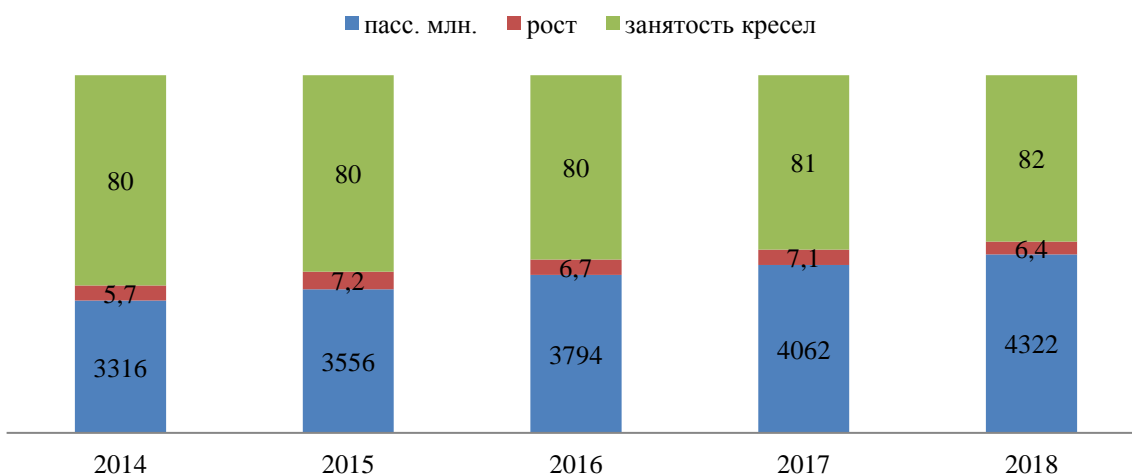


Рис. 2. Динамика увеличения общемирового пассажиропотока (2014–2018 гг.)
Fig. 2. Dynamics of global passenger traffic growth (2014–2018)

Увеличение мирового пассажиропотока, рост занятости пассажирских кресел при выполнении регулярных рейсов положительно отразились как на показателях развития авиаотрасли, так и на динамике мирового турпотока в целом [Брутян, 2019].

Ни в одном из макрорегионов за последние годы не было зафиксировано стагнации пассажирских перевозок. В 2018 году из 4,3 млрд перевезенных пассажиров на долю Европейского и Азиатско-Тихоокеанского макрорегионов приходилось 2,7 млрд или 63,1 % от общемирового пассажиропотока. Азиатско-Тихоокеанский макрорегион всегда являлся одним из активно развивающихся регионов с ростом 8–10 % в год. Это обусловлено высокой концентрацией населения, а также высокими темпами экономического роста стран региона.

Сравнивая Латиноамериканский и Карибский макрорегионы с Ближневосточным макрорегионом, можно утверждать, что население Ближневосточного региона путешествует чаще на дальние расстояния, чем латиноамериканцы, подтверждением тому служит тот факт,

что Ближневосточный макрорегион «налетал» больше пассажиро-километров, тогда как пассажиров перевезено меньше, чем в Латиноамериканском и Карибском макрорегионе.

Африканский макрорегион отличался невысоким пассажиропотоком и его ростом, что обусловлено низким уровнем доходов в странах макрорегиона, тогда как Североамериканский и Европейский благодаря высоким доходам населения традиционно показывают стабильный рост и самую высокую загрузку кресел среди всех макрорегионов – 84 % [Статистические данные..., 2018].

Согласно данным сервиса Flightradar24, позволяющего в режиме реального времени отслеживать расположение воздушного судна, на конец 2018 года в мире насчитывалось около 1000 авиакомпаний, базирующихся по всем материкам земного шара, кроме Антарктиды [Список авиакомпаний..., 2019].

Среди столь большого количества авиакомпаний в каждом макрорегионе имеются свои флагманские авиаперевозчики, известные во всем мире благодаря:

- высокому уровню предоставляемых услуг;
- ценовой политике;
- современному парку воздушных судов;
- широкой географии полетов;
- безопасности полетов и др.

Все перечисленные факторы позволяли увеличивать пассажиропоток и операционную прибыль авиакомпаний.

Лидирующими игроками мирового авиационного рынка, согласно опросу TripAdvisor, стали компании Singapore Airlines, Qatar Airways, EVA Air, Emirates, Japan Airlines, Southwest Airlines, Azul, Air New Zealand, Jet2, ANA (табл. 1) [Лучшие авиакомпании..., 2019]. Эти авиакомпании вошли в десятку лучших для перелетов экономическим классом.

Таблица 1

Table 1

Рейтинг лучших авиакомпаний мира (согласно данным TripAdvisor)
Rating of the best airlines in the world (according to TripAdvisor)

№	Название авиакомпании	Страна происхождения	Млн пассажиров 2018/2019 г. (1 календарный год)
1.	Singapore Airlines	Сингапур	36,1
2.	Qatar Airways	Катар	34,1
3.	EVA Air	Тайвань	12,5
4.	Emirates	ОАЭ	58,6
5.	Japan Airlines	Япония	8,5
6.	Southwest Airlines	США	34,4
7.	Azul	Бразилия	23,1
8.	Air New Zealand	Новая Зеландия	16,9
9.	Jet2	Великобритания	5,4
10.	ANA	Япония	62,5

Британская консалтинговая компания SKYTRAX подвела итоги 2019 года, согласно которым по опросам пассажиров со всего мира лучшей признана авиакомпания «Qatar Airways». Данная компания отмечают победу в пятый раз. Также «Qatar Airways» являются лидерами в номинациях «Лучший бизнес-класс». «Лучшая авиакомпания на Ближнем Востоке». На втором месте «Singapore Airlines» – перевозчик, известный тем, что выполняет самый длинный в мире рейс «Нью-Йорк – Сингапур». Таблица лучших авиакомпаний мира, согласно рейтингу SKYTRAX, представлена в табл. 2 [World Airline Awards, 2019].

Согласно данным SKYTRAX, лучшими региональными авиакомпаниями мира в 2019 г. признаны 13 авиакомпаний в каждом регионе мира (табл. 3). Одним из основных факторов, позволяющих авиакомпаниям попасть в данный список, на наш взгляд, является выгодное географическое расположение хабов, в которых базируются авиакомпании.

Таблица 2
Table 2

Рейтинг лучших авиакомпаний мира 2019 г., согласно данным британской консалтинговой компании SKYTRAX
Rating of the best airlines in the world in 2019, according to the British consulting company SKYTRAX

№	Название авиакомпании	Страна происхождения
1.	Qatar Airways	Катар
2.	Singapore Airlines	Сингапур
3.	ANA All Nippon Airways	Япония
4.	Cathay Pacific	Гонконг
5.	Emirates	ОАЭ
6.	EVA Air	Тайвань
7.	Hainan Airlines	Китай
8.	Qantas Airways	Австралия
9.	Lufthansa	Германия
10.	Thai Airways	Тайланд

Таблица 3
Table 3

Рейтинг лучших региональных авиакомпаний мира в 2019 г., согласно данным британской консалтинговой компании SKYTRAX
Rating of the best regional airlines in the world in 2019, according to the British consulting company SKYTRAX

Регион	Название авиакомпании	Страна происхождения
Северная Европа	Finnair	Финляндия
Западная Европа	Lufthansa	Германия
Восточная Европа	Aeroflot	Россия
Африка	Ethiopian Airlines	Эфиопия
Австралия	Qantas Airlines	Австралия
Центральная Азия / Индия	Air Astana	Казахстан
Китай	Hainan Airlines	Китай
Центральная Америка	Copa Airlines	Панама
Южная Америка	LATAM	Чили
Северная Америка	Air Canada	Канада
Азия	Singapore Airlines	Сингапур
Западная Азия	Qatar Airways	Катар
Европа	Lufthansa	Германия

Лучшей авиакомпанией в Восточной Европе была признана авиакомпания «Аэрофлот», что подтверждает наличие всех предпосылок для успешного ее позиционирования на рынке авиационных услуг как связующей авиакомпании между Европой и Азией.

В настоящее время все авиакомпании и авиационная отрасль в целом столкнулись с самым серьезным вызовом за всю историю современной авиации, попав в «идеальный шторм», вызванный новым стремительным и масштабным кризисом, обусловленным пандемией коронавируса и ее последствиями.

Международная ассоциация воздушного транспорта (IATA) заявляет, что никогда в истории авиационная отрасль не сталкивалась с подобной ситуацией. 95 % парка воздушных судов остановилось. Правительства закрывают границы, наиболее неблагополучные регионы вводят режим карантина, пассажиры возвращают билеты, и авиакомпании вынуждены массово отменять рейсы, подвергаясь огромным убыткам.

В апреле пассажиропоток российских авиакомпаний упал на 92 %. Официальной мировой статистики еще нет, но результаты будут сопоставимыми. Достаточно обратить внимание на:

- заявления о банкротствах национальных перевозчиков ЮАР, Маврикия, Колумбии;
- объявления о значительных сокращениях в United Airlines, Delta, Virgin Atlantic, Qatar Airways, авиастроительных концернах Airbus и Boeing и многих других компаниях;
- продажу всех акций авиакомпаний холдингом Berkshire Hathaway миллиардера Уоррена Баффетта;
- начало возврата авиационной техники лизингодателям;
- первые отказы авиакомпаний от оплаты счетов по международным соглашениям о взаимном признании бланков перевозочной документации.

По данным IATA, отрасль поддерживала около 65,5 млн рабочих мест во всем мире, включая 10,5 млн сотрудников в аэропортах и авиакомпаниях. Цепная реакция задела всех пользователей, партнеров и в первую очередь самих производителей услуги.

По оценке отраслевой исследовательской компании Cirium, в марте 2020 г. количество авиарейсов в мире сократилось на 63 % относительно аналогичного периода 2019 года.

Китайские и азиатские авиалинии первыми ощутили пандемийные последствия, затем ситуация проецировалась на американские и европейские авиакомпании. Все компании от австралийской Qantas до гонконгской Cathay Pacific, от немецкой Lufthansa до американской United Airlines столкнулись с массовой отменой бронирований. Так, австралийская Qantas объявила, что отменит четверть международных рейсов, запланированных на ближайшие полгода. О резком сокращении количества рейсов объявила немецкая авиакомпания Lufthansa. Air France также отменила 3600 перелетов уже в марте, сократив свои перевозки в Европе на 25 %. В США из-за пандемии пассажирских авиаперелетов стало на 95 % меньше. В тридцатидневный период с 14 марта по 12 апреля 2020 года было запланировано около 245000 авиаперелетов между США и Европой с участием около 5,5 млн пассажиров. Отмена только этих рейсов обернулась потерей выручки в \$2 млрд [Пассажирские авиаперевозки..., 2020].

Сильнее всего пострадал Лондонский аэропорт Хитроу, который за этот период должен был принять 820 тыс. пассажиров. В тройку наиболее сильно пострадавших воздушных гаваней также вошли Международный аэропорт Париж – Шарль-де-Голль (370 тыс.) и Международный аэропорт Франкфурт-на-Майне (340 тыс.). Аэропорты в Амстердаме и Дублине не досчитались 290 тыс. и 160 тыс. пассажиров соответственно [Пассажирские авиаперевозки..., 2020].

Ассоциация эксплуатантов воздушного транспорта (АЭВТ, объединяет крупнейшие авиакомпании России, за исключением «Аэрофлота») оценила потери российских авиаперевозчиков после частичного закрытия авиасообщения с другими странами в 500 млн руб. в сутки. В конце марта регулярные и чартерные рейсы в другие страны были приостановлены полностью. Акции «Аэрофлота» подешевели на 4,33 %, капитализация снизилась до 80,075 млрд руб. Возможные убытки российских авиакомпаний от ограничения полетов за рубеж из-за пандемии коронавируса – 70–100 млрд руб. в 2020 году. В конце апреля Росавиация разрешила перевозить грузы в салоне пассажирских самолетов семи российским авиакомпаниям. В их числе: «Аэрофлот», «Уральские авиалинии», «Nordwind Airlines», «Россия», «Azur Air», «Икар» и «Royal Flight». На этот шаг ведомство пошло из-за снижения спроса на пассажирские авиаперевозки, вызванного пандемией коронавируса. Авиакомпания «Utair» вывела из оборота более половины самолетов. «Уральские авиалинии» перепрофилировали часть своего авиапарка под грузовой [Полет в «цифре»..., 2020].

По оценке IATA, более трети потерь в отрасли придется на китайские компании. Благодаря стремительному развитию туризма в Китае у местных авиаперевозчиков в последние годы отмечался значительный рост, кроме того, компании планировали в ближайшее время выйти на американский рынок. Однако коронавирус внес свои коррективы в их планы, и теперь многим приходится бороться за выживание. По данным британской исследовательской компании OAG, уже в феврале китайские авиалинии снизили объем внутренних перевозок на

10,4 млн посадочных мест. ИАТА сообщает, что в Китае на апрель забронировано на 80 % меньше билетов, чем в аналогичный период в прошлом году [Ангус Уитли, 2020].

В сложившихся условиях государственная помощь – это единственный шанс на спасение авиакомпаний. «Большая тройка» авиаперевозчиков Китая (China Southern Airlines, Air China и China Eastern Airlines) находится под контролем правительства страны, которое заявило о готовности оказать им дополнительную финансовую помощь в кризисный период. Власти Китая объявили, что просубсидируют компании, выполняющие международные авиарейсы, и выплатят им по 0,0528 юаня за 1 км маршрута в расчете на одного пассажира. Так, за перелет по маршруту Лондон – Пекин, протяженность которого составляет 8175 км, правительство заплатит авиакомпании 432 юаня (\$62) в расчете на одного пассажира.

По данным OAG, в марте китайские авиаперевозчики начали возвращать внутренние рейсы в свое расписание и продавать билеты на них по низким ценам. Так, стоимость 3,5-часового перелета из Шанхая в Чэнду составила 140 юаней (примерно \$20). Это почти в десять раз ниже, чем в сентябре 2019 года [Ангус Уитли, 2020].

К концу апреля 2020 года простаивало в общей сложности 16 тысяч пассажирских самолетов [Пассажирские авиаперевозки..., 2020]. Для двух третей лайнеров главной задачей является обеспечение таких условий на земле, чтобы техника сохраняла свою летную готовность к моменту восстановления рынка. Очевидно, что не всем авиалиниям удастся пережить пандемию. Больше всего рискуют небольшие авиакомпании и лоукостеры [Колодко Гжегож В., 2020, Лысенков П.С., 2020, Мизинцева М.Ф., 2020].

Для решения таких срочных проблем во всем мире принимаются скоординированные меры авиационных властей и бизнеса:

- прямая финансовая поддержка перевозчиков;
- отсрочки по оплатам навигационных и других сборов, налогов, по лизинговым платежам; предоставление поставщиками услуг скидок перевозчикам;
- дополнительные разрешения на перевозку грузов, в том числе в специально переоборудованных в сжатые сроки салонах пассажирских воздушных судов;
- возможная легализация ваучеров как замены возврата денег за авиабилеты.

На сегодняшний день Международный совет аэропортов и Международная ассоциация воздушного транспорта выпустили совместный документ под названием «Безопасный перезапуск авиации – совместный подход МСА и ИАТА», в котором содержится обращение к правительствам и обоснование последовательности принятия новых мер в отношении аэропортов и авиакомпаний в посткоронавирусную эпоху.

Также Международная ассоциация воздушного транспорта (ИАТА) обратилась к странам мира с просьбой снизить парковочные тарифы – в обычных условиях они обычно не превышают 2 % доходов аэропортов, но в настоящее время от них зависит выживание авиакомпаний. Издержки на парковку для авиакомпаний весьма существенны – большому самолету стоянка в аэропорту может обходиться в тысячу долларов в день [Манвелидзе, 2018; Пассажирские авиаперевозки..., 2020].

Что касается российской авиационной отрасли, то она также погружена в полный хаос и неопределенность. Трудно предположить, когда откроют границы, с каких маршрутов будут возобновлять перелеты, как будет восстанавливаться платежеспособность населения и спрос, каким образом будет оптимизирован флот и персонал.

Российские авиакомпании рассчитывают на государственную поддержку, без которой авиаотрасль не восстановится. В разных странах цифры господдержки варьируются. Так, в США выделяется около \$50 млрд на десять системообразующих авиакомпаний, Lufthansa должна получить около €9 млрд, Air France/KLM – €7 млрд. В России, по оценкам экспертов, для сохранения показателей авиаперевозок на докризисном уровне потребуется не менее 400 млрд руб. [Полет в «цифре...», 2020].

Правительство консолидирует ресурсы, необходимые для оказания поддержки. Эти средства пойдут на лизинг авиационной техники, на пополнение оборотных средств, на выплаты зарплатных плат, оплату стоянки воздушных судов. Реструктуризацию лизинговых

обязательств и параметры реструктуризации авиакомпаний обсуждают со своими лизингодателями, для многих из них они являются важными партнерами.

Также правительством России утверждены субсидии авиакомпаниям, которые участвовали в вывозе граждан из-за рубежа в связи с распространением коронавирусной инфекции. Субсидии авиакомпаний предполагают возмещение их затрат на авиатопливо, горюче-смазочные материалы, обслуживание в аэропортах, ремонт самолетов, бортовое питание, оплату труда летного и технического персонала, расходы по аренде и лизингу воздушного судна.

Заключение

Многие аналитики отмечают, что до сих пор авиакомпаниям удавалось преодолевать кризисные ситуации. Из-за эпидемии SARS в 2003 году авиаперевозчики потеряли \$6 млрд, но смогли выйти на прежний уровень всего за девять месяцев. На этот раз может помочь падение цен на нефть, т. к. топливо является одной из основных статей расхода авиакомпаний. Безусловно, для любой проблемы рано или поздно находятся решения. Очевидным является тот факт, что сгладить последствия нынешней экономической нестабильности без эффективной государственной поддержки не удастся. Но и менеджменту компаний необходимо разрабатывать новые стратегии, научиться использовать новые инструменты и стандарты, перспективные технологии и неординарные подходы, мобилизовать все возможности для дальнейшего развития, которые непременно откроются, так как последствия кризиса приводят к необходимым для дальнейшего развития позитивным изменениям.

В сложившейся реальности пандемии на поверхности оказались давно существующие проблемы гражданской авиации, в частности, отсутствие цифровой инфраструктуры взаимодействия авиапредприятий [Повет в «цифре...», 2020]. Международные стандарты обмена информацией представителей авиаотрасли в России не всегда соблюдались. Объемы необходимых к передаче данных о каждом отправляемом рейсе, оказываемой услуге, обрабатываемом грузе или почте огромны, а инфраструктура для обеспечения этого процесса до сих пор отсутствовала. Безусловно, это инструмент к мощному преобразованию бизнеса, здесь скрыт огромный потенциал и для сокращения затрат, и для наращивания оборотов. Нейтральные цифровые платформы и сервисы, обеспечивающие взаимодействие по принципу «многие ко многим», процессинг производственных данных об авиаперевозках, контроль соблюдения мировых и отраслевых стандартов по работе с данными призваны вывести авиакомпании и их партнеров на новый уровень. Цифровая трансформация должна изменить структуру взаимодействия контрагентов. Ни одна рабочая группа, состоявшая из представителей авиакомпаний и аэропортов, не показала жизнеспособного результата в сложившейся ситуации. И сейчас как никогда время решать эти задачи.

Таким образом, пандемия стала новым серьезным вызовом для гражданской авиации, радикально изменив полетный ландшафт и сложившиеся тренды в авиаотрасли. В настоящее время однозначно не существует единых мер, которые могли бы снизить все риски возобновления авиаперевозок. Но очевидным является то, что решение всех стратегических задач возможно только при консолидации усилий всех сторон и активном вовлечении государства, так как в его задачи входит обеспечение комфортных условий для ведения бизнеса. При этом для достижения сбалансированного и эффективного перезапуска отрасли необходим глобальный подход, основанный на оценке мер по снижению рисков восстановления отрасли с необходимостью разблокировать экономику и обеспечить возможности пассажирских авиаперелетов.

Список литературы

1. Ангус Уитли, Чуньин Чжан. 2020. Жесткая посадка: чем коронавирус грозит авиакомпаниям URL: <https://pro.rbc.ru/news/5e6f9dc79a79479c9f49228e> (дата обращения: 24 мая 2020).
2. Брутян М.М. 2019. Мировой рынок гражданской авиации: текущее состояние и прогноз развития. Вестник Евразийской науки, 1, URL: <https://esj.today/PDF/20ECVN119.pdf> (дата обращения: 20 апреля 2020).

3. Губенко А.В., Растова Ю.И., Панкратова А.Р. 2019. Современное состояние и перспективы развития рынка пассажирских авиаперевозок в России. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент, 2: 82–90
4. Годовые доклады Совета. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) URL: <https://www.icao.int/publications/Pages/annual-reports.aspx> (дата обращения: 25 мая 2020).
5. Деловой авиационный портал АТО.ru URL: <http://www.ato.ru/content/proletet-nad-polyusom-legko-delat-eto-regulyarno-dorogo> (дата обращения: 22 мая 2020).
6. Интернет-журнал для независимых путешественников. URL: <https://34travel.me/post/world-airline-awards-2019> (дата обращения: 28 мая 2020).
7. История развития гражданской авиации URL: <https://dream-air.ru/istoriya-razvitiya-grazhdanskoj-aviacii.html> (дата обращения: 24 мая 2020).
8. Колодко Гжегож В. 2020. Последствия. Экономика и Политика в постпандемическом мире. Вопросы экономики, 5: 25–44.
9. Лучшие авиакомпании мира – конкурс TripAdvisor Travellers URL: <https://www.tripadvisor.ru/TravelersChoice-Airlines> (дата обращения: 25 мая 2020).
10. Лысенков П.С. 2020. Кризис и падение в авиаотрасли 2020. Modern Science. Институт стратегических исследований. Москва, 5–1: 71–74.
11. Lufthansa отменяет 95 % рейсов из-за коронавируса. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4293103> (дата обращения: 25 мая 2020).
12. Мизинцева М.Ф., Гербина Т.В., Чугрина М.А. 2020. Экономика эпидемий. Влияние COVID-19 на мировую экономику (обзор). Пандемия COVID-19. Биология и Экономика. Специальный выпуск: информационно-аналитический сборник. Издательство «Перо». Москва: 61–102.
13. Мальцев А.А., Матвеева А.В. 2018. Международные пассажирские авиаперевозки: детерминанты взрывного роста. Управленец, 9 (3): 26–31.
14. Манвелидзе А.Б. 2018. Расходы на эксплуатацию воздушных судов крупных американских авиаперевозчиков. Стратегические решения и риск-менеджмент, 4(109): 72–91. (дата обращения: 20 мая 2020).
15. Международная ассоциация воздушного транспорта. Официальный сайт. URL: <https://www.iata.org/> (дата обращения: 20 мая 2020).
16. Полет в «цифре»: что поможет авиаотрасли выжить после пандемии URL: <https://pro.rbc.ru/news/5ebd50799a794715a42294eb> (дата обращения: 25 мая 2020).
17. Пассажирские авиаперевозки <http://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 22 мая 2020).
18. Рейтинг самых прибыльных авиакомпаний мира URL: <https://wchains.com/ratings/turnover/airlines.html> (дата обращения: 28 мая 2020).
19. Статистические данные о результатах деятельности воздушного транспорта в 2018 году от ИКАО URL: https://www.icao.int/annual-report-2018/Documents/Annual.Report.2018_Air%20Transport%20Statistics.pdf (дата обращения: 27 мая 2020).
20. Список авиакомпаний согласно данным сервиса Flightradar24 URL: <https://www.flightradar24.com/data/airlines> (дата обращения: 23 мая 2020).
21. International Tourism Highlights, 2019 Edition URL: <https://www.e-unwto.org/doi/pdf/10.18111/9789284421152> (accessed 27, May 2020).
22. World Airline Awards. URL: <https://www.worldairlineawards.com/worlds-top-10-airlines-2019/> (accessed 24, May 2020).

References

1. Angus Whitley, Chunying Zhang. 2020. Hard landing: what coronavirus threatens airlines. URL: <https://pro.rbc.ru/news/5e6f9dc79a79479c9f49228e> (accessed 24, May 2020).
2. Brutyan M.M. 2019. World market of civil aviation: current state and forecast of development. The Eurasian Scientific Journal, [online] 1(11). URL: <https://esj.today/PDF/20ECVN119.pdf> (accessed 20, April 2019).
3. Gubenko A.V., Rastova Yu. I., Pankratova A. R. 2019. Current state and prospects of development of the passenger air transport market in Russia. Scientific journal of the ITMO University. Economics and environmental management series, 2: 82–90.
4. Annual reports of the Council. International civil aviation organization (ICAO). URL: <https://www.icao.int/publications/Pages/annual-reports.aspx> (accessed 25, May 2020).

5. Business aviation portal ATO.ru URL: <http://www.ato.ru/content/proletet-nad-polyusom-legko-delat-eto-regulyarno-dorogo> (accessed 22, May 2020).
6. Online magazine for independent travelers. URL: <https://34travel.me/post/world-airline-awards-2019> (accessed 28, May 2020).
7. The history of the development of civil aviation. URL: <https://dream-air.ru/istoriya-razvitiya-grazhdanskoj-aviacii.html> (accessed 24, May 2020).
8. Kolodko Grzegorz W., 2020. Effects. Economics and Politics in the post-tandem world. Questions of Economics, 5: 25–44.
9. Best airlines in the world – Tripadvisor travelers competition. URL: <https://www.tripadvisor.ru/TravelersChoice-Airlines> (accessed 25, May 2020).
10. Lysenkov P. S. 2020. Crisis and fall in the aviation industry 2020. Modern Science. Strategic Research Institute. Moscow, 5–1: 71–74.
11. Lufthansa cancels 95 % of flights due to coronavirus. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4293103> (accessed 25, May 2020).
12. Mizintseva M. F., Gerbina T. V., Churkina M. A. 2020. The Economics of epidemics. The impact of COVID-19 on the world economy (review). The COVID-19 pandemic. Biology and Economics. Special issue: information and analytical collection. Publishing House "Pero". Moscow: 61–102.
13. Mal'cev A.A., Matveeva A.V. 2018. Mezhdunarodnye passazhirskie aviaperevozki: determinanty vzryvnogo rosta [International air travel: determinants of explosive growth]. Upravlenec [Manager]. 9 (3): 26–31.
14. Manvelidze A.B. 2018. Raskhody na ekspluatatsiyu vozdushnyh sudov krupnyh amerikanskih aviaperevozchikov [Aircraft operating costs of major US carriers]. Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment [Strategic decisions and risk management], 4(109): 72–91 (accessed 20, May 2020).
15. International air transport Association. Official site. URL: <https://www.iata.org/> (accessed 20, May 2020).
16. Flying in “digital”: what will help the aviation industry survive after the pandemic. URL: <https://pro.rbc.ru/news/5ebd50799a794715a42294eb> (accessed 25, May 2020).
17. Passenger air transport. URL: <http://www.tadviser.ru/index.php> (accessed 22, May 2020).
18. Rating of the most profitable airlines in the world. URL: <https://wchains.com/ratings/turnover/airlines.html> (accessed 28, May 2020).
19. Statistics on air transport performance in 2018 from the ICAO. URL: https://www.icao.int/annual-report-2018/Documents/Annual.Report.2018_Air%20Transport%20Statistics.pdf (accessed 27, May 2020).
20. List of airlines according to the Flightradar24 service. URL: <https://www.flightradar24.com/data/airlines> (accessed 23, May 2020).
21. International Tourism Highlights, 2019 Edition URL: <https://www.e-unwto.org/doi/pdf/10.18111/9789284421152> (accessed 27, May 2020).
22. World Airline Awards. URL: <https://www.worldairlineawards.com/worlds-top-10-airlines-2019/> (accessed 24, May 2020).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

УДК 338.24

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-522-532

Оценка значимости угроз экономической безопасности для ведущих отечественных предприятий черной металлургии

И.Л. Рябков, Н.Н. Яшалова

Череповецкий государственный университет,
Россия, 162600, г. Череповец, ул. Луначарского, 5
E-mail: il.ryabkov@gmail.com, natalij2005@mail.ru

Аннотация

В статье представлено теоретическое и практическое обоснование системного подхода для оценки значимости угроз экономической безопасности, характерных для предприятий черной металлургии. Обоснована необходимость проведения постоянного мониторинга внешних и внутренних факторов, влияющих на эту оценку. В результате моделирования значимости различных групп угроз экономической безопасности авторы пришли к выводу, что для металлургических предприятий наиболее важными эндогенными угрозами являются финансово-экономические, технико-технологические и маркетинговые, среди экзогенных – внутри- и внешерыночные угрозы.

Ключевые слова: экономическая безопасность, черная металлургия, угрозы, моделирование, оценка, математическая статистика.

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 19-310-90004.

Для цитирования: Рябков И.Л., Яшалова Н.Н. 2020. Оценка значимости угроз экономической безопасности для ведущих отечественных предприятий черной металлургии. Экономика. Информатика. 47 (3): 522–532. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-522-532.

Assessment of the significance of threats to economic security for leading domestic ferrous metallurgy enterprises

I.L. Ryabkov, N.N. Yachalova

Cherepovets State University,
5 Lunacharsky str., Cherepovets, 162600, Russia
E-mail: il.ryabkov@gmail.com, natalij2005@mail.ru

Abstract

The article presents a theoretical and practical justification of the system approach for assessing the significance of threats to economic security that are characteristic of ferrous metallurgy enterprises. The necessity of constant monitoring of external and internal factors affecting this assessment is justified. To build an adequate system of threshold values for economic security indicators, we used a set of mathematical and expert methods that allow us to divide the state classes even taking into account the volatility of the indicators accepted for consideration. As a result of modeling the significance of various groups of threats to economic security, we came to the conclusion that the most important endogenous threats for metallurgical enterprises are financial, economic, technical, technological and marketing, among exogenous-internal and external market threats. Knowledge of the range of main threats and the degree of their impact on ferrous metallurgy enterprises will help to create a comprehensive fuzzy-logical model for assessing economic security and will allow you to make forecast scenario plans for business development, knowing approximate trends.

Keywords: economic security, ferrous metallurgy, threats, modeling, estimation, mathematical statistics.

Acknowledgements: the reported study was funded by RFBR according to the research project № 19-310-90004.

For citation: Ryabkov I.L., Yachalova N.N. 2020. Assessment of the significance of threats to economic security for leading domestic ferrous metallurgy enterprises. Economics. Information technologies. 47 (3): 522–532 (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-522-532.

Введение

В течение современного периода развития (с начала 2000-х гг.) предприятия отечественной чёрной металлургии систематически сталкиваются с рядом факторов, оказывающих серьёзное влияние на экономическую безопасность этого вида экономической деятельности. Актуальность исследования заключается в том, что оценка состояния экономической безопасности является важнейшим процессом для обеспечения наиболее эффективного функционирования и развития предприятий чёрной металлургии, имеющих большой удельный вес в экономике России.

Комплексная оценка состояния экономической безопасности промышленного предприятия требует наличия системы индикаторов, характеризующих угрозы для хозяйствующих субъектов. В настоящей работе под «индикатором» будем понимать числовой показатель, который показывает динамику того или иного экономического процесса. Индикаторы экономической безопасности обеспечивают своевременный мониторинг состояния широкого круга внешних и внутренних процессов, связанных с деятельностью предприятия.

Индикаторы, характеризующие внутренние процессы предприятия, отражают уровень развития производственно-сбытовых процессов, сбалансированность финансов, экономическую устойчивость, результаты социальной политики предприятия. Важно, чтобы система индикаторов экономической безопасности описывала специфику не только внутренних процессов предприятия, но и внешних. К ним относятся макроэкономические процессы, а также процессы взаимодействия с органами власти, конкурентами, социумом. С одной стороны, это позволит обеспечить комплексность оценки состояния экономической безопасности предприятия, с другой стороны – осложнит сбор и интерпретацию статистической информации [Симонов и др., 2018].

В практике российских исследований наблюдается несколько подходов к формированию системы индикаторов экономической информации в зависимости от объекта исследования. Наиболее известной в научном сообществе является система из двадцати двух индикаторов, разработанная С.Ю. Глазьевым для мониторинга экономической безопасности страны, охватывающая финансовую, экономическую, производственную, социальную сферы жизни общества [Глазьев, 1997]. Отдельным достоинством системы являются рассчитанные пороговые значения для каждого индикатора, при превышении которых возникает возможность реализации тех или иных угроз экономической безопасности.

Несколько позже под руководством В.К. Сенчагова была разработана система индикаторов, охватывающая шесть сфер деятельности государства [Сенчагов и др., 2011]. На объемном массиве макроэкономических показателей (порядка 150 рядов) в 2008 г. был сформирован список из тридцати шести индикаторов экономической безопасности. Избранные индикаторы экономической безопасности обладают свойствами количественного отражения угроз, высокой чувствительности и взаимной синергии. В качестве методов расчета пороговых значений индикаторов использовались: расчетно-нормативный, метод аналогий, опрос экспертов.

В целях выявления угроз и обеспечения состояния экономической безопасности в настоящее время рекомендована система из сорока индикаторов [Указ, 2017], охватывающая все сферы экономической деятельности. Особенностью данной системы является ее универсальность – при некотором уточнении перечня индикаторов её можно использовать для оценки состояния экономической безопасности объектов различного масштаба. Рассмотренные системы индикаторов обладают единими недостатками, а именно – отсутствие правил учета взаимного влияния индикаторов и алгоритма расчета комплексной оценки экономической безопасности.

Материалы и методы

Непрерывный характер диагностики экономической безопасности предприятия требует регулярной актуализации данных индикаторов. Приоритетными источниками широкого спектра экономической информации для построения системы индикаторов экономической безопасности металлургических предприятий будут являться: федеральная служба государственной статистики, статистика мировых экономических организаций (Международный валютный фонд, ассоциация металлопроизводителей WorldSteel), отраслевые аналитические агентства (Deloitte), квартальные и годовые финансовые отчеты компаний. Объективный характер экономической информации, используемой для формирования индикаторов экономической безопасности, позволяет привлекать мнение экспертов лишь на стадии интерпретации полученных результатов.

Приведем перечень доступных или поддающихся вычислению индикаторов экономической безопасности, характерных в том числе для металлургических предприятий (табл. 1), и присутствующих в перечисленных источниках экономической информации.

Таблица 1

Table 1

Перечень индикаторов для оценки экономической безопасности металлургических предприятий

List of indicators for assessing the economic security of metallurgical enterprises

Группа индикаторов экономической безопасности	Индикаторы
ОТНОСЯЩИЕСЯ К ВНЕШНИМ УГРОЗАМ	
Внешне-рыночные	Макроэкономические показатели (ВВП, курсы валют, ключевая процентная ставка, торговый баланс, уровень инфляции в ключевых мировых регионах), темп роста производства и потребления стали на ключевых мировых рынках, динамика изменения мировых цен на сырье и металлопрокат, количество действующих ограничений международной торговли, оценка возможности наложения санкционных мер, способных нанести ущерб деятельности компании.
Внутри-рыночные	Уровень производства и потребления стали в России, динамика объемов экспорта и импорта стали, динамика изменения российских цен на сырье и металлопрокат, доля присутствия на внутреннем рынке, доля выпуска продукции с высокой добавленной стоимостью, оценка возможности усиления налоговой нагрузки, повышение ключевой ставки, снижение количества предоставляемых кредитов в смежных отраслях
Социально-экономические или региональные	Индикаторы экономической безопасности, рекомендованные Стратегией экономической безопасности Российской Федерации применительно к субъектам страны. Индикаторы рассчитываются Федеральной службой государственной статистики.
ОТНОСЯЩИЕСЯ К УГРОЗАМ, ПРОЯВЛЯЮЩИМСЯ НА ВНЕШНЕМ И ВНУТРЕННЕМ УРОВНЯХ	
Экологические	Динамика использования невозобновляемых ресурсов, темп роста затрат на экологические инвестиции и природоохранные меры по виду экономической деятельности, динамика доли объемов выбросов вредных веществ в атмосферу и водные объекты по региону, количество допущенных аварийных выбросов, количество отходов производства, прошедших переработку, соответствие использования оборудования перечню НДТ.
Информационные	Доля сотрудников, занятых в работе информационного подразделения компании (разработка проектов применения данных в бизнес-проектах, защита коммерческой тайны, обеспечение информационной безопасности), доля от общих затрат компании, направляемая на поддержание деятельности и инвестиции в информационное подразделение.

Группа индикаторов экономической безопасности	Индикаторы
ОТНОСЯЩИЕСЯ К ВНУТРЕННИМ УГРОЗАМ	
Производственно-сбытовые	Динамика объема производства, доля продукции с высокой добавленной стоимостью в портфеле заказов, ценовое лидерство в сравнении с конкурентами, доля продаж на премиальные рынки, объем просроченной дебиторской задолженности, состояние основных фондов, уровень загрузки производственных мощностей, фондоотдача, производительность труда, динамика себестоимости производства продукции, скорость оборота материалов, объем инвестиций в основные активы, процент претензионной продукции, данные удовлетворенности клиентов.
Финансово-экономические	Рентабельность активов, рентабельность собственного и совокупного капиталов, темпы роста выручки и прибыли, прибыль <i>EBITDA</i> , свободный денежный поток <i>FCF</i> , скорость оборачиваемости дебиторской и кредиторской задолженностей, отношение чистого долга к свободному денежному потоку, наличие отрицательного финансового результата, коэффициенты ликвидности, налоговая нагрузка, темпы роста расходов.
Кадровые	Коэффициент кадровой обеспеченности, доля сотрудников, соответствующих требованиям должностной инструкции, доля управленческого персонала, доля работников предпенсионного возраста, коэффициент текучести кадров, коэффициент соответствия заработной платы среднеотраслевым значениям, коэффициент соответствия условий труда нормам, коэффициент соответствия технике безопасности, коэффициент количества учтенных несчастных случаев на производстве <i>LTIFR</i> .

Составлено авторами

Руководствуясь принципом комплексного анализа сфер деятельности металлургических предприятий, подберем для каждой группы значимых угроз (табл. 2) до трех индикаторов экономической безопасности. Именно по этому перечню индикаторов в дальнейшем предполагается проведение мониторинга их динамики для расчета пороговых значений.

Таблица 2

Table 2

Соответствие индикаторов и значимых групп угроз
экономической безопасности металлургических предприятий
Compliance of indicators and significant threat groups
economic security of metallurgical enterprises

Группа угроз экономической безопасности	Вид угрозы экономической безопасности	Индикаторы экономической безопасности
Политико-экономические (мегауровень)	Угроза действий органов власти различных стран.	Доля иностранной валюты по отношению к рублевой массе, квотирование объемов внешнеторговых потоков, количество введенных санкционных ограничений.
Внешне-рыночные (международный уровень)	Угроза снижения спроса на сталь.	Динамика абсолютного спроса в России и мире, потребление стали на душу населения, загрузка производственных мощностей.
	Угроза снижения цен на сталь.	Динамика цен на сталь на мировых рынках.
	Угроза роста цен на сырье, топливо, услуги.	Динамика цен на металлургическое сырье по видам, на тарифы монополий.
	Угроза девальвации валют.	Изменение курсов основных валют.
	Угроза колебания процентных ставок.	Динамика изменения ключевой ставки ЦБ РФ.

Группа угроз экономической безопасности	Вид угрозы экономической безопасности	Индикаторы экономической безопасности
Политические (международный уровень)	Угрозы введения ограничений в международной торговле.	Количество ограничений международной торговли (количество стран или доля рынка), оценка потерянной прибыли.
Внутрирыночные (макро-экономический уровень)	Усиление конкуренции.	Доля присутствия на внутреннем рынке, динамика ценового преимущества, доля производимой продукции с высокой добавленной стоимостью.
	Угрозы для банков, кредитуемых предприятия.	Объем кредитования реального сектора относительно ВВП, стоимость активов банковской системы относительно ВВП, уровень инфляции.
Нормативно-законодательные (макро-экономический уровень)	Государственное налоговое регулирование.	Эффективные ставки налогов на прибыль, имущество для предприятий, доля налоговых отчислений от нераспределенной прибыли предприятия.
Потребительские (макро-экономический уровень)	Угрозы кредитообеспеченности покупателей.	Уровень доступности кредитования предприятий обрабатывающей промышленности, объем просроченной дебиторской задолженности.
Социальные (мезо-экономический уровень)	Угрозы социального развития регионов присутствия	Использование перечня индикаторов угроз, рекомендованных Стратегией экономической безопасности России.
Информационные (мезо- и микро-экономический уровни)	Угрозы информационной безопасности	Количество значимых информационных атак, затраты на инвестиции и поддержание ИТ-инфраструктуры и проектов, доля сотрудников ИТ-департамента от общей численности персонала.
Экологические (мезо- и микро-экономический уровни)	Экологические угрозы	Динамика использования невозобновляемых ресурсов, объем выбросов, объем отходов, размер инвестиций и бюджета природоохранной деятельности.
Инвестиционные (микро-экономический уровень)	Угрозы реализации инвестиционных программ.	Объем инвестиций в основные средства, средний срок реализации инвестиционного проекта.
Финансово-управленческие (микро-экономический уровень)	Угроза роста издержек и неэффективного управления запасами.	Доля издержек от выручки, доля непроизводственных расходов, скорость оборота запасов.
	Угроза возникновения мошеннических и коррупционных схем.	Уровень экономической преступности в России.
Производственно-сбытовые (микро-экономический уровень)	Угроза приостановки деятельности.	Финансово-экономические индикаторы, з/п сотрудников относительно среднеотраслевого и среднерегionalного уровней.
Управленческие (мини-экономический уровень)	Угрозы охраны труда и промышленной безопасности.	Динамика количества учтенных несчастных случаев на производстве <i>LTIFR</i> , количество проведенных обучений сотрудников, объем затрат на охрану безопасности труда.

Составлено авторами

Система пороговых значений индикаторов экономической безопасности является важным инструментом мониторинга и анализа состояния для любого объекта исследования. В общем виде пороговые значения индикаторов экономической безопасности – это предельные количественные значения индикаторов, характеризующие переход исследуемого объекта в качественно иное состояние.

Существует несколько взглядов отечественных исследователей на природу пороговых значений индикаторов экономической безопасности:

– В.С. Сенчагов и Е.А. Иванов трактуют пороговые значения индикаторов как границы опасного состояния экономической безопасности, при котором происходит нарушение нормальной деятельности объекта исследования, проявляется его незащищенность от воздействия внешних угроз [Сенчагов и др., 2015];

– О.А. Магомедов отмечает, что пороговые значения являются границами состояния экономической безопасности, за которыми происходит комплексное ухудшение производственных и финансово-экономических результатов деятельности, ослабление темпов устойчивого развития, увеличение затрат на восстановление безопасного состояния [Магомедов, 2008];

– А.В. Калина, И.П. Савельева подразумевают под пороговыми значениями индикаторов их ключевые значения, разделяющие классы комплексных состояний экономической безопасности (нормальное, переходное, кризисное) [Калина и др., 2014].

При формировании системы пороговых значений индикаторов исследователи также придерживаются разных подходов:

– введение единственного порогового значения, разделяющего два класса состояния экономической безопасности (целевой и с проявлением угроз);

– дополнение первого подхода промежуточными подуровнями, характеризующими стадии состояния экономической безопасности;

– создание многоуровневой системы пороговых значений для каждого индикатора, причем количество возможных классов состояний будет равняться числу пороговых значений, увеличенному на единицу.

В соответствии со спецификой рыночных стратегий металлургических предприятий в настоящем исследовании предлагается определять три класса состояний экономической безопасности. Каждая из рассмотренных рыночных стратегий российских производителей металлопроката предлагает программы мероприятий развития в среднесрочном периоде. Для обеспечения реализации программ развития необходимо достижение такого состояния экономической безопасности, которое бы позволило не только поддерживать текущее функционирование предприятия и иметь достаточный резерв для отражения возможных угроз, но и иметь достаточный источник инвестиционной активности. Нижней границей такого целевого состояния будут являться первые пороговые значения индикаторов.

Следующий класс состояний экономической безопасности предприятия, при котором индикаторы в целом принимают свои значения ниже целевого, называется переходным. Его специфика подразумевает функционирование в условиях активного влияния внешних угроз, при ослаблении конкурентоспособности и необходимости реализации мер по возвращению к целевому состоянию экономической безопасности. При характеристике состояния экономической безопасности предприятия как переходного не будет происходить немедленных коренных изменений бизнес-структуры объекта, однако процессы стагнации возможны при отсутствии адекватных антикризисных мер. Нижней границей переходного состояния экономической безопасности будут являться вторые пороговые значения индикаторов. Третьим, кризисным классом состояний называют такое состояние экономической безопасности предприятия, при котором утрачена экономическая самостоятельность, способность противодействия проявлениям внешних и внутренних угроз [Виссарионов и др., 2017].

Общепринятые стандартные методы определения пороговых значений индикаторов (метод сопоставления с аналогичными российскими и зарубежными показателями, метод

нормативного определения, экспертные опросы) неприемлемы для применения к объектам данного исследования, отличающимся структурной неоднородностью и специфическим набором индикаторов экономической безопасности.

Для выстраивания адекватной системы пороговых значений индикаторов экономической безопасности предлагается использовать совокупность математических и экспертных методов, позволяющих разделить классы состояния даже с учетом волатильности принятых к рассмотрению индикаторов. Роль эксперта в данном случае будет заключаться в первоначальной классификации значений индикаторов по классам состояний.

В качестве основного математического метода определения пороговых значений был использован метод ковариационного анализа, впервые предложенный группой российских исследователей для оценки энергетической безопасности регионов [Куклин и др., 2013]. С помощью метода ковариационного анализа для каждого индикатора необходимо определить два пороговых значения, разделяющих три класса состояния экономической безопасности: целевой ($Цк$), переходный ($Пк$) и кризисный ($Кк$). В свою очередь переходный и кризисный классы равномерно разбиты на промежуточные подклассы состояний – стабильный ($Пк1$ и $Кк1$) и угрожающий ($Пк2$ и $Кк2$).

1. Алгоритм определения пороговых значений индикаторов начинается с экспертной оценки сформированных выборок индикаторов – (x_i). Для наблюдаемых количественных значений индикатора производится ранжирование, затем эксперты классифицируют эти значения по принадлежности к одному из трех классов состояния ($Цк$, $Пк$, $Кк$).

2. Для каждой подвыборки, распределенной в соответствующий класс состояния, вычисляются величины математического ожидания ($M_{Цк}(x_i)$, $M_{Пк}(x_i)$, $M_{Кк}(x_i)$) и среднеквадратического отклонения ($\sigma_{Цк}(x_i)$, $\sigma_{Пк}(x_i)$, $\sigma_{Кк}(x_i)$).

3. Для двух пар классов ($Цк$ и $Пк$), ($Пк$, $Кк$) рассчитывается усредненное σ по соответствующим подвыборкам.

4. Непосредственное пороговое значение между парой классов состояния (на примере $Цк$ и $Пк$) вычисляется по формуле:

$$x_{i(Цк-Пк)} = \frac{M_{Цк}(x_i) + M_{Пк}(x_i)}{2} - \frac{\sigma^2}{M_{Цк}(x_i) - M_{Пк}(x_i)} * \ln\left(\frac{(1-p) * C_{12}}{p * C_{21}}\right),$$

где σ – среднее значение между двух среднеквадратических отклонений соответствующих классов состояния экономической безопасности, например $\sigma_{Цк}(x_i)$ и $\sigma_{Пк}(x_i)$, p – плотность распределения вероятностей случайной величины, C_{12} и C_{21} – стоимости ошибок первого и второго рода соответственно.

Предлагаемый к использованию метод ковариационного анализа универсален, однако требует индивидуального экспертного мнения относительно пороговых значений каждого индикатора. Поскольку единицы измерения и масштабность у различных индикаторов разнятся, то в дальнейшем для совместной оценки нескольких индикаторов необходимо провести их нормирование.

На следующем этапе исследования проведена оценка значимости выбранных ранее угроз экономической безопасности. С помощью одной из передовых аналитических методик – построения самосовершенствующихся моделей машинного обучения – для каждого предприятия была предпринята попытка оценки влияния набора факторных переменных (матрица X , размерности $m \times f$, где m – количество индикаторов, f – длина ряда на целевую функцию (матрица Y , размерности $1 \times f$) [Краковский и др., 2017]. Исследование было проведено в программной среде *Jupyter Notebook* на прикладном языке программирования *Python*.

Для реализации модели была выбрана методика ансамблевых алгоритмов, в частности, метод «*bagging*» [Breiman, 1994], позволяющий провести поиск зависимостей через формирование множества случайных обучающих выборок (набор индикаторов + целевая функция), результаты которых, впоследствии, усредняются, чем достигается повышение

качества и точности анализа [Elliott, Granger, Timmermann, 2013]. Базовый алгоритм, опираясь на подмножество обучающих матриц (вида X_i , размерности $m \times g$, где $g < f$, формируются случайным порядком из X), добивается построения таких предикторов $D_i(m, X_i)$ для поиска максимального количества соответствий (положительных ответов), чтобы добиться минимизации потерь качества объяснения целевой функции [Polikar, 2006].

Результатом модели для каждого объекта исследования является сформированная матрица Yr , в которую входят только значимые группы угроз, влияющие на целевой показатель компании, и количественное выражение значимости (может принимать значение на отрезке $[0;1]$, суммарное значение будет равно единице). Критерием оценки качества полученных зависимостей была выбрана метрика R^2 (коэффициент детерминации), отражающая суммарную долю дисперсий рассматриваемых факторов [Чернышова и др., 2019]. Агрегированные результаты моделирования приведены в таблице 3.

Таблица 3

Table 3

Значимость групп угроз экономической безопасности
металлургических предприятий, доля
Significance of groups of threats to economic security
metallurgical enterprises, share

Источник угроз экономической безопасности	Группы угроз экономической безопасности	Объекты исследования			
		ПАО «ММК»	ПАО «НЛМК»	ПАО «Северсталь»	ПАО «ЕВРАЗ»
Внешние угрозы	Политико-экономические (мегауровень)	7,4 %	9,3 %	13,5 %	13,9 %
	Внешнерыночные (международный уровень)	13,7 %	16,7 %	7,1 %	11,1 %
	Политические (международный уровень)	2,1 %	4,9 %	3,9 %	6,7 %
	Внутрирыночные (макроэкономический уровень)	11,4 %	12 %	11,5 %	12,4 %
	Нормативно-законодательные (макроэкономический уровень)	6,3 %	7,1 %	8,3 %	9,8 %
	Потребительские (макроэкономический уровень)	1 %	1 %	1 %	1 %
	Социальные (мезоэкономический уровень)	3 %	2 %	2 %	3 %
	Информационные (мезо- и микроэкономический уровни)	1 %	1 %	1 %	1 %
	Экологические (мезо- и микроэкономический уровни)	4 %	4 %	3 %	3 %

Источник угроз экономической безопасности	Группы угроз экономической безопасности	Объекты исследования			
		ПАО «ММК»	ПАО «НЛМК»	ПАО «Северсталь»	ПАО «ЕВРАЗ»
Внутренние угрозы	Инвестиционные (микроэкономический уровень)	9,5 %	7,5 %	13,4 %	15,2 %
	Финансово-управленческие (микроэкономический уровень)	14,8 %	8,4 %	21,2 %	14,6 %
	Производственно-сбытовые (микроэкономический уровень)	22,8 %	22,1 %	12,1 %	6,3 %
	Управленческие (миниэкономический уровень)	3 %	4 %	2 %	2 %
Коэффициент детерминации R^2		98 %	97 %	95 %	99 %

Рассчитано авторами

Заключение

По итогам моделирования значимости групп угроз экономической безопасности можно отметить, что для металлургических предприятий в качестве наиболее важных угроз выделен спектр финансово-экономических, технико-технологических и маркетинговых угроз, являющихся эндогенными, а также экзогенные внутри- и внешерыночные угрозы. Каждый из рассмотренных объектов исследования обладает своей индивидуальной спецификой, в связи с чем некоторые группы угроз характерны только одному или двум предприятиям. Такой результат не должен позволить полностью исключить из рассмотрения и мониторинга менее значимые угрозы. В дальнейшем знание спектра основных угроз и степени их влияния на предприятия черной металлургии поможет создать комплексную нечетко-логическую модель оценки экономической безопасности и позволит, зная примерные тенденции, выносить прогнозные сценарные планы развития бизнеса.

Список литературы

1. Виссарионов А.Б., Гумеров Р.Р. 2017. Об использовании предельных (пороговых) значений индикаторов экономической безопасности Российской Федерации. *Управленческие науки*, 3: 12–20.
2. Глазьев С.Ю. 1997. Основа обеспечения экономической безопасности страны – альтернативный реформационный курс. *Российский экономический журнал*, 1–2: 3
3. Калина А.В., Савельева И.П. 2014. Формирование пороговых значений индикативных показателей экономической безопасности России и ее регионов. *Вестник Южно-уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*, 4: 15–24.
4. Краковский Ю.М., Лузгин А.Н. 2017. Исследование современных методов построения прогнозирующих ансамблей применительно к задаче интервального прогнозирования. *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*, 3 (55): 94–101.
5. Куклин А.А., Мызин А.Л., Пыхов П.А., Потанин М.М. 2013. Диагностика и механизмы повышения энергетической безопасности России. *Вестник Забайкальского государственного университета*, 10 (101): 134–149.
6. Магомедов О.А. 2008. Методологические принципы оценки состояния экономической безопасности региона. *Проблемы экономики и юридической практики*, 3: 246–248.
7. Материалы Федеральной службы государственной статистики. Показатели для оценки состояния экономической безопасности России. URL: <https://www.gks.ru/econSafety> (дата обращения 25.05.2020).

8. Сенчагов В.К., Иванов Е.А. 2015. Структура механизма современного мониторинга экономической безопасности России. М.: Институт экономики РАН, 46 с.
9. Сенчагов В.К., Максимов Ю.М., Митяков С.Н., Митякова О.И. 2011. Инновационные преобразования как императив экономической безопасности региона: система индикаторов. *Инновации*, 5: 56–61.
10. Симонов С.Г., Ямова О.В. 2018. Критерии и показатели оценки уровня экономической безопасности крупных компаний нефтегазового профиля. *Вестник Омского университета. Серия «Экономика»*, 4 (64): 57–67.
11. Указ Президента РФ от 13.05.2017 г. № 208 «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71572608/> (дата обращения 25.05.2020).
12. Чернышова Г.Ю., Самаркина Е.А. 2019. Методы интеллектуального анализа данных для прогнозирования финансовых временных рядов. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Экономика. Управление. Право*, 2: 181–188.
13. Breiman L. 1994. *Bagging Predictors. Technical Report*, 421. URL: <https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/bagging.pdf> (дата обращения 25.05.2020)
14. Elliott G., Granger C., Timmermann A. 2013. *Handbook of Economic Forecasting*, 2: 1324.
15. Polikar R. 2006. Ensemble based systems in decision making. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 6 (3): 21–45.

References

1. Vissarionov A.B., Gumerov R.R. 2017. On the use of limit (threshold) values of indicators of economic security of the Russian Federation. *Management Sciences*, 3: 12–20.
2. Glazyev S.Y. 1997. The basis for ensuring the country's economic security is an alternative reformation course. *Russian economic journal*, 1–2: 3
3. Kalina A.V., Savelieva I.P. 2014. Formation of threshold values for indicative indicators of economic security in Russia and its regions. *Bulletin of the South Ural state University. Series: Economics and management*, 4: 15–24.
4. Krakovsky Y.M., Luzgin A.N. 2017. The study of current methods for constructing ensembles of prediction as applied to the problem of interval prediction. *Modern technology. System analysis. Modeling*, 3 (55): 94–101.
5. Kuklin A.A., Myzin A.L., Pykhov P.A., Potanin M.M. 2013. Diagnostics and mechanisms for improving Russia's energy security. *Bulletin of the TRANS-Baikal state University*, 10 (101): 134–149.
6. Magomedov O.A. 2008. Methodological principles for assessing the state of economic security in the region. *Problems of Economics and legal practice*, 3: 246–248.
7. Materials of the Federal state statistics service. Indicators for assessing the state of Russia's economic security. URL: <https://www.gks.ru/econSafety> (accessed 25.05.2020).
8. Senchagov V.K., Ivanov E.A. 2015. Structure of the mechanism of modern monitoring of economic security in Russia. Moscow: Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences, 46 p.
9. Senchagov V.K., Maximov Y.M., Mityakov S.N., Mityakova O.I. 2011. Innovative transformations as an imperative of economic security in the region: a system of indicators. *Innovation*, 5: 56–61.
10. Simonov S.G., Yamova O.V. 2018. Criteria and indicators for assessing the level of economic security of large oil and gas companies. *Bulletin of Omsk University. Economics Series*, 4 (64): 57–67.
11. Decree of the President of the Russian Federation dated 13.05.2017 No. 208 «On the Strategy of economic security of the Russian Federation for the period up to 2030». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71572608/> (accessed 25.05.2020).
12. Chernyshova G.Y., Samarkina E.A. 2019. Data mining methods for predicting financial time series. *Izvestiya of Saratov University. New series. The Economic Series. Management. Law*, 2: 181–188.
13. Breiman L. 1994. *Baggy Predictors. Technical Report*, 421. URL: <https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/bagging.pdf> (accessed 25.05.2020)
14. Elliott G., Granger C., Timmermann A. 2013. *Handbook of economic forecasting*, 2: 1324.
15. Polikar R. 2006. Ensemble systems in the decision-making process. *Magazine IEEE Circuits and Systems Magazine*, 6 (3): 21–45.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рябков Илья Леонидович, аспирант Череповецкого государственного университета, Череповец, Россия

Яшалова Наталья Николаевна, доктор экономических наук, доцент, заведующая кафедрой экономики и управления Череповецкого государственного университета, Череповец, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Р'ябков I. L. Ryabkov, Postgraduate Student of Cherepovets State University, Cherepovets, Russia

Natal'ya N. YAshalova, Doctor of Economics, Associate Professor, Head of the Department of Economics and Management of Cherepovets State University, Cherepovets, Russia

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

PUBLIC AND BUSINESS FINANCE

УДК 336.23

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-533-544

Перспективы курортного и гостиничного сборов в системе неналоговых платежей РФ

М.С. Гордиенко

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, РФ, 117997,
г. Москва, Стремянный переулок, 36
E-mail: gordienkomikhail@yandex.ru

Аннотация

В статье представлены детальные характеристики курортного и гостиничного сборов, дана критическая оценка нововведению, а также предложены направления совершенствования системы неналоговых платежей РФ с учетом зарубежного опыта. Проводимый эксперимент по взиманию курортного сбора еще не завершен, при этом данный опыт нуждается в серьезной оценке и переосмыслении с позиции влияния сбора на инфраструктурную составляющую с одной стороны, а также на привлекательность отечественного курортного сектора с другой, попытку чего делает автор данной статьи. Необходимо подвести итоги эксперимента и только после этого, и с учетом текущей экономической обстановки, можно планировать трансформацию курортного в гостиничный сбор в РФ.

Ключевые слова: неналоговый платеж, налоговая система, сбор, курортный сбор, гостиничный сбор, эксперимент, Республика Крым, Алтайский край, Краснодарский край, Ставропольский край.

Для цитирования: Гордиенко М.С. 2020. Перспективы курортного и гостиничного сборов в системе неналоговых платежей РФ. Экономика. Информатика. 47 (3): 533–544. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-533-544.

Prospects of resort and hotel charges in the system of non-tax payments of the Russian Federation

M.S. Gordienko

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation, 117997,
Moscow, Stremyanny lane, 36
E-mail: gordienkomikhail@yandex.ru

Abstract

The result of the consideration of the problems and tasks of the development of the hospitality industry in the Russian Federation in 2016 was a legislative initiative to conduct an experiment in four constituent entities of the Russian Federation to introduce a resort fee. As part of the experiment, it was supposed to conduct testing of the procedures for accumulating and redistributing collection funds for the development of the sanatorium and resort infrastructure of the participating regions. Later in 2018, even before the end of the experiment, a new legislative initiative was introduced to transform the resort into a hotel fee in order to improve the quality of administration of a new payment. Detailed characteristics of the two fees are presented, as well as critical comments and directions for improving the system of non-tax payments in the Russian Federation, taking into account foreign experience. The experiment on levying resort fees has not yet been completed, and this experience needs to be seriously evaluated and rethought from the standpoint of the impact of fees on the infrastructure component on the one hand, as well as on the attractiveness of the domestic resort sector on the other. It is necessary to summarize the experiment and only after that, and taking into account the current economic situation, it is possible to plan the transformation of the resort into a hotel fee in the Russian Federation.

Keywords: non-tax payment, tax system, tax, resort tax, hotel tax, experiment, Republic of Crimea, Altai Territory, Krasnodar Territory, Stavropol Territory.

For citation: Gordienko M.S. 2020. Prospects of resort and hotel charges in the system of non-tax payments of the Russian Federation. Economics. Information technologies. 47 (3): 533–544 (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-533-544.

Введение

Результатом рассмотрения проблем и задач развития индустрии гостеприимства в РФ в 2016 г. стала законодательная инициатива по проведению эксперимента в четырех субъектах РФ по введению курортного сбора. В рамках эксперимента предполагалось проведение тестирования процедур аккумулирования и перераспределения средств сбора на развитие санаторно-курортной инфраструктуры регионов-участников. Позднее, в 2018 г., еще до завершения эксперимента, была выдвинута новая законодательная инициатива по трансформации курортного в гостиничный сбор в целях повышения качества администрирования нового платежа. На сегодняшний день вопрос остается открытым, чем и определяется актуальность исследования.

Хронология вопроса такова: 26 августа 2016 года состоялся очередной Госсовет при Президенте РФ, посвященный вопросам повышения инвестиционной привлекательности российских курортов. По итогам Госсовета 19 сентября 2016 года на официальном портале Президента РФ был опубликован перечень поручений [Перечень поручений, 2016], направленных на решение задач стратегического развития санаторно-курортного комплекса РФ. Одно из поручений предусматривало внесение в законодательство РФ изменений, направленных на введение курортного сбора, доходы которого предназначались бы для целей финансового стимулирования санаторно-курортного комплекса РФ.

Выполнение этого поручения выразилось в разработке и внесении 6 мая 2017 года Министерством РФ по делам Северного Кавказа на рассмотрение в Госдуму РФ законопроекта № 169585-7 «О проведении эксперимента по развитию курортной инфраструктуры в Республике Крым, Алтайском крае, Краснодарском крае и Ставропольском крае» [О проведении эксперимента – законопроект, 2017]. Цель эксперимента – восстановление, сохранение и развитие объектов санаторно-курортной инфраструктуры. Дата окончания эксперимента – 31.12.2022 г.

Эксперимент основывается на историческом опыте, свидетельствующем о том, что подобный сбор на территории СССР существовал уже с 1933 г. в соответствии с постановлением ЦИК СССР, которое целеполаганием платежа определяло «...благоустройство курортов и культурное обслуживание трудящихся...» [Бойко, 2019]. Платеж взимался с приезжающих на курорт для лечения или отдыха в момент «прописки паспорта или заменяющего документа» и поступал в республиканский бюджет. С 1992 года сбор был закреплен в качестве местного налога, но в 2004 году вследствие превышения затрат на его администрирование по сравнению с объемом поступлений был отменен [Баймухаметов, 2019]. Только в 2015 году, в профильном сообществе появились предложения вернуть сбор.

Указанный выше законопроект № 169585-7, в конечном итоге, воплотился в федеральный закон от 29.07.2017 года N 214-ФЗ, но анализ процедуры его доработки и принятия представляет значительный практический интерес.

Объекты и методы исследования

Целью исследования является оценка и переосмысление с позиции влияния сбора на инфраструктурную составляющую с одной стороны, а также на привлекательность отечественного курортного сектора с другой. Идея исследования заключается в анализе и сопоставлении основных параметров курортного сбора, а также практики его применения с предлагаемыми правовыми и финансовыми конструкциями по новому гостиничному сбору.

Гипотеза исследования заключается в том, что переход от одного сбора к другому возможен только после завершения проводимого эксперимента, подведения его итогов, а также с учетом детальной проработки механизмов взимания нового сбора.

Объектом исследования являются хронология взимания курортного сбора в СССР и РФ; особенности законодательного процесса подготовки и доработки законопроекта о курортном сборе с учетом замечаний профильных органов законодательной и исполнительной власти; характеристики курортного сбора по закону об эксперименте с характеристиками гостиничного сбора по законопроекту о переносе некоторых неналоговых платежей в НК РФ [Налоговый кодекс, 2020].

Использовались нормативные правовые акты в сфере неналоговых платежей – законопроект о проведении эксперимента по введению курортного сбора, законопроект о переносе некоторых неналоговых платежей в НК РФ (в частности – гостиничный сбор), а также основные направления бюджетной, налоговой и таможенно-тарифной политики Министерства финансов РФ как основного стратегического документа финансового планирования. Научные и периодические источники позволили сформировать критический взгляд, а также понимание состояния дел практической плоскости.

Основные результаты исследования

Финансово-экономическое обоснование по законопроекту в достаточной степени стандартно и соответствует подобного рода документам в иных законодательных инициативах по увеличению фискальной нагрузки. Однако обращает на себя внимание факт того, что разработчиком – федеральным органом исполнительной власти за время подготовки законопроекта не была проведена оценка и представление в обосновании гипотетических затраты на администрирование платежа. Для решения этой задачи были направлены запросы в исполнительные органы власти четырех регионов-участников эксперимента, позиция которых оказалась неоднородной, что представлено в таблице 1.

Таблица 1

Table 1

Позиция регионов-участников эксперимента по финансово-экономическому обоснованию законопроекта № 169585-7

The position of the regions participating in the experiment on the financial and economic substantiation of bill No. 169585-7

№	Субъект РФ	Дополнительное финансирование	Дополнительная штатная численность работников
1	Республика Крым	Не требуется	Не требуется
2	Краснодарский край	Не представляется возможным определить в связи с отсутствием механизма взимания и порядка администрирования платы	
3	Ставропольский край	Не представляется возможным определить в связи с отсутствием механизма взимания и порядка администрирования платы	
4	Алтайский край	Выделение до 10 % от аккумулируемого объема фонда развития курортной инфраструктуры за календарный год – на расходы по администрированию	Не требуется

Комитет по бюджету и налогам ГД РФ подготовил ряд замечаний, требующих решения и предложения по корректировке законопроекта во втором чтении, а именно:

- фонд развития курортной инфраструктуры, являясь по замыслу авторов законопроекта основным инструментом перераспределения аккумулируемых финансовых ресурсов, не имеет корректного законодательного статуса в БК РФ, должен создаваться на региональном уровне в качестве целевого, при этом не предусмотрена организация-оператор данного фонда;

- срок эксперимента рекомендуется сократить с 5 до 2 лет, для ускорения процедуры выхода из эксперимента и введения в фискальную эксплуатацию платежа на всей территории страны;

- отсутствует оценка и учет затрат фискальных процедур сбора и администрирования платежа его операторами – юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями;

- существует задача разработки особого порядка учета налогового потенциала субъектов РФ по курортному сбору при распределении дотаций на выравнивание бюджетной обеспеченности в целях выполнения принципов бюджетной системы;

- не могут являться предметом законопроекта положения в части изменений бюджетного законодательства, в связи с чем возникает необходимость внесения изменений в БК РФ и связанное с вопросами законопроекта законодательство;

- контроль за исполнением фискальной дисциплины плательщиков и операторов платежа не возложен на какой-либо профильный орган, а предполагается к реализации в общем порядке в соответствии с федеральным законом «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля»;

- по мнению бизнес-объединений, прогнозный объем поступлений от платежа может превышать ежегодную потребность в средствах;

- создаются риски снижения и перераспределения туристического потока при реализации норм федерального закона по альтернативным направлениям;

- наблюдается непропорциональность взимания сбора, выражающаяся в том, что финансирование развития инфраструктуры курортов планируется осуществлять исключительно за счет сбора с отдыхающих, в то время как непрерывное использование инфраструктурой осуществляется постоянно проживающими гражданами РФ на территории курортных регионов;

- в документе отсутствует процедура выхода органов региональной власти и местного самоуправления из экспериментального режима.

При детальном рассмотрении принятого федерального закона о курортном сборе видно, что большинство перечисленных замечаний и рекомендаций не были учтены в полном объеме или были учтены лишь фрагментарно. И только последний пункт в полном объеме был реализован Федеральным законом от 24.04.2020 N 142-ФЗ "О внесении изменений в статью 5 Федерального закона «О проведении эксперимента по развитию курортной инфраструктуры в Республике Крым, Алтайском крае, Краснодарском крае и Ставропольском крае» [О проведении эксперимента – федеральный закон, 2020], и то, на наш взгляд, только вследствие резко ухудшающейся финансовой обеспеченности регионов РФ в связи с эпидемиологической обстановкой.

На стадии законопроекта критику представило и экспертное сообщество, акцентировав внимание на: завышенной сумме сбора для среднестатистического россиянина; наличии слабо контролируемого теневого сектора туристических услуг; низком уровне развития инфраструктуры; непроработанном перечне льготных категорий граждан, освобождающихся от уплаты; коррупционных рисках контрольно-надзорных процедур.

Несмотря на значительное число критических замечаний, федеральный закон об эксперименте был принят и законодательными актами регионов и органов местного самоуправления, установлен сбор для курортной местности.

Значительная доля населения, занятого в профильных секторах экономики, эту инициативу восприняла негативно. По данным опроса, проведенного «Финансовой газетой» и опубликованного в июле 2019 года [Добрикова, 2017], 78 % респондентов высказались против введения сбора, который, по мнению экспертов, не будет способствовать устойчивому развитию внутреннего туризма. В качестве альтернативного механизма сбора средств ими предлагалось формирование и развитие культуры добровольных пожертвований, что едва ли может претендовать на роль стабильного источника аккумулирования финансовых ресурсов, предназначенных для развития инфраструктуры.

Определенный интерес представляет социологическое исследование, проведенное в ноябре 2019 года [Огородников, 2019]. Опрос проводился методом анкетирования с использованием онлайн панели респондентов. Выборочная совокупность 2000 респондентов определялась на основе статистических данных о социально-демографической структуре населения России. Результаты исследования, анализ влияния социально-экономических последствий реализации закона на деятельность граждан и организаций говорят о том, что более половины граждан рассматривает Россию как место отдыха. При этом улучшение экономического положения гражданина снижает установку на отдых в России. Это связано в первую очередь с высокими ценами на проезд и проживание, с ценами, несоответствующими качеству предоставляемых услуг, и слабой инфраструктурой (см. рис. 1). Неудовлетворенность соотношением цены и качества туристических услуг в России в равной степени высказывают и состоятельные граждане, и опрошенные с низким уровнем дохода, а более других не удовлетворены пенсионеры.

К сожалению, среди населения доминирует ожидание сохранения невысокого уровня туристической инфраструктуры. Граждане России сдержанно или отрицательно оценивают уровень развития туристической инфраструктуры в стране. Хорошие условия для отдыха в России отметили всего лишь 22% респондентов, при этом чем выше доход, тем ниже оценки туристической инфраструктуры.

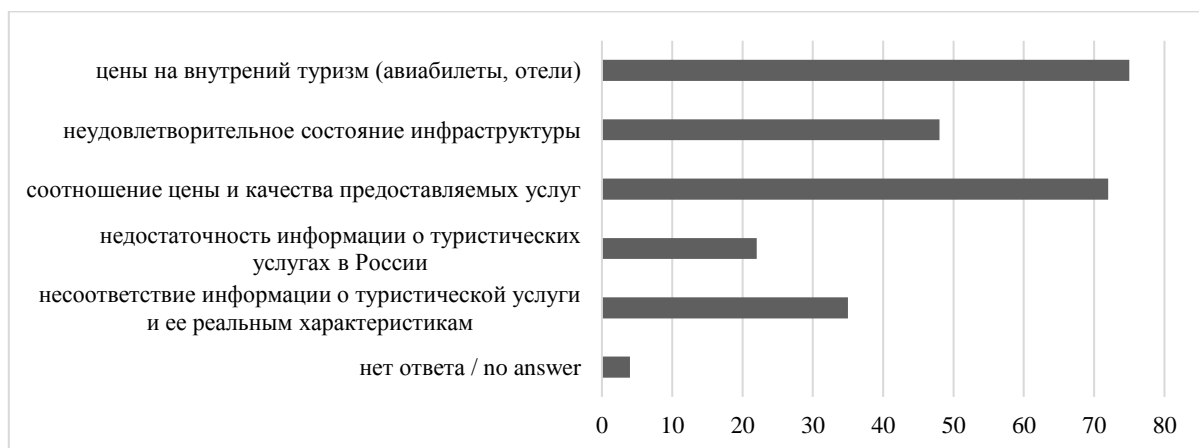


Рис. 1. Причины недовольности российским туризмом, %
 Fig. 1. Reasons for dissatisfaction with Russian tourism, %

Вместе с тем граждане России, отдыхающие в своей стране, интересуются развитием курортной инфраструктуры – почти всем гражданам во всех социальных группах хотелось бы знать, на какие цели расходуются средства, и самим принимать участие в выборе направлений расходования собранных средств (см. рисунок 2).



Рис. 2. Желание граждан РФ участвовать в выборе целей, на которые будут направлены средства курортного сбора, %

Fig. 2. The desire of citizens of the Russian Federation to participate in the selection of goals for which resort fee funds will be directed, %

Около половины опрошенных (41 %) считают противоречащим принципом социальной справедливости введение курортного сбора. Причинами такого отношения помимо прочих являются незнание о целях расходования средств от сборов и неудовлетворенность качеством отдыха в России. Об этом говорят данные о том, что среди групп населения, предпочитающих отдыхать за рубежом и незнающих целей взимания курортных сборов, существенно увеличивается доля отрицающих справедливость сбора. Позиция о несправедливости взимания сбора более характерна для граждан с доходом ниже среднего, для безработных и занимающихся домашним хозяйством, опрошенных моложе 35 лет.

Разногласия в обществе по поводу территории, где целесообразно взимать курортный сбор, вызывает в большей степени республика Крым. Среди тех, кто поддерживает сбор, больше всего ответов о возможности его взимания в Крыму и в Краснодарском крае. При этом сбор на территории Крыма и Краснодарского края одобряют больше опрошенные со средним уровнем дохода, учащиеся и пенсионеры, тем, кому известны цели взимания сбора, и кто предпочитает отдыхать в России.

Нельзя не отметить и тот факт, что сама экономико-правовая природа сбора в полной мере отвечает элементной структуре налога:

1) субъект платежа – физические лица, прибывающие в курортный регион и пользующиеся инфраструктурой, при этом не имеет значения характер поездки – на отдых или на работу;

2) объект платежа – гостиничный комплекс, который фиксирует факт нахождения физического лица на объектах размещения более 24 часов;

3) налоговая база – общее число фактически прожитых на курорте дней, кроме дня заезда туриста;

4) налоговая ставка – платежи пропорционально времени пребывания, устанавливается по решению соответствующего региона, см. таблицу 2.

Таблица 2

Table 2

Ставки сбора в рамках эксперимента
Experimental fee rates

№	Субъект РФ	Ставка сбора с человека в сутки
1	Республика Крым	С 1 мая до 30 сентября – 10 руб.; с 1 января до 30 апреля и с 1 октября до 31 декабря – 0 руб.
2	Краснодарский край	10 руб.
3	Ставропольский край	50 руб.
4	Алтайский край	В 2018 году – 30 руб., в 2019–2022 годах – 50 руб. за сутки.

5) период сбора – от 3 до 10 дней в течение месяца после оплаты (различен по регионам);

6) льготы – широко определены, перечень составляет 19 наименований категорий граждан (Министерство спорта выступало с инициативой расширить это список с включением участников официальных физкультурных и спортивных мероприятий, проходящих на территории эксперимента [О перечне документов, 2018]);

7) порядок исчисления – общее число дней проживания минус один (день приезда), умноженные на ставку сбора;

8) порядок и сроки уплаты налога – оплачивается при прибытии в санаторий или отель самостоятельно оператору сбора (юридическому или физическому лицу – индивидуальному предпринимателю, которое предоставляет услуги по временному проживанию отдыхающих).

Таким образом, на наш взгляд, в ходе реализации эксперимента выявилось значительное количество критических замечаний как по правовому статусу, так и по используемым механизмам взимания и распределения платежа.

Первое, что обращает на себя внимание – это отсутствие курортного сбора на региональном и местном уровнях в существующей системе налогов и сборов НК РФ. Отмечается неопределенность правовой природы платежа, который с одной стороны имеет (подобно сбору) целевую направленность по возмещению расходов на развитие инфраструктуры, с другой – имеет все элементные признаки налога. Если же рассматривать курортный сбор по критерию индивидуальной безвозмездности, которая характерна всем сборам, то следует отметить, что этот критерий не выполняется, так как все плательщики на основании акта оплаты получают право пользования инфраструктурой, и под которым понимается причинение действиями плательщиков некоторого ущерба в процессе пользования [Евсикова, 2018].

Отдельным дискуссионным вопросом является индивидуализация платежа в рамках реализации принципа соразмерности и справедливости, поскольку отсутствуют законодательно закрепленные критерии пользования инфраструктурой. Сама по себе плата за пользование не может учитываться в качестве эквивалента причинённого инфраструктуре ущерба. Его величина определяется по усредненным показателям статистических наблюдений. Индивидуализация поступающих в бюджетно-налоговую систему финансовых ресурсов также не предусмотрена, поскольку они в обезличенном виде поступают в фонд развития курортной инфраструктуры [Евсикова, 2019].

В случае неуплаты или несвоевременной уплаты сбора возникает обязательство уплатить административный штраф, что более характерно для неналогового платежа, поскольку налог повлек бы за собой изъятие денежных средств в форме налоговой недоимки. НК РФ при этом никак не регулирует вопросы ответственности уплаты, они полностью делегированы региональному уровню власти.

Региональное законодательство неоднозначно в терминологическом плане определяет сбор – в законодательных актах Республики Крым и в Краснодарском Крае предусматривается введение «курортного сбора», а в Алтайском и Ставропольском крае – сбор именуется, как «плата за пользование курортной инфраструктурой». Очевидна терминологическая неопределенность, которая не способствует систематизации бюджетно-налоговых правоотношений между плательщиками и контролирующими органами. Можно заключить, что платеж, сформированный и взимаемый за пользование санаторно-курортной инфраструктурой, по своей правовой сущности в большей мере соответствует налогу, чем неналоговому платежу [Анисимов, Аракелов, Темиров, 2019].

Возможно, что перечисленные неточности в определении сбора компенсируются его финансовой эффективностью. Для ответа на это вопрос обратимся к отчетам об исполнении бюджетов указанных выше регионов-участников эксперимента. В отчете Краснодарского края по доходам за 2018 г. представлена статьей плата за пользование курортной инфраструктурой (курортный сбор), при этом в 2019 г. фигурируют сразу три статьи – собственно курортный сбор; курортный сбор, мобилизуемый на территориях городских округов; плата за пользование курортной инфраструктурой (курортный сбор). В отчете об исполнении бюджета Республики Алтай и Крым, включая консолидированную отчетность, данные по курортному сбору отсутствуют. В отчете об исполнении бюджета Ставропольского края присутствует единое наименование – курортный сбор.

Как видно из рисунка 3, исходя из имеющихся данных об исполнении региональных бюджетов по доходам, объем поступающих финансовых ресурсов от сбора увеличивается. Совокупные суммы поступающих средств в масштабе региональных бюджетов крайне малы – от 109 до 292 млн руб. [Алабед-2, 2018]. Например, в Ставропольском крае от операторов в 2018 году поступило около 168 млн руб., из них Кавказские Минеральные воды принесли 163 млн руб., т. е. ежемесячно поступало более 24 млн руб. [Добрикова, 2017]. Общее количество отдыхающих, оплативших сбор, составило более 263 тысяч человек [Хурмагов, 2018].

Собранные средства активно используются для развития наиболее знаковых туристических мест. Например, руководство Ставропольского края уже профинансировало благоустройство парка «Курортный» в Ессентуках на 54 млн руб., ремонт терренкура

(пешеходной тропы) санатория «Горный воздух» в объеме 28 млн руб., развитие инфраструктуры парка «Цветник» в Пятигорске в объеме 37 млн руб. [Алабед-1, 2018].

В целом нужно отметить, что первоначальные прогнозные параметры были заявлены куда более внушительными, например, за период 2018–2022 гг. в Ставропольском крае планировалось собрать до 2 млрд руб., в Краснодарском крае – 8,3 млрд руб., в Республике Крым – 16,4 млрд руб. [Евсикова, 2018]. При сохраняющейся динамике лидер по сбору – Ставропольский край – вполне может выйти на прогнозные показатели, чего нельзя сказать о Краснодарском крае, который на данный момент собрал менее полумиллиарда рублей. Оценивать прогнозы по другим регионам не представляется возможным ввиду отсутствия соответствующей отчетности.

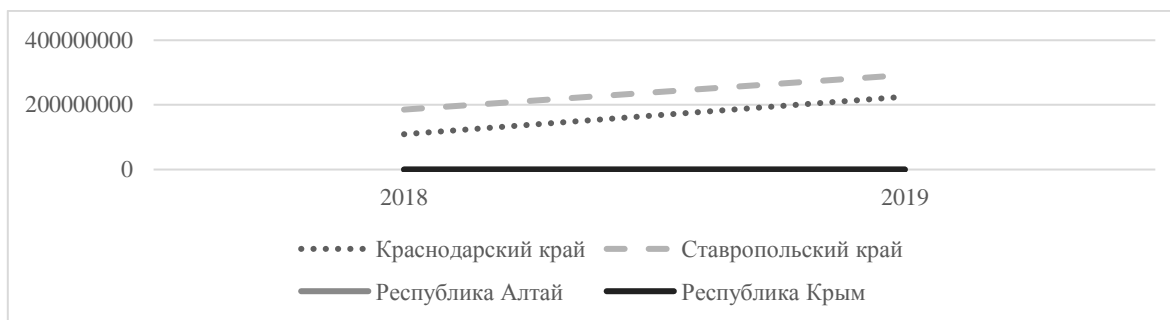


Рис. 3. Объем поступающих финансовых ресурсов от введения курортного сбора в четырех регионах проведения эксперимента, руб.

Fig. 3. The volume of incoming financial resources from the introduction of resort fees in the four regions of the experiment, rub.

Зарубежная практика свидетельствует о том, что данный фискальный инструмент достаточно активно применяется в странах с развитой экономикой уже более 60 лет. Как правило, введением курортного или туристического сбора занимаются органы муниципальной власти, которые находятся в непосредственной близости к оператору платежа и всем процессам управления туристическими потоками. Целевое назначение средств аналогично отечественной практике – развитие туристической инфраструктуры. Например, в Италии величина сбора колеблется между 1 и 5 евро в сутки в зависимости от локализации проживающего, оплата производится в гостинице при помощи квитанции. В США в качестве фискального инструмента применяется налог, величина которого зависит от параметров туристического рынка (приоритета отдыхающих по каким-либо направлениям, а также времени отдыха). Во Франции сбор составит от 1 до 3 евро [Бредов, 2020], в Египте – \$ 25, в Испании 1 – 2,5 евро [Ситников, 2020]. Отсутствует сбор в развивающихся странах, например, в Турции, Болгарии и Индии, которые таким образом увеличивают привлекательность и конкурентоспособность собственных курортов [Гадалина, 2019].

Показателен пример Беларуси, которая включила курортный сбор в Налоговый кодекс РБ на уровне местных налогов и сборов. Объектом налогообложения, как в России, признается проживание не менее суток в санаторно-курортных или профилактических центрах (речи о частном гостиничном секторе не идет). Более значительными являются расхождения между отечественной и белорусской практикой в части определения налоговой базы, которая учитывается в братской республике, как стоимость путевки или стоимость проживания. Относительно этой величины применяется ставка, которая не может превышать 5 % в зависимости от решения муниципалитета. Оплатить сбор необходимо не позднее последних суток пребывания, а в случае досрочного отъезда сбор не возвращается.

Учитывая подобную позитивную практику взимания курортного налога в Республике Беларусь, а также тяготение российского сбора к налогу по своей юридической сущности и необходимость легитимизации его статуса, Министерство финансов РФ в основных направлениях бюджетной, налоговой и таможенно-тарифной политики на 2020 г. и плановый

период обозначило перспективную задачу – систематизация действующих неналоговых платежей и включения некоторых из них, имеющих квазиналоговый характер, в Налоговый кодекс РФ. В это число вошел и курортный сбор.

В редакции законопроекта «О внесении изменений в части первую и вторую Налогового кодекса Российской Федерации» [О внесении изменений, 2020] (в части включения отдельных неналоговых платежей в Налоговый кодекс Российской Федерации) от 26.03.2020 г., предлагается трансформировать «курортный сбор» в «гостиничный сбор», ввести его в новом качестве в НК РФ. В этих целях вводится глава 33.1 «Гостиничный сбор» в 10 разделе о местных налогах и сборах, что подчеркивает делегирование вопросов управления сбором на муниципальный уровень власти. При этом первые же статьи главы указывают на возможность введения сбора на всей территории РФ, но при наличии инициативы на местном уровне.

Основные нововведения касаются механизмов взимания сбора. Прежде всего была изменена категория плательщиков сбора, если ранее это были гости курортного региона, то теперь обязанность по уплате сбора лежит на организациях и индивидуальных предпринимателях, предоставляющих гостиничные услуги, услуги по временному размещению или обеспечению временного проживания физических лиц. В тоже время, на федеральном уровне предлагается установить, что плательщиками гостиничного сбора не признаются индивидуальные предприниматели, применяющие патентную систему налогообложения. Объектом налогообложения приняты доходы от оказания указанных выше услуг, база – доходы, полученные за время пребывания пользователем гостиничных услуг в курортном регионе. Ставка сбора с твердой изменена на относительную, что с позиции фискальных интересов государства намного эффективнее и не может превышать 3 % налогооблагаемой базы. Любое меньшее значение может устанавливаться органами муниципальной власти. Реализация обязанности по уплате сбора должна быть реализована не позднее 15-го числа месяца, следующего за периодом обложения.

Заключение

Новая система обложения гостиничным сбором намного более точная и продуманная, чем ранее представленный механизм в проводимом по сей день эксперименте с курортным сбором. В случае введения гостиничного сбора можно прогнозировать безусловное повышение его собираемости, а также качества налогового администрирования со стороны налоговых органов, т. к. большинство ранее неоднозначно трактуемых вопросов курортного сбора были учтены в описании сбора гостиничного. Применительно к новому сбору важно другое – поддержание баланса между инфраструктурным развитием курортных местностей и ростом фискальной нагрузки на субъекты курортной деятельности. Важно не допустить взаимоисключение этих двух процессов, когда излишняя фискальная нагрузка начнет сдерживать экономический рост и привлекательность отечественных предприятий санаторно-курортного и ресторанно-гостиничного секторов экономики даже несмотря на собираемые ресурсы, направляемые на развитие инфраструктуры.

Современные реалии карантинных ограничений внесли серьезные корректировки в финансовую политику компаний санаторно-курортного и ресторанно-гостиничного секторов экономики. Четыре основных бизнес-объединения РФ: РСПП, ТПП РФ, «Деловая Россия» и «Опора России» направили в Правительство РФ совместное обращение о необходимости срочных мер государственной поддержки хозяйствующих субъектов, включая отмену или отсрочку по платежам всех налоговых и неналоговых платежей в 2020 году. С учетом сложившейся ситуации нам представляются целесообразными запрашиваемые бизнесом меры поддержки. Кроме того, у профильных органов законодательной и исполнительной власти будет временной лаг, который даст возможность проведения детальной оценки результатов эксперимента по курортному сбору. В совокупности это позволит подойти наиболее объективно к оценке, редакции и введению в действие нового законопроекта по гостиничному сбору уже после снятия карантинных ограничений и восстановления экономических процессов в стране.

Список литературы

1. Алабед Алкадер Н.М. 2018. Модели взаимодействия государственного и частного секторов в инфраструктурных проектах (build-operate-transfer метод). Финансовые тренды развития корпоративного и гос. секторов экономики. Материалы IV Междун. Конгресса молодых ученых по проблемам устойч. развития: 146–150.
2. Алабед Алкадер Н.М. 2018. Проблемы и перспективы финансирования инфраструктурных проектов на основе государственно-частного партнерства. Финансовая жизнь, 2: 4–6.
3. Анисимов В.И., Аракелов М.С., Темиров Д.С. 2019. Введение курортного сбора в Краснодарском крае: анализ первых результатов и оценка перспектив развития. Актуальные аспекты реализации стратегии модернизации России: поиск модели эффективного хозяйственного развития. Сборник статей Международной научно-практической конференции: 26–33.
4. Баймухаметов Б.В. 2019. Правовая природа и перспективы реализации курортного сбора в Российской Федерации. Государство и право. Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции: 5–6.
5. Бойко С.В. 2019. Курортный сбор: правовая природа и перспективы эксперимента. Государство и право. Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции: 7–8.
6. Бредов Д.А. 2020. Правовое регулирование курортного сбора в субъектах Российской Федерации. Эпомен, 35: 58–64.
7. Гадалина А.С. 2019. Курортный сбор как инструмент развития государственной политики в сфере туризма. Государство и бизнес в условиях глобализации и цифровой трансформации. Сборник статей студентов бакалавриата и магистратуры. Под редакцией И.В. Федосеева, Н.В. Васильевой. Санкт-Петербург: 52–57.
8. Добрикова Е. 2017. Введение курортного сбора, по мнению общественников, может привести к снижению турпотока. [Электронный ресурс]: Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
9. Евсикова Е.В. 2019. К вопросу о создании фонда развития курортной инфраструктуры в контексте установления и взимания курортного сбора. Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Юридические науки, 5-3: 264–271.
10. Евсикова Е.В. 2018. Курортный сбор в системе налогов и сборов Российской Федерации. Юридический вестник ДГУ, 26–2: 83–91.
11. Налоговый кодекс Российской Федерации. Часть вторая от 05.08.2000 № 117-ФЗ (ред. от 04.06.2018). СЗ РФ. № 32. Ст. 3340.
12. Налоговый кодекс Российской Федерации. Часть первая от 31.07.1998 № 146-ФЗ (ред. от 19.02.2018). СЗ РФ. № 31. Ст. 3824.
13. О внесении изменений в части первую и вторую Налогового кодекса Российской Федерации (в части включения отдельных неналоговых платежей в Налоговый кодекс Российской Федерации) (текст по состоянию на 21.02.2020): проект федерального закона [Электронный ресурс]: Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
14. О перечне документов, служащих основанием для освобождения от уплаты курортного сбора спортсменами, тренерами, специалистами, спортивными судьями при их участии в официальных физкультурных и спортивных мероприятиях на территории эксперимента: письмо Минспорта России от 18.05.2018 N ИСХ-02-4-09/7285 [Электронный ресурс]: Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
15. О проведении эксперимента по развитию курортной инфраструктуры в Республике Крым, Алтайском крае, Краснодарском крае и Ставропольском крае: законопроект № 169585-7 [Электронный ресурс]: Официальный сайт Системы обеспечения законодательной деятельности. URL: <https://sozd.duma.gov.ru/bill/169585-7>
16. О проведении эксперимента по развитию курортной инфраструктуры в Республике Крым, Алтайском крае, Краснодарском крае и Ставропольском крае: федеральный закон от 29.07.2017 N 214-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс]: Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
17. Огородников А.Ю. 2019. Результаты социологического опроса «Эффективность правоприменения Федерального закона от 29 июля 2017г. №214-ФЗ “О проведении эксперимента по развитию курортной инфраструктуры в Республике Крым, Алтайском крае, Краснодарском крае и Ставропольском крае”». М., МГЮА, 15.

18. Перечень поручений по итогам заседания президиума Госсовета о повышении инвестиционной привлекательности российских курортов [Электронный ресурс]: Официальный сайт Президента РФ, 19 сентября 2016 года. URL: <http://kremlin.ru/acts/assignments/orders/52943>

19. Ситников М.С. 2020. Курортный сбор: способ пополнения бюджета или ограничение свободы. Вопросы российской юстиции, 5: 578–582.

20. Хурмагов И.А. 2018. К вопросу о результатах эксперимента по введению курортного сбора на территории Кавказских Минеральных Вод. Научные Известия, 13: 47–51.

References

1. Alabed Alkader N.M. 2018. Models of interaction between the public and private sectors in infrastructure projects (build-operate-transfer method). Financial trends in the development of corporate and state. sectors of the economy Materials IV Int. Congress of Young Scientists on Sustainable. Development: 146–150. (in Russian)

2. Alabed Alkader N.M. 2018. Problems and prospects of financing infrastructure projects based on public-private partnerships. Financial life, 2: 4–6. (in Russian)

3. Anisimov V.I., Arakelov M.S., Temirov D.S. 2019. Introduction of resort tax in the Krasnodar Territory: analysis of the first results and assessment of development prospects. Actual aspects of the implementation of Russia's modernization strategy: search for a model of effective economic development Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference: 26–33. (in Russian)

4. Baimukhametov B.V. 2019. Legal nature and prospects for the implementation of resort fees in the Russian Federation. State and Law Materials of the 57th International Scientific Student Conference: 5–6. (in Russian)

5. Boyko S.V. 2019. Resort fee: legal nature and prospects of the experiment. State and Law Materials of the 57th International Scientific Student Conference: 7–8. (in Russian)

6. Bredov D.A. 2020. Legal regulation of resort tax in the constituent entities of the Russian Federation. Epomenon, 35: 58–64. (in Russian)

7. Gadalina A.S. 2019. Resort fee as a tool for the development of state policy in the field of tourism. State and business in the context of globalization and digital transformation. Collection of articles by undergraduate and graduate students. Edited by I.V. Fedoseeva N.V. Vasilyeva, St. Petersburg: 52–57. (in Russian)

8. Dobrikova E. The introduction of resort fees, according to public figures, can lead to a decrease in tourist flow. [Electronic resource]: Access from the consultant-legal system ConsultantPlus. (in Russian)

9. Evsikova E.V. 2019. To the question of creating a fund for the development of resort infrastructure in the context of the establishment and collection of resort fees. Scientific notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Jurisprudence, 5-3: 264–271. (in Russian)

10. Evsikova E.V. 2018. Resort tax in the system of taxes and fees of the Russian Federation. Legal Bulletin of the Dagestan State University, 26- 2: 83–91. (in Russian)

11. Tax Code of the Russian Federation. Part Two of 05.08.2000 No. 117-FZ (as amended on 06/04/2018). SZ RF. No. 32. Article 3340. (in Russian)

12. Tax Code of the Russian Federation. Part one of 07/31/1998 No. 146-FZ (as amended on 02/19/2018). SZ RF. No. 31. Art. 3824. (in Russian)

13. On amendments to parts one and two of the Tax Code of the Russian Federation (regarding the inclusion of certain non-tax payments in the Tax Code of the Russian Federation) (text as of 02.21.2020): draft federal law [Electronic resource]: Access from the legal reference system "Consultant Plus". (in Russian)

14. On the list of documents that serve as the basis for exemption from resort tax payment by athletes, coaches, specialists, sports judges with their participation in official physical culture and sports events in the experiment: letter of the Ministry of Sports of Russia dated 05/18/2018 No. ISX-02-4-09 / 7285 [Electronic resource]: Access from the consultant-legal system ConsultantPlus. (in Russian)

15. On conducting an experiment on the development of resort infrastructure in the Republic of Crimea, Altai Territory, Krasnodar Territory and Stavropol Territory: Bill No. 169585-7 [Electronic resource]: Official site of the Legislative Support System. URL: <https://sozd.duma.gov.ru/bill/169585-7> (in Russian)

16. On conducting an experiment on the development of resort infrastructure in the Republic of Crimea, Altai Territory, Krasnodar Territory and Stavropol Territory: Bill No. 214-FZ of July 29, 2017 (latest edition) [Electronic resource]: Access from the consultant-Plus legal system. (in Russian)

17. Ogorodnikov A.Yu. 2019. The results of the sociological survey "Effective Enforcement of the Federal Law of July 29, 2017 No. 214-FZ "On an experiment on the development of resort infrastructure in

the Republic of Crimea, Altai Territory, Krasnodar Territory and Stavropol Territory”. M., Moscow State Law Academy, 15. (in Russian)

18. The list of instructions following the meeting of the State Council Presidium on improving the investment attractiveness of Russian resorts [Electronic resource]: Official website of the President of the Russian Federation, September 19, 2016. URL: <http://kremlin.ru/acts/assignments/orders/52943> (in Russian)

19. Sitnikov M.S. 2020. Resort fee: a way to replenish the budget or restrict freedom. *Issues of Russian Justice*, 5: 578–582. (in Russian)

20. Khurmagov I.A. 2018. To the question of the results of the experiment on the introduction of resort tax on the territory of the Caucasian Mineral Waters. *Scientific News*, 13: 47–51. (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Гордиенко Михаил Сергеевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры финансового менеджмента ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Mikhail S. Gordienko, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Financial Management, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

УДК 336.02

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-545-554

Проблемы межбюджетных отношений в России и пути их решения

М.Е. Косов

Финансовый Университет при Правительстве Российской Федерации, Россия, 125993,
г. Москва, Ленинградский просп., 49,

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова,
Стремянный пер., 36, Москва, 115093

Аннотация

Система межбюджетных отношений и финансовая поддержка регионов в России сформировалась на текущий момент в результате продолжительных реформ, в ходе которых были решены многие противоречия. Однако существует ряд проблемных вопросов, которые требуют изменения механизмов предоставления финансовой поддержки регионам. Объектом исследования являются формы финансовой поддержки регионов. В качестве предмета исследования выступает механизм предоставления финансовой помощи субъектам Российской Федерации. Исследование проводилось с применением диалектического метода познания, который реализован при помощи таких общенаучных приемов, как дедукция, индукция, анализ и синтез, сравнение, сбор и изучение данных, синтез теоретического и практического материала. В ходе исследования также применялись инструменты эконометрического моделирования. Методологическим и практическим аспектам предоставления финансовой помощи субъектам посвящено большое количество зарубежной и отечественной научной литературы, которое стало теоретической базой исследования. В работе использовались нормативные правовые акты Российской Федерации, регламентирующие процесс распределения доходных и расходных полномочий, а также перераспределения средств из федерального бюджета. Результатами исследования стали выводы о том, что действующая система выравнивания не реализовала себя в полной мере, причиной чего может служить недостаточная степень учета региональных особенностей и интересов. Возможным является применение опыта Канады и Германии в части замены некоторых трансфертов доходами от налогов. Такое решение возможно реализовать и в рамках механизма распределения доходов между бюджетами бюджетной системы.

Ключевые слова: бюджетная система, межбюджетные трансферты, субсидии, дотации, субвенций.

Для цитирования: Косов М.Е. 2020. Проблемы межбюджетных отношений в России и пути их решения. Экономика. Информатика. 47 (3): 545–554. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-545-554.

Problems of interbudgetary relations in Russia and its solution

M.E. Kosov

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow,
Leningrad prospect, 49, 125993, Russia

Plekhanov Russian University of Economics
Stremyanny Lane 36, Moscow, 115093, Russia

Abstract

At the moment the system of inter-budgetary relations and financial support for the regions in Russia has been formed as a result of long-term reforms, during which many contradictions have been resolved. However, there are a number of problematic issues that require changes in the mechanisms for providing financial support to the regions. The object of the study is the form of financial support of the regions. The subject of the study is the mechanism of providing financial assistance to the subjects of the Russian Federation. The study was conducted using the dialectical method of cognition, which is implemented using such general scientific

techniques as deduction, induction, analysis and synthesis, comparison, data collection and study, synthesis of theoretical and practical material. The study also used econometric modeling tools. Methodological and practical aspects of financial assistance to the subjects devoted to a large number of foreign and domestic scientific literature, which became the theoretical basis of the study. Normative legal acts of the Russian Federation regulating the process of income distribution and expenditure powers, as well as redistribution of funds from the Federal budget were used in the work. The results of the study were the conclusions that the current system of alignment has not fully realized itself, the reason for which may be the lack of consideration of regional characteristics and interests. It is possible to apply the experience of Canada and Germany in terms of replacing some transfers with tax revenues. This decision can be implemented within the framework of the mechanism of income distribution between the budgets of the budget system.

Keywords: budget system, inter-budget transfers, subsidies, subsidies, subventions.

For citation: Kosov M.E. 2020. Problems of interbudgetary relations in Russia and its solution. Economics. Information technologies. 47 (3): 545–554 (in Russian). DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-3-545-554.

Введение

В течение последних десятилетий бюджетные правоотношения между федеральным центром и субъектами существенно изменились. Система межбюджетных отношений и финансовая поддержка регионов в России сформировалась на текущий момент в результате продолжительных реформ, в ходе которых были решены многие противоречия в сферах распределения налоговых доходов и фискальных полномочий субъектов. Несмотря на это сохраняются проблемные вопросы, требующие изменения механизмов предоставления финансовой поддержки регионам и её адаптации под каждый конкретный регион с учетом географических и социально-экономических особенностей. Таковыми являются: нестабильность поступлений налоговых доходов, сокращение величины межбюджетных трансфертов из федерального бюджета, существенный рост объема социальных гарантий, рост дефицита региональных бюджетов, а также рост долговой нагрузки. Проблема неравенства и разрыва в уровне социально-экономического развития субъектов требуют изменений действующих механизмов финансовой поддержки регионам. Это необходимо для сбалансированного развития страны в целом, как в сфере экономики, так и в сфере социальной политики, здравоохранения, образования и т. д.

Таким образом, актуальность тематики обусловлена значительной дифференциацией между субъектами Российской Федерации, которая имеет стабильный характер.

Объекты и методы исследования

Неоднородность экономического пространства Российской Федерации обусловлена историей, географией и иными причинами. Уровень социально-экономического развития сказывается на бюджетной обеспеченности регионов и приводит к существенной дифференциации [Ерошкина, 2016; Зуйкина, 2015].

Путь федерализма, по мнению Е.М. Андреевой [2015] предполагает, что ответственность за обеспечение страны ложится не только на центр федерации (федеральный центр), но и на субфедеральные юрисдикции и муниципалитеты. Самым эффективным является многоуровневая бюджетная система. В рамках данной системы звенья взаимосвязаны с другими элементами, что обеспечивает выравнивание вертикального и горизонтального дисбаланса территорий. При успешном функционировании системы возможно достижение социальной справедливости и экономического роста считают Н.Г. Иванова и М.В. Цепя [2014]. Межбюджетные отношения являются инструментом для распределения и перераспределения финансовых ресурсов, а также формирования баланса интересов Федерации и субъектов [Асадуллина, Асылгужин, Трухов, 2015; Климанов, Сафина, 2018].

Формирование системы межбюджетных отношений – важная составляющая государственных и муниципальных финансов любого государства. В этой связи объектом

исследования являются формы финансовой поддержки регионов. В качестве предмета исследования выступает механизм финансовой помощи бюджетам субъектов Российской Федерации.

На сегодняшний день выделяется несколько форм межбюджетных грантов, при помощи которых осуществляется финансовая поддержка регионов. Виды трансфертов, выделяемые в зарубежной практике, отражены в Таблице 1. Данная группировка не является строгой и характеризует степень самостоятельности получателя трансферта при определении цели расходования средств. Таким образом, в рамках перечисленных групп могут создаваться различные виды трансфертов с отличительными чертами.

Таблица 1
Table 1

Виды трансфертов Организации Экономического сотрудничества
Types of transfers of the Economic Cooperation Organization

Наименование трансферта	Характеристика
Целевые трансферты (<i>Earmarked grants</i>)	Гранты, выдающиеся на определенных условиях под определенные цели.
Нецелевые трансферты (<i>Non-earmarked grants</i>)	Могут расходоваться аналогично собственным налоговым доходам субъекта (не прикреплены к определенной цели).
Мандатные (императивные) гранты (<i>Mandatory grants</i>)	Законодательно определенные гранты, предоставляемые под расходные обязательства органа, выделяющего грант (аналог субвенции в российской практике). Для данного гранта требуется наличие нормативного правового акта исполнительного органа власти, определяющего необходимые и достаточные условия, для выдачи гранта соответствующего размера.
Дискреционные гранты (<i>Discretionary grants</i>)	Условия, под которые выдается грант, не определяются правилами, но решение по их выделению принимается на специальной, дискреционной основе. Такие гранты носят обычно временный характер и включают в себя, например, гранты на специальные инфраструктурные проекты или экстренную помощь в зоне катастрофы.
Долевая субсидия (<i>Matching grants</i>)	Представляют собой трансферты для софинансирования региональных расходов. Они зависят от нормативных или фактических расходов на услуги, для которых они предназначены.
Недолевая субсидия (<i>Non-matching grants</i>)	Трансферт не связан с уровнем расходов региона на конкретный проект.
Текущие трансферты (<i>Current grants</i>)	Трансферт предполагается для текущих или капитальных расходов.
Капитальные трансферты (<i>Capital grants</i>)	Выделение трансферта для покрытия капитальных расходов.

Источник: Составлено автором на основании OECD Fiscal Decentralisation Database (2016). – Электронный ресурс. URL: <http://www.oecd.org/tax/federalism/oecdiscaldecentralisationdatabase.htm> (дата обращения 02.08.2019).

Классификация межбюджетных трансфертов в России утверждена Бюджетным кодексом и представлена в рисунке 1.

Одним из наиболее популярных инструментов финансового выравнивания и оказания финансовой поддержки являются общие нецелевые трансферты, или, как они называются на территории Российской Федерации, – дотации. Методика распределения дотаций на выравнивание бюджетной обеспеченности утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации от 22.11.2004 № 670.

Субвенции	Дотации	Субсидии
<ul style="list-style-type: none"> • межбюджетные трансферты, предоставляемые бюджетам в целях финансового обеспечения расходных обязательств субъектов Российской Федерации и (или) муниципальных образований, возникающих при выполнении полномочий Российской Федерации, переданных для осуществления органам государственной власти субъектов Российской Федерации и (или) органам местного самоуправления в установленном порядке. 	<ul style="list-style-type: none"> • межбюджетные трансферты, предоставляемые на безвозмездной и безвозвратной основе без установления направлений их использования 	<ul style="list-style-type: none"> • межбюджетные трансферты, предоставляемые бюджетам в целях софинансирования расходных обязательств, возникающих при выполнении полномочий органов государственной власти субъектов Российской Федерации по предметам ведения субъектов Российской Федерации и предметам совместного ведения Российской Федерации и субъектов Российской Федерации, и расходных обязательств по выполнению полномочий органов местного самоуправления по вопросам местного значения.

Рис. 1. Межбюджетные трансферты в России
Fig.1. Inter-budget transfers in Russia

Уровень бюджетной обеспеченности определяется согласно формуле:

$$BO_i = \frac{ИНП_i}{ИБР_i}$$

где: BO_i – уровень расчетной бюджетной обеспеченности субъекта i ;
 $ИНП_i$ – индекс налогового потенциала субъекта i (рассчитывается исходя из налогового потенциала данного субъекта, учитывающего основные налоги, обеспечивающие налоговые доходы субъекта. Налоговый потенциал определяется исходя из прогнозных поступлений и фактических поступлений по каждому из перечисленных налогов в течение трех последних лет).
 $ИБР_i$ – индекс бюджетных расходов субъекта i (рассчитывается исходя из расходов на оплату труда, на жилищно-коммунальные услуги и прочих расходов. Каждый из данных видов расходов корректируется на определенный коэффициент, рассчитанный исходя из особенностей каждого конкретного субъекта. Данные коэффициенты также рассчитываются согласно Методике, утвержденной Постановлением № 670).

Определенной формой финансовой поддержки может выступать также и бюджетный кредит. Однако, в отличие от межбюджетных трансфертов он предоставляется на возвратной и возмездной основе. Цели, условия и порядок предоставления устанавливаются ежегодно законом о федеральном бюджете. Возврат бюджетного кредита в федеральный бюджет осуществляется согласно положениям соглашения. При использовании не по целевому назначению бюджетного кредита сумма задолженности, а также штрафы (пени) удерживаются за счет доходов от межбюджетных трансфертов и от специальных налоговых режимов, которые подлежат уплате в бюджет субъекта [Ходак, 2018; Шевелева, 2015].

Каждая из форм финансовой поддержки регионам имеет свои особенности и отличительные черты. Часть из них является инструментом выравнивания бюджетной обеспеченности. Часть – имеет целевое назначение и служит для достижения определенных показателей в соответствующих сферах.

Результаты и их обсуждение

Выделяется несколько причин сокращения реальных доходов консолидированного бюджета субъектов Российской Федерации. Прежде всего, необходимо отметить сокращения поступлений от налога на прибыль организации за счет введения консолидированных групп налогоплательщиков. Потери региональных бюджетов в связи с введением консолидированных групп налогоплательщиков и изменения налогообложения крупных налогоплательщиков довольно значительны. По результатам 2018 года ФНС России констатировало следующие изменения от введения: рост поступлений налога на прибыль

организаций в общем размере 61,9 млрд рублей наблюдался в 62 % субъектов (53 региона) (в 2017 году – в 76 %, 60 регионов). В то же время наблюдается снижение поступлений налога на прибыль организаций в размере 127,0 млрд рублей (в 2017 году – 65,2 млрд рублей) в 38 % субъектов (31 регион) (в 2017 году – размере в 24 % субъектов (23 региона). Другой причиной падения реальных доходов бюджетов субъектов является снижение объемов межбюджетных трансфертов из федерального бюджета в реальном выражении. В соответствии с федеральным законом о федеральном бюджете на 2018 год данная тенденция сохранится: общий объем межбюджетных трансфертов составит около 2 % против 2,2 % в 2017 г. и 2,3 % в 2018 г.

Совокупный объем межбюджетных трансфертов снижается в номинальных и в реальных измерениях. Расходы федерального бюджета для предоставления межбюджетных трансфертов снижаются. Динамика дотаций для обеспечения сбалансированности нестабильна. Субвенции в то же время возвращаются к цифрам 2017 г.

Снижается также и объем предоставляемых субсидий (как в реальном, так и в номинальном выражении). Это частично компенсируется ростом иных межбюджетных трансфертов, которые во многом имеют характер субсидий [Богачева, Феоктистова, 2015; Баклаева, 2016].

Более 50 % межбюджетных трансфертов предоставляется в рамках программы «Развитие транспортной системы». Данный объем превышает показатель 2017 года на 20,9 %, или на 24 455,6 млн рублей. Особую роль в увеличении объемов иных межбюджетных трансфертов сыграли дополнительные бюджетные ассигнования на развитие транспортной инфраструктуры города Москвы в сумме 41 710,0 млн рублей, что на 40,9 % больше сумм, учтенных на 2017 год. Примечательно, что расчеты, подтверждающие потребность в указанных средствах на 2018 год, отсутствуют.

Снижение объема межбюджетных трансфертов субъектам Российской Федерации частично компенсировано опережающим ростом налоговых и неналоговых доходов (Таблица 2).

Таблица 2

Table 2

Динамика доходов федерального бюджета и консолидированного бюджета в 2014–2018 гг.

Dynamics of Federal budget revenues and consolidated budgets in 2014–2018

Показатель	2014	2015	2016	2017	2018
Доходы в абсолютных показателях, трлн руб.					
Федеральный бюджет	12,9	13	14,4	13,7	13,7
Консолидированный бюджет субъектов	8	8,17	8,9	9,3	9,7
Консолидированный бюджет субъектов (без безвозмездных поступлений)	6,4	6,6	7,2	7,6	8
Темп прироста, %					
Федеральный бюджет	13,1	1,3	1,3	-5,8	0,5
Консолидированный бюджет субъектов	5,5	1,2	9,1	4,5	8,6
Консолидированный бюджет субъектов (без безвозмездных поступлений)	7,3	3,2	8,9	6,2	11,9

Источник: рассчитано автором по данным Федерального Казначейства URL: <http://www.roskazna.ru/ispolnenie-byudzhetrov/konsolidirovannye-byudzhety-subektov/> (дата обращения: 12.08.2019).

Не в полной мере компенсирует увеличение налоговых и неналоговых доходов сокращение межбюджетных трансфертов. Величина собственных доходов консолидированного бюджета субъектов выросла в 2018 г. по сравнению с 2017 г. на 0,13 % ВВП, доходная часть снизилась на 0,03 % ВВП. Реальные доходы консолидированного

бюджета в 2018 г. сохранились на уровне 2017 г., что сопровождается ростом несбалансированности бюджетов, снижением величины межбюджетных трансфертов.

В рамках данного исследования был рассмотрен ряд стран, имеющих опыт в обеспечении финансовой поддержки своих регионов: Канада, Германия, Австралия.

В течение нескольких десятилетий Канада превратилась из сильно централизованной страны в самую децентрализованную федерацию. В ее состав входят 10 провинций и северные территории.

Правительство Канады по данным А.В. Асадуллина, И.М. Асылгужина и А.И. Трухова [2015] оказывает финансовую поддержку провинциям и территориям при помощи четырех трансфертных программ: трансферт по здравоохранению (СНТ), социальный трансферт (ССТ), выравнивающие трансферты, территориальная формула финансирования (ТФФ). Существуют также иные формы финансовой поддержки: Федеральные трастовые фонды, оффшорные соглашения в Новой Шотландии, оффшорные соглашения в Ньюфаунде и Лабрадоре, Квебекские «сокращения». Вторая группа видов финансовой поддержки также обеспечивается путем выделения трансфертов.

Особый интерес представляют иные формы финансовой поддержки, используемые на территории Канады, которые также осуществляются путем выплаты трансфертов. В 1960 году было заключено соглашение между Правительством Канады и Правительством Квебека. [D'Acunto, Hoang, Weber, 2018.] Квебекские «сокращения» являются суммой альтернативных платежей для долгосрочных программ и выплат в целях поддержки молодежи. В части альтернативных способов – Правительство Канады меняет процент распределяемых доходов от налога на доход физических лиц в пользу регионального бюджета. Таким образом, бюджет Квебека пополняется на данную сумму. Примечательно, что иные провинции получают трансферты в прежнем размере. Трансферты по здравоохранению, социальные и выравнивающие трансферты Квебеку рассчитываются таким же образом, как и для других провинций. Однако при их расчете учитываются поступления от специального налогового режима и надбавок, действующие на территории провинции [Chugunov, Pasichnyi, 2018; Chugunov, Pasichnyi, 2018]. С 1961 года на территории Квебека действовала программа поддержки молодежи, которая была в дальнейшем введена на федеральном уровне. Таким образом, в силу реализации данной программы как федеральной было введено сокращение поступлений от налога на доход физических лиц в федеральный бюджет в пользу регионального бюджета на 3 % дополнительно к 13,5 %. Таким образом, необходимо отметить сочетание механизмов налогового регулирования и межбюджетных трансфертов.

Особый интерес представляет опыт Германии, как одной из наиболее централизованных федераций. Система содержит 4 этапа.

1 этап – вертикальное выравнивание. Вся сумма доходов поступает в федеральный бюджет, также бюджеты земель, муниципалитетам направляется грант [Addison, Niño-Zarazúa, Pirttilä, 2018].

2 этап – горизонтальное выравнивание. Налоговые поступления регионов распределяется между Землями.

Основа трансфертного выравнивания на данном этапе – налоги «солидарности», наиболее значимым из которых является НДС. Перераспределение НДС осуществляется по схеме, отраженной на Рисунке 2. Величина распределяемого процента (44 %) периодически пересматривается. Распределение 75 % от суммы поступлений осуществляется на подушевой основе в силу социального характера такого выравнивания. 25 % финансовой помощи распределяется среди бедных земель, чей среднедушевой доход бюджета меньше 92 % от среднегерманского уровня. Необходимо отметить, что в силу отличительных черт данного механизма, он является именно трансфертным, а не элементом системы распределения налоговых доходов между уровнями власти.

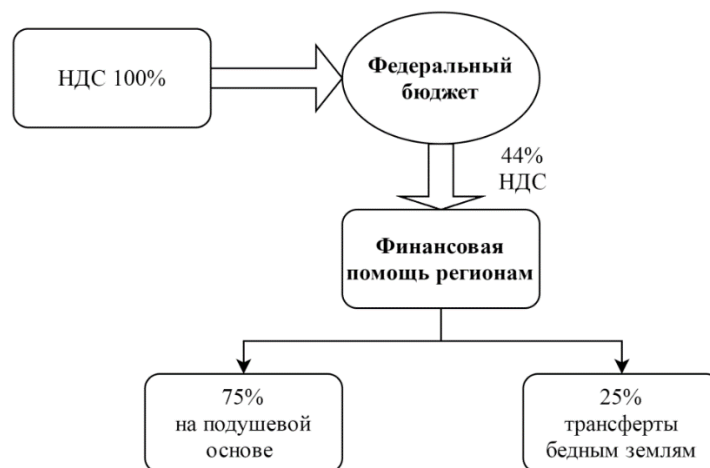


Рис. 2. Схема перераспределения поступлений от НДС в Германии
 Fig. 2. The scheme of redistribution of VAT revenues in Germany

3 этап – выравнивание между богатыми и бедными землями (финансовое выравнивание между землями).

Основанием для финансового выравнивания является уровень финансового потенциала земли (сумма его поступлений и 64 % от поступлений муниципалитетов). Финансовое выравнивание осуществляется в том случае, если финансовый потенциал ниже 99,5 % от среднего показателя финансового потенциала по Германии. В таком случае федерация возмещает 77,5 % от необходимой суммы в виде гранта для достижения среднего показателя. Однако система финансового выравнивания предполагает, что финансовые потребности во всех землях одинаковы. Поэтому при необходимости повышенного финансирования отдельных земель или крупных городов для расчетов условно увеличивается число жителей.

4 этап – бедные земли получают финансовые средства из федерального бюджета (дополнительные федеральные трансферты). Они предоставляются наиболее бедным землям. Они могут быть двух видов: общие и под специальные цели.

Содружество Австралия было образовано в 1901 г. На его территории 6 штатов и 2 территории. Бюджетная система Австралии характеризуется большим фискальным разрывом [Fatás, Summers, 2018].

Кроме того, наблюдаются различия в налоговом потенциале штатов (от 75 % до 114 % от среднеавстралийского уровня). Таким образом, межбюджетные гранты направлены на сокращение как вертикальных, так и горизонтальных разрывов [Motta, Rossi, 2019]. Составляются ежегодные отчеты о таком выравнивании, где подробно отражаются по каждому штату причины, обусловившие выплату того или иного трансферта, уровень финансовой обеспеченности, способ ее расчета и т. д.

Безусловные выравнивающие трансферты составляют более 50 % всей федеральной помощи. На территории Австралии выделяется два типа грантов: гранты, выделяемые в бюджеты штатов, и гранты, выделяемые через бюджеты штатов. Важно отметить такой крупный целевой грант, предоставляемый региональным властям на выравнивание муниципальных бюджетов [Karantounias, 2018; Mehrotra, 2018]. Таким образом данный грант является целевым для региональных властей и безусловным для муниципалитетов. Следует отметить, что безусловные межбюджетные гранты используются на территории данной страны как для горизонтального, так и для вертикального выравнивания и их финансовым источником является НДС. Таким образом, объем трансферта не может стать объектом торга со стороны федеральных и региональных властей. В то же время региональные власти не имеют права менять ставку по данному налогу без согласования с властями штатов. Таким образом, данная система рассматривается как централизованный сбор НДС в пользу штатов с последующим перечислением в региональные бюджеты.

Заключение

В рамках данной работы был рассмотрен опыт Канады, Германии и Австралии в части финансовой поддержки регионов. Правительство Канады использует четыре трансфертные программы и иные формы финансовой поддержки. Особый интерес представляют блочные трансферты на здравоохранение и социальный трансферт. Данные трансферты составляли единый социальный трансферт, однако в 2003 году он был разделен на трансферт в части здравоохранения и трансферт в части социальной защиты, в частности в целях наибольшей прозрачности. Кроме того, были рассмотрены иные формы финансовой поддержки, которые стимулируют развитие и экономический рост в отдельных регионах.

В результате проведенного исследования однозначно можно констатировать факт необходимости совершенствования действующего механизма предоставления финансовой поддержки регионам. Действующая система выравнивания не реализовала себя в полной мере, причиной чего может служить недостаточная степень учета региональных особенностей и интересов. На сегодняшний день остро стоит вопрос обеспечения стабильных поступлений в региональные бюджеты. Увеличение обязательств по содержанию сети социальных учреждений и одиннадцатикратный рост делегированных с федерального центра в регионы полномочий, обусловили рост дефицита бюджетов субъектов. Одновременное сокращение межбюджетных трансфертов ведет к наращиванию объема государственного долга субъектов Российской Федерации.

Возможно применение опыта Канады и Германии также в части замены части трансфертов доходами от налогов (НДФЛ в Квебеке, Канада; НДС в Германии и Австралии) или дальнейшее перечисление строго по одному виду налогов, для устранения возможности торгов об объеме межбюджетных трансфертов между федеральным центром и региональными властями (НДС в Австралии). В частности, такой переход должен носить добровольный характер (Квебек в Канаде).

Такое решение возможно также реализовать в рамках механизма распределения доходов между бюджетами бюджетной системы. В целях увеличения доходной базы субъектов Российской Федерации предлагается рассмотреть возможность увеличения доли акцизов на алкогольную продукцию, зачисляемую в бюджеты регионов. Кроме того, исходя из опыта зарубежных стран, рекомендуется рассмотреть возможность введения дополнительных нормативов распределения по иным видам налогов.

Список литературы

1. Андреева Е.М. 2015. Правовые вопросы финансирования совместного ведения Российской Федерации и субъектов Российской Федерации: исторический аспект и современное состояние. *Финансовое право*, 1: 3–6
2. Асадуллина А.В., Асылгужин И.М., Трухов А.И. 2015. Конкурентный федерализм и его роль в экономическом развитии страны. *Финансы и кредит*, 13: 44–53.
3. Баклаева Н.М. 2016. Проблемы согласования экономических интересов субъектов межбюджетных отношений в условиях развития бюджетного федерализма в России. *Финансы и кредит*, 10: 59–67.
4. Богачева О.В., Феоктистова О.А. 2015. «Горизонтальные» межбюджетные трансферты: опыт зарубежных стран и возможность применения в России. *Научное обозрение*, 24: 55–68.
5. Ерошкина Л.А. 2016. Особенности использования инструментов финансовой помощи в межбюджетных отношениях. *Современные проблемы социально-гуманитарных наук*, 1: 150–152.
6. Зуйкина А.С. 2015. Межбюджетные трансферты: рамки взаимодействия региона и муниципалитетов. *Современный город: власть, управление, экономика*, 3: 263–274.
7. Иванова Н.Г., Цепя М.В. 2014. Теория бюджетного федерализма и российская практика. *Вестник Финансового Университета*, 4: 54–63.
8. Климанов В., Сафина А. 2018. Эволюция системы предоставления межбюджетных трансфертов в России: новые перспективы. *Проблемы теории и практики управления*, 11: 9–18.
9. Ходак С.Е. 2018. Действующая модель межбюджетных отношений горизонтального типа. *Транспортное дело России*, 5: 71–74.

- 10.Чернышева М.А. 2018. Межбюджетные отношения в Российской Федерации: характеристика и современное состояние. Образование, наука и бизнес-индикаторы развития цифровой экономики, 1: 400–404.
- 11.Шаш Н.Н., Бородин А.И., Татуев А.А. 2014. Векторы бюджетной децентрализации и эффективность межбюджетного регулирования. Финансы и кредит, 3: 2–11.
- 12.Шевелева Н.А. 2015. Бюджетное выравнивание в России как способ гармонизации межбюджетных отношений. Сравнительное конституционное обозрение, 2: 32–45.
- 13.Addison T., Niño-Zarazúa M., Pirttilä J. 2018. Fiscal policy, state building and economic development. *Journal of International Development*, 2: 161–172.
- 14.Chugunov I.Y., Pasichnyi M.D. 2018. Fiscal policy for economic development. *Scientific Bulletin of Polissia*, 13: 54–61.
- 15.D'Acunto F., Hoang D., Weber M. 2018. Unconventional fiscal policy. *AEA Papers and Proceedings*, 108: 519–23.
- 16.Dmitriev N.D., Basarovskiy O.A. 2019. Ways to improve interbudgetary relations in the Russian Federation. *Modern Science*, 4: 71–73.
- 17.Fatás A., Summers L.H. 2018. The permanent effects of fiscal consolidations. *Journal of International Economics*, 112: 238–250.
- 18.Karantounias A.G. 2018. Optimal fiscal policy with recursive preferences. *The Review of Economic Studies*, 4: 2283–2317.
- 19.Mehrotra N.R. 2018. Fiscal Policy Stabilization: Purchases or Transfers? *International Journal of Central Banking*, 2: 1–50.
- 20.Motta G., Rossi R. 2019. Optimal Fiscal Policy with Consumption Taxation. *Journal of Money, Credit and Banking*, 1: 139–161.

References

1. Andreeva E.M. 2015. Legal issues of financing of joint jurisdiction of the Russian Federation and subjects of the Russian Federation: historical aspect and current state. *Financial law*, 1: 3–6. (In Russian)
2. Asadullina A.V., Asylguzhin I.M., Trunov A.I. 2015. Competitive federalism and its role in the economic development of the country. *Finance and credit*, 13: 44–53. (In Russian)
3. Baklaeva N.M. 2016. Problems of coordination of economic interests of subjects of the interbudget relations in the conditions of development of the budgetary federalism in Russia. *Finance and credit*, 10: 59–67. (In Russian)
4. Bogacheva O.V., Feoktistova O.A. 2015. "Horizontal" inter-budget transfers: the experience of foreign countries and the possibility of application in Russia. *Scientific review*, 24: 55–68. (In Russian)
5. Eroshkina L.A. 2016. Features of the use of financial assistance instruments in inter-budgetary relations. *Contemporary problems of social Sciences and Humanities*, 1: 150–152. (In Russian)
6. Zaikina A.S. 2013. Inter-budget transfers: framework of interaction between the region and municipalities. *Modern city: power, management, economy*, 3: 263–274. (In Russian)
7. Ivanova N.G., Tsepa M.V. 2014. The theory of fiscal federalism and the Russian practice. *Bulletin Of The Financial University*, 4: 54–63. (In Russian)
8. Klimanov V., Safina A. 2018. Evolution of the system of inter-budget transfers in Russia: new prospects. *Problems of management theory and practice*, 11: 9–18. (In Russian)
9. Hodak S.E. 2018. The current model of inter-budgetary relations of a horizontal type. *Transport business of Russia*, 5: 71–74. (In Russian)
- 10.Chernysheva M.A., 2018. Inter-budgetary relations in the Russian Federation: characteristics and current state. *Education, science and business indicators of the digital economy*, 1: 400–404. (In Russian)
- 11.Shash N.N., Borodin A.I., Tatuев A.A. 2014. Vectors of budget decentralization and efficiency of inter-budget regulation. *Finance and credit*, 3: 2–11. (In Russian)
- 12.Sheveleva N.A. 2015. Fiscal alignment in Russia as a way to harmonize inter-budgetary relations. *Comparative constitutional review*, 2: 32–45. (In Russian)
- 13.Addison T., Niño-Zarazúa M., Pirttilä J. 2018. Fiscal policy, state building and economic development. *Journal of International Development*, 2: 161–172.
- 14.Chugunov I.Y., Pasichnyi M.D. 2018. Fiscal policy for economic development. *Scientific Bulletin of Polissia*, 13: 54–61.
- 15.D'Acunto F., Hoang D., Weber M. 2018. Unconventional fiscal policy. *AEA Papers and Proceedings*, 108: 519–23.

16. Dmitriev N.D., Basarovskiy O.A. 2019. Ways to improve interbudgetary relations in the Russian Federation. *Modern Science*, 4: 71–73.
17. Fatás A., Summers L.H. 2018. The permanent effects of fiscal consolidations. *Journal of International Economics*, 112: 238–250.
18. Karantounias A.G. 2018. Optimal fiscal policy with recursive preferences. *The Review of Economic Studies*, 4: 2283–2317.
19. Mehrotra N.R. 2018. Fiscal Policy Stabilization: Purchases or Transfers? *International Journal of Central Banking*, 2: 1–50.
20. Motta G., Rossi R. 2019. Optimal Fiscal Policy with Consumption Taxation. *Journal of Money, Credit and Banking*, 1: 139–161.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Косов Михаил Евгеньевич, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры общественных финансов Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Mikhail E. Kosov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Public Finance, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 004.94,338.24

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-555-572

Концептуальная модель жизнеспособности критических инфраструктур в контексте современной теории безопасности сложных систем

А.В. Маслобоев, В.В. Быстров

Институт информатики и математического моделирования Федерального исследовательского центра
«Кольский научный центр Российской академии наук»,
Россия, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана, 14
E-mail: masloboev@iimm.ru

Аннотация

В работе предлагается развитие современной теории безопасности сложных систем и расширение области ее применения на класс критических инфраструктур для исследования системных связей и закономерностей, определяющих жизнеспособность критических инфраструктур в условиях неопределенности и риска. Проведен анализ проблематики и состояния исследований в области обеспечения жизнеспособности критических инфраструктур в России и за рубежом. Разработана концептуальная модель жизнеспособности критической инфраструктуры на базе функционально-целевого подхода и теории управления. В рамках модели предложена формализация понятий «критическая инфраструктура» и «жизнеспособность», конкретизирующая содержание этой предметной области исследования с помощью новых формальных конструкций, что позволило расширить формальный аппарат теории безопасности систем и сделать его более конструктивным. Это обеспечило основу для формальной постановки общей задачи управления жизнеспособностью критических инфраструктур и создания концептуальной модели системы управления жизнеспособностью критических инфраструктур.

Ключевые слова: критическая инфраструктура, жизнеспособность, система управления, формализация, концептуальная модель, социально-экономическая безопасность.

Благодарности: результаты получены в рамках выполнения государственного задания ИИММ КНЦ РАН (№ 0226-2019-0035). Научное обоснование разработок для задач исследования устойчивости критической инфраструктуры Северного морского пути частично поддержано РФФИ (проект 18-07-00167-а).

Для цитирования: А.В. Маслобоев, В.В. Быстров. 2020. Концептуальная модель жизнеспособности критических инфраструктур в контексте современной теории безопасности сложных систем. Экономика. Информатика. 47 (3): 555–572. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-555-572.

Conceptual model of critical infrastructures resilience in the context of modern theory of complex system security

A.V. Masloboev, V.V. Bystrov

Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Federal Research Centre
«Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences»,
14 Fersman St, Apatity, Murmansk region, 184209, Russia
E-mail: masloboev@iimm.ru

Abstract

The research work proposes modern theory development of complex system security and its application range extension to the class of critical infrastructures for system interrelations and regularities analysis, which define

critical infrastructure resilience under uncertainty and risk impacts. The survey of problems and state-of-the-art issues in the field of critical infrastructure resilience support in Russia and abroad is carried out. Critical infrastructure resilience conceptual model based on functional-target approach and control theory is developed. Within the bounds of model the concept formalization of «critical infrastructure» and «resilience», which specify the content of this research field and objective by new formal constructions, is proposed. That allows formal apparatus extension of system security theory and makes it more constructive. Proposed formal representation provides the basis for general problem statement formalization of the critical infrastructure resilience management and conceptual model design of the control system of critical infrastructure resilience.

Keywords: critical infrastructure, resilience, control system, formalization, conceptual model, socio-economic security.

Acknowledgements: the study was carried out within the framework of the State Research Program of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of RAS (project No. 0226-2019-0035). Scientific justification of developments application for critical infrastructure resilience analysis of the Northern Sea Route was partially sponsored by the Russian Foundation for Basic Research under grant No. 18-07- 00167.

For citation: Masloboev A.V., Bystrov V.V. 2020. Conceptual model of critical infrastructures resilience in the context of modern theory of complex system security. *Economics. Information technologies*. 47 (3): 555–572 (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-555-572.

Введение

Обеспечение государственной и общественной безопасности на основе развития цифровой экономики являются приоритетными целями Стратегии национальной безопасности Российской Федерации [О Стратегии, 2015] и Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года [О Стратегии, 2017]. Важной задачей, которую необходимо решить для достижения этих целей, в указанных нормативных документах отмечается повышение уровня безопасности и защищенности критически важных и потенциально опасных объектов и инфраструктур с использованием современных информационно-телекоммуникационных технологий и средств связи.

В условиях цифровизации государственного управления для решения этой задачи требуется создание и применение интеллектуальных информационно-аналитических систем и средств поддержки принятия управленческих решений в области обеспечения безопасности критических инфраструктур [Цыгичко и др., 2018; Маслобоев, Путилов, 2016].

Согласно исследованию [Цыгичко и др., 2018], под критической инфраструктурой (КИ) понимается совокупность объектов, систем и сетей, сбой в работе которых негативно отражается на различных аспектах социально-экономического развития страны, а также может повлиять на состояние здоровья и безопасности жизни населения. Исходя из этого определения, на передний план выводится задача поддержания жизнеспособности (устойчивости) КИ и их элементов в условиях влияния многообразия внутренних и внешних факторов.

Анализ современного состояния проблем управления жизнеспособностью КИ показывает, что недостаточно разработаны методологические подходы к формализации и решению задач оценки устойчивости КИ. При этом практическое отсутствие формального аппарата для интеграции известных решений в области информационной технологий управления жизнеспособностью КИ затрудняет создание и использование эффективных методов и средств поддержки принятия решений в этой сфере, особенно в условиях цифровой экономики. Наблюдается противоречие между потребностями в повышении уровня устойчивости и защищенности КИ и сложившимися формальными процедурами, не обеспечивающими на практике достаточную эффективность управления безопасностью критически важных объектов социально-экономических систем. Это обуславливает необходимость развития существующих и создания новых моделей и методов управления жизнеспособностью КИ в контексте современной теории безопасности сложных систем.

Целью настоящей работы является системный анализ состояния исследований по проблемам обеспечения жизнеспособности КИ в России и за рубежом, а также разработка концептуальной модели жизнеспособности КИ на принципах функционально-целевого подхода [Маслобоев, Путилов, 2016] и теории управления. Исследование ориентировано на последующее изучение тенденций и взаимосвязей, определяющих устойчивость КИ динамично изменяющихся социально-экономических систем Арктической зоны России.

1. Жизнеспособность критических инфраструктур

1.1. Общие положения и определения

На сегодняшний день одним из перспективных направлений изучения сложных динамических социально-экономических и природно-технических систем является исследование КИ. При этом сам термин «критическая инфраструктура» является собирательным и охватывает различные сферы человеческой деятельности, в рамках которых возникают вопросы сохранения жизненно важных функций общества и личности. Одно из наиболее распространенных определений КИ содержится в директиве European Council [European Council, 2008] и может быть интерпретировано как «объект, система или ее часть, которая имеет важное значение для поддержания жизненно важных функций общества, здоровья, безопасности, экономического или социального благополучия людей, нарушение или разрушение которых может оказать значительное влияние на них в результате невыполнения этих функций». Из этого определения следует, что к объектам КИ могут быть отнесены любые системы, которые оказывают воздействие на различные социальные группы, общества и общественность. При этом стоит заметить, что КИ можно условно разделить на два типа: «жесткие» КИ (физические объекты, системы и сети) и «мягкие» КИ (социально-экономические объекты и институты). Наглядными примерами КИ являются транспортный, топливно-энергетический, оборонно-промышленный комплексы и другие.

1.2. Состояние исследований за рубежом

В последнее десятилетие за рубежом активно развивается комплексное научное направление, получившее название «Critical Infrastructure Resilience» (жизнеспособность КИ) и затрагивающее вопросы оценки устойчивости КИ различной природы и масштаба, а также проблемы управления безопасностью функционирования КИ. В большинстве зарубежных работ по данной тематике под жизнеспособностью КИ (системы) понимают способность системы, подверженной влиянию множественных угроз и опасностей, своевременно и эффективно противостоять, поглощать, приспосабливаться, меняться и восстанавливаться после воздействия негативных факторов путем сохранения, адаптации и восстановления системообразующих структурно-функциональных элементов [UNISDR/UNDRR]. При этом в системе могут наблюдаться синергетические эффекты и появление новых эмерджентных свойств.

Концепция жизнеспособности систем нашла применение в различных предметных областях. Так, в работе [Labaka, et. al., 2015] рассматриваются вопросы разработки типового решения (фреймворка) к управлению объектами атомной энергетики на основе концепции жизнеспособности систем. В исследовании [Holling, 1973] вводится понятие жизнеспособности и устойчивости экологических систем и описываются условия их применимости на примере динамики популяции абстрактного биологического вида. В работе [Flynn, 2008] с точки зрения жизнеспособности гражданского общества дается экспертная оценка историческим событиям в США, связанным с проявлением террористических угроз и последствиями природных стихийных бедствий. В работе [Cassotta, et. al., 2019] поднимаются вопросы международного и регионального правового регулирования жизнеспособности КИ на уровне кибербезопасности энергетического сектора экономики. Это лишь некоторые точечные примеры зарубежных исследований, проводимых в рамках концепции жизнеспособности систем, что показывает большой разброс в их тематике и задачах, на решение которых они направлены.

Такое же разнообразие наблюдается и в методологической базе исследования проблем жизнеспособности КИ. Методология исследования жизнеспособности КИ имеет пересечения

по используемым методам с другими научными дисциплинами: управлением рисками (risk management), кризисным управлением (crisis management); теорией надежности (reliability theory); управлением безопасностью (security management); безопасностью систем (system safety) и другими. Эти направления исследований оказали существенное влияние на становление и развитие теории жизнеспособности систем. Так, место теории жизнеспособности систем среди указанных научных концепций можно позиционировать как результат симбиоза соответствующих областей знаний (рис. 1).

В общем случае выбор того или иного метода исследования жизнеспособности КИ зависит от измерения устойчивости системы (resilience domain), на котором акцентирует свое внимание каждый конкретный исследователь. Так, в литературных источниках можно встретить такие точки зрения, как:

- общественная жизнеспособность (community resilience, societal resilience, human resilience) [Aldrich, Meyer, 2015; Bearse, 2014; Petersen, et. al., 2016];
- экономическая жизнеспособность (economic resilience) [Ahert, 2011];
- экологическая жизнеспособность (ecological resilience) [Wang, Blackmore, 2009];
- технологическая жизнеспособность (technological resilience, infrastructure resilience) [Youn, et. al., 2011; Righi, et. al., 2015];
- организационная жизнеспособность (organizational resilience) [Lee, et. al., 2013];
- информационная жизнеспособность (cyber resilience, information system resilience) [Björck, et. al., 2015].

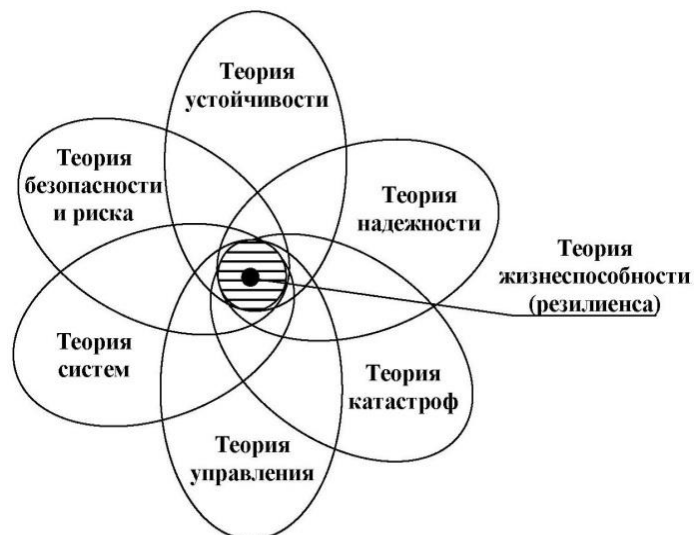


Рис. 1. Место теории жизнеспособности систем среди известных научных концепций
Fig. 1. Resilience theory position among the state-of-the-art research conceptions

В рамках каждого из приведенных измерений жизнеспособности КИ изучаются отдельные системы, процессы и явления, наиболее значимые для решения конкретной задачи исследования. При этом в большинстве случаев опускают из рассмотрения связи изучаемого вида жизнеспособности системы с другими компонентами КИ.

Наиболее стандартизированным видом жизнеспособности систем (КИ) является организационная, что проявляется в наличии соответствующей нормативной базы. Так, известным международным стандартом в области организационной жизнеспособности является американский национальный стандарт ANSI/ASIS.SPC.1:2009 [ANSI/ASIS, 2009]. Однако, несмотря на высокую степень унификации (стандартизации), основная часть исследований и стандартов рассматривают жизнеспособность организации в узком смысле, то есть как устойчивость к различным угрозам конкретного субъекта хозяйственной деятельности. Этот факт накладывает ограничения на применимость подобного рода стандартов в тех случаях, когда необходимо оценить или выстроить систему управления организационной жизнеспособностью сети взаимодействующих организаций (компаний), каждая из которых преследует свои собственные цели и интересы.

В последнее время особое внимание в зарубежных исследованиях уделяется развитию подходов и инструментов к анализу и оценке разных видов жизнеспособности КИ. В основном решаются задачи по разработке систем индикаторов, отражающих состояние наиболее существенных факторов, оказывающих прямое или косвенное воздействие на жизнеспособность изучаемой системы. Эти индикаторные системы, как правило, имеют иерархическую структуру, а сами значения индикаторов получаются в результате сведения качественно оцененных параметров к их количественным оценкам. При этом используются методы экспертной оценки различных показателей компонентов КИ. В качестве примеров такого рода исследований можно привести проекты: Critical Infrastructure Resilience Index [Pursiainen, et. al., 2017], Benchmark Resilience Tool [BRT, 2019], Guidelines for Critical Infrastructure Resilience Evaluation [Bertocchi, et. al., 2016].

1.3. Состояние исследований в России

Анализ отечественной научной литературы показал, что системные исследования проблем жизнеспособности КИ в нашей стране ранее не проводились, а установление прямых аналогов концепции «жизнеспособности систем» представляется достаточно проблематичным в силу междисциплинарности и многоаспектности данного направления исследований. Вместе с тем отечественные работы с разной степенью детализации все же затрагивают отдельные измерения жизнеспособности систем в таких смежных научных дисциплинах как, например, теория надежности, ситуационное управление, риск-анализ, комплексная безопасность, управление в чрезвычайных (кризисных) ситуациях и других. Приведем примеры работ, в которых изложены различные методологические аспекты обеспечения организационной устойчивости и безопасности КИ.

Цикл исследований, представленный в монографии [Цыгичко и др., 2018], охватывает широкий спектр вопросов теории и практики управления рисками нарушения безопасности КИ и их критически важных объектов (на примере систем обеспечения безопасности транспортной инфраструктуры) в условиях неопределенности и неполноты исходной информации.

В работе [Шульц, 2015] развивается системный подход к решению проблем обеспечения безопасности критически важных объектов социально-экономических систем и защиты их от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Даются рекомендации по учету влияния человеческого фактора при расчете и анализе рисков КИ на примере системы обеспечения региональной безопасности и социальной стабильности.

Анализу основных угроз развития экономической КИ страны посвящена работа [Добровольский, 2015]. В ней приведены характеристики территорий федеральных округов и оценка их влияния на общие параметры процессов возникновения различных видов чрезвычайных ситуаций. Обосновывается необходимость совершенствования объектовых и региональных систем обеспечения комплексной безопасности КИ с учетом территориальных особенностей.

Исследование [Соложенцев, 2015] направлено на разработку технологии логико-вероятностного управления рисками развития социально-экономических систем и КИ для информационно-аналитической поддержки принятия решений. Технология реализует методику количественного анализа, оперативного и стратегического управления рисками нарушения безопасности критически важных социально-экономических объектов и КИ и идеологически восходит к работам И.А. Рябинина – основателя научного направления логико-вероятностного моделирования и анализа надёжности, безопасности и риска структурно-сложных систем.

В современных исследованиях методологическую схему принятия решений в отношении риска подразделяют на два крупных блока: оценку и/или анализ риска и управление риском. Анализ риска включает в себя идентификацию опасностей и количественную оценку риска. Управление риском подразумевает разработку альтернатив, оценку вариантов, отбор методов воздействия на объект управления и реализацию выбранных

воздействий. На сегодняшний день одной из перспективных тенденций является переход от концепции реактивного (Safety-I) к концепции проактивного (Safety-II) управления риском [Hollnagel, 2014]. Первый подход подразумевает реагирующую стратегию, фокусировку внимания на неполадках, стремление минимизировать возможный ущерб. Второй подход реализует упреждающую стратегию, концентрацию внимания на нормальном функционировании, стремление максимизировать число «успехов» и решить поставленные задачи. Отечественные работы находятся в русле концепции Safety-II. Концепция проактивного управления риском Safety-II хорошо соотносится с основными принципами концепции жизнеспособности систем, что проявляется в направленности обоих подходов на принятие упреждающих решений с целью сохранения жизненно важных функций системы даже при появлении кризисных ситуаций.

В свете повышения интереса российского и международного научного сообщества к исследованию проблем развития Арктики – стратегическому макрорегиону, во многом определяющему государственную политику мировых держав в борьбе за природные ресурсы и контроль над транспортно-логистическими связями в этом районе, наметились совместные междисциплинарные проекты, в том числе международного уровня, в части разработки теоретических и научно-практических основ обеспечения различных аспектов жизнеспособности систем и КИ Арктики, начиная от вопросов биологической адаптации человека к суровым арктическим условиям и заканчивая разработкой информационно-коммуникационных технологий для обеспечения деятельности человека в Арктике. Так, примером такого проекта может служить программа исследований Российского Фонда Фундаментальных исследований и Бельмонтского Форума (Collaborative Research Action) под общим названием «Resilience in rapidly changing Arctic systems» – жизнеспособность (устойчивость) быстро изменяющихся арктических систем.

Исследователи применяют различные подходы к изучению проблем освоения и развития арктических территорий, в том числе и концепцию жизнеспособности систем. Например, в отчете Стокгольмского Института окружающей среды [SEI, 2013] делается попытка оценить перспективы развития отдельных арктических стран и их жизнеспособность, уделяя основное внимание социально-экологическим аспектам жизнеспособности. В сегменте российских исследований Арктики акцент смещается в сторону рассмотрения экономических вопросов жизнеспособности с позиций концепции устойчивого развития и современной теории безопасности сложных систем. Это отчетливо проиллюстрировано, например, в работах по разработке индикаторов устойчивости КИ Арктики [Гутман, Басова, 2017] и по обеспечению информационной безопасности КИ Российской Федерации [Михалевич, Рыжов, 2018].

Подводя итог проведенному анализу современного состояния исследований проблем жизнеспособности КИ, можно сделать вывод, что отличительная особенность отечественных исследований от зарубежных заключается в точке зрения на изучаемые процессы и системы. Так, для зарубежных работ характерен взгляд со стороны личности и гражданского общества на проблемы безопасности КИ, в то время как российские ученые зачастую придерживаются государственных и национальных интересов в этих вопросах.

2. Моделирование и управление жизнеспособностью КИ

2.1. Концептуальная модель КИ

Для единого содержательного и формализованного представления КИ и связанных с ней объектов и процессов необходима разработка формальной концептуальной модели функционирования КИ. Формальная модель КИ является основой для построения методов и средств автоматизации систем управления жизнеспособностью и безопасностью КИ. Поскольку ключевой особенностью КИ региональных социально-экономических систем является большое число и разнообразие критически важных объектов, расположенных на всей территории региона, то концептуальная модель КИ имеет иерархическую структуру, включающую параметры описания процессов функционирования КИ. Выбор параметров

осуществляется сначала для всей КИ в целом, а затем для конкретных видов безопасности, характерных для данной КИ, и критически важных объектов, входящих в состав этой КИ.

Концептуальная модель КИ в терминах теоретико-множественных отношений формализуется следующей дискретной математической схемой, по сути, описывающей временную последовательность смены состояний КИ:

$$CM_{КИ} = \{O, S, D, I, E, A, C, U, R, ATR\},$$

где O – множество объектов КИ; S – множество структурных состояний КИ (система связей КИ); D – множество пространственных состояний КИ (характеристики локализации критически важных объектов и элементов социально-экономической среды); I – множество внутренних состояний критически важных объектов и элементов социально-экономической среды (показатели функционирования объектов КИ); E – множество состояний внешней среды, с элементами которой взаимодействуют объекты КИ; A – множество внешних воздействий (негативных факторов), влияющих на объекты КИ; U – множество управляющих воздействий, определяющих изменение состояния КИ и целенаправленное поведение объектов КИ; C – множество циклических состояний объектов КИ ($C = \{c_k\}$, где c_k – фаза цикла k -го объекта КИ), определяющих временную структуру функционирования КИ с учетом выбранного шага дискретизации; R – множество отношений между объектами модели; ATR – множество атрибутов объектов модели. Объекты модели S, D, I, E, A, U образуют фазовое пространство состояний КИ. Точка в этом пространстве определяет состояние КИ.

Динамика КИ во многом определяется поведением критически важных объектов и элементов социально-экономической среды, их взаимодействием и взаимным влиянием, в результате чего могут изменяться показатели функционирования КИ, включая внутренние состояния объектов КИ, структуру взаимосвязей, параметры локализации объектов КИ, а также характер внешних воздействий и параметры внешней среды.

Для моделирования динамики состояния КИ $CM(j)$ на каждом j шаге необходимо установить последовательность изменения компонентов S, D, I, E, U . При этом следует учитывать, что эти компоненты являются взаимозависимыми функциями. В общем виде оператор F , моделирующий динамику состояния КИ $CM(j)$ на $(j+1)$ -шаге, синтезируется посредством последовательного применения операторов $\bar{S}, \bar{D}, \bar{I}, \bar{E}, \bar{A}, \bar{U}$ и представляется следующей системой формальных конструкций:

$$F : \{CM_{КИ}(j)\} \rightarrow CM_{КИ}(j+1),$$

$$\bar{I} : \{I(j), S(j), D(j), E(j), A(j), U(j)\} \rightarrow I(j+1),$$

$$\bar{D} : \{I(j+1), S(j), D(j), E(j), A(j), U(j)\} \rightarrow D(j+1),$$

$$\bar{E} : \{I(j+1), S(j), D(j+1), E(j), A(j), U(j)\} \rightarrow E(j+1),$$

$$\bar{S} : \{I(j+1), S(j), D(j+1), E(j+1), A(j), U(j)\} \rightarrow S(j+1),$$

$$\bar{A} : \{I(j+1), S(j+1), D(j+1), E(j+1), A(j), U(j)\} \rightarrow A(n+1),$$

$$\bar{U} : \{I(j+1), S(j+1), D(j+1), E(j+1), A(j+1), U(j)\} \rightarrow U(j+1).$$

Для оценки состояния КИ на $(j+1)$ -шаге учитываются предыдущее состояние КИ, сформировавшееся на j шаге $CM(j)$, и множество управляющих воздействий $U(j)$. При этом объекты КИ взаимодействуют в соответствии со своими целевыми функциями, что приводит к изменениям их внутренних состояний и формированию нового внутреннего состояния КИ $I(j+1)$. Это состояние совместно с компонентами $S(j), D(j), E(j), A(j), U(j)$ определяет новое пространственное состояние КИ $D(j+1)$. Изменение параметров локализации объектов КИ или элементов социально-экономической среды приводит к изменению состояния среды их функционирования $E(j+1)$. В результате новое состояние структуры связей КИ $S(j+1)$ будет определяться внутренним состоянием объектов КИ, их взаимной локализацией, ограничениями на функционирование и внешними условиями. В процессе функционирования

КИ на каждом j шаге объекты КИ подвержены внешним воздействиям $A(j+1)$. Относительно приведенной схемы анализа состояния объектов КИ и КИ в целом на $(j+1)$ шаге проводится поиск множества управляющих воздействий на компоненты КИ $U(j+1)$, определяющих состояние развития КИ на следующем $(j+2)$ шаге.

Для объектов КИ характерно циклическое функционирование. Это подразумевает поэтапное движение в цикле состояний до его завершения с последующим переходом в новую точку отсчета в пространстве состояний. Объекты КИ могут находиться в определенной фазе цикла, которая определяется характеристиками процессов, протекающих в этом цикле, а также состояниями объектов КИ и множеством управляющих воздействий. Поэтому от фазы цикла также зависит общее состояние КИ. Для формализации процесса построения цикла состояний объектов КИ вводится оператор \overline{C} , который имеет вид:

$$\overline{C} = \{I(j+1), S(j+1), D(j+1), E(j+1), A(j+1), U(j), C(j)\} \rightarrow C(j+1).$$

Учет цикличности в концептуальной модели КИ позволяет исследовать временные закономерности функционирования объектов КИ в зависимости от состояния КИ и множества управляющих воздействий.

Совокупность приведенных формальных конструкций представляет собой концептуальную модель функционирования КИ, которая позволяет исследовать процессы, происходящие в КИ, и обеспечивает возможность формальной постановки задачи управления жизнеспособностью и безопасностью КИ.

2.2. Формализация жизнеспособности КИ

В качестве теоретической основы для формализации термина «жизнеспособность» КИ (в зарубежной терминологии – «резилиенс») предлагается использовать формальные конструкции, предложенные ранее авторами в работе [Маслобоев, Путилов, 2016] и представленные в матричной форме. Столбцы матрицы жизнеспособности КИ соответствуют числу учитываемых в интегральной оценке рисков нарушения безопасности КИ компонентов жизнеспособности КИ (организационная, технологическая, экологическая, социетальная и т. д.), а строки – числу оцениваемых показателей по каждому компоненту с максимальным набором параметров. Отдельно взятый элемент матрицы представляет собой вектор-функцию параметров для каждого компонента жизнеспособности КИ, либо скалярную величину. На этапе моделирования матрица жизнеспособности КИ обеспечивает возможность построения и исследования сценариев достижения требуемого для заданных условий или приемлемого уровня жизнеспособности КИ.

Совокупность объектов КИ образует сложную многомерную систему, которая имеет область устойчивых состояний $ST = \{st_1, st_2, \dots, st_n\}$ и матрицу переходов из одного устойчивого состояния в другое $CIR_{n \times m}$. Каждое устойчивое состояние КИ характеризуется значениями некоторого набора параметров $PS = \{ps_1, ps_2, \dots, ps_n\}$, где $\forall st_i \in ST, ps_i = \{ps_{i1}, ps_{i2}, \dots, ps_{ik}\}$ – значения параметров i -го устойчивого состояния. Причем значения каждого параметра должны лежать в определенном диапазоне, который может зависеть от значений остальных параметров, а также от времени (t):

$$\forall PS_{ij} \in [f_{\min}(ps_{ij}, PS(t)), f_{\max}(ps_{ij}, PS(t))].$$

$\forall cir_{ij} \in CIR, \exists C_{ij} = \{ps_1^{ij}, ps_2^{ij}, \dots, ps_r^{ij}\}$ – цена перехода из состояния s_i в состояние s_j , причем $\{ps_1^{ij}, ps_2^{ij}, \dots, ps_r^{ij}\} \subseteq PS$. Тогда любой переход будет сопровождаться затратами или высвобождением (накоплением) ресурсов из набора C_{ij} . Запас ресурсов КИ (RS) зависит от ее состояния и от времени $RS = f(S, t)$. Следовательно, элементы матрицы CIR (кроме элементов главной диагонали) будут также зависеть от запаса ресурсов и от времени.

Когда КИ переходит из одного устойчивого состояния в другое, происходит изменение значений данных параметров. Чтобы оценить качество каждого перехода системы,

необходимо ввести критерий как функцию от параметров каждого устойчивого состояния КИ:

$$K = f(PS) \Rightarrow Kst_i = f(ps_{i1}, ps_{i2}, \dots, ps_{ik}).$$

Матрица жизнеспособности КИ представляет собой матрицу устойчивых состояний КИ, которая позволяет определить возможные стратегии перехода КИ из начального устойчивого состояния некоторого цикла развития КИ в его конечное устойчивое состояние за ограниченное время с положительным приращением критериальной функции, позволяющей оценить каждый переход КИ с точки зрения целей моделирования динамики ее развития, то есть матрица жизнеспособности КИ обеспечивает синтез траекторий движения КИ в пространстве устойчивых состояний.

Матрица $CIR_{n \times m}$:

$$CIR = \begin{pmatrix} \emptyset & cir_{12}(RS, rk, t) & \dots & cir_{1m}(RS, rk, t) \\ cir_{21}(RS, rk, t) & \emptyset & \dots & cir_{2m}(RS, rk, t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ cir_{n1}(RS, rk, t) & cir_{n2}(RS, rk, t) & \dots & \emptyset \end{pmatrix},$$

где $RS = f(S, t)$ – требуемые для перехода ресурсы; $rk = f(P, t)$ – вероятность перехода; t – время перехода.

Цикл развития КИ ограничен по времени и по величине приращения критериальной функции. Началом цикла будем считать устойчивое состояние s_1 , окончанием – s_g . В динамике жизнеспособность КИ можно условно определить как процесс риск-устойчивого развития КИ. Тогда этому поступательному процессу будет соответствовать кортеж согласованных во времени элементов матрицы жизнеспособности КИ CIR : $CIR^* = \langle cir_1(t_1), cir_2(t_2), \dots, cir_g(t_g) \rangle$, $CIR^* \subset CIR$, для которого выполняется следующая система неравенств:

$$\begin{aligned} \delta t_{\min} &\leq t_g - t_1 \leq \delta t_{\max}, \\ \delta K_{\min} &\leq K(res_g) - K(res_1) \leq \delta K_{\max}, \end{aligned}$$

где δt_{\min} , δt_{\max} – границы временного интервала цикла развития; δK_{\min} , δK_{\max} – границы значений критериальной функции.

При этом все переходы между устойчивыми состояниями внутри цикла развития КИ должны быть согласованы во времени и удовлетворять ограничениям на наличие ресурсов. При оценке состояния жизнеспособности КИ, характеризующего уровень устойчивости КИ, должны также учитываться такие факторы как несимметричность переходов, время переходов и их характер, влияние внешней среды, идентификация границ и взаимосвязей циклов развития КИ. Для согласования показателей функционирования компонентов КИ, представленных в матрице жизнеспособности КИ и оптимизируемых управляющими элементами системы обеспечения безопасности КИ, целесообразно использовать формальный аппарат теории иерархических многоуровневых систем [Месарович и др., 1973] и математические модели координации индексов социально-экономического развития региона [Горошко, Бондаренко, 2015].

Жизнеспособность социально-экономических и технических систем можно трактовать как такое их свойство, при котором они продолжают адаптивно функционировать и развиваться в условиях неопределенности и воздействия множественных внешних и внутренних факторов (угроз) различной природы. Это особое защитное свойство поддерживается за счет реализации комплекса превентивных антикризисных мер, обеспечивающих нахождение системы в области устойчивых состояний и задающих траектории ее движения по направлению к центру безопасности (подмножеству наиболее устойчивых состояний). В общем случае область устойчивых состояний и центр безопасности

не совпадают. К таким защитным мерам, например, относится использование в процессе управления жизнеспособностью систем средств сценарного анализа, мониторинга и прогнозирования негативных воздействий (угроз) и их последствий, средств идентификации критических ситуаций, комплексных автоматизированных систем управления безопасностью, средств интеллектуальной поддержки принятия решений, экспертных систем ситуационного управления и других.

В аналитической форме термин «жизнеспособность» КИ можно формально представить в следующем виде:

$$|st_i^H - st_i(ps, t)| \geq \sigma_i, |st_i^B - st_i(ps, t)| \geq \sigma_i, i = \overline{1, k},$$

где $st_1(ps, t), st_2(ps, t), \dots, st_k(ps, t)$ – множество фазовых переменных состояния КИ с заданным набором параметров $ps \in PS$; st_i^H и st_i^B – критические нижние и верхние граничные значения переменных состояния КИ соответственно, выход за пределы которых переводит КИ из нормального состояния функционирования в критическое (неустойчивое); σ_i – смещение текущего состояния $st_i(ps, t)$ КИ от граничных верхних и нижних критических значений st_i^B и st_i^H соответственно, причем параметр σ_i можно использовать как количественную характеристику удаленности текущего состояния КИ от центра безопасности, определяющую степень устойчивости для данного состояния КИ. Эту характеристику в теории безопасности сложных систем принято называть индексом безопасности.

В случае, когда параметры вектора состояний КИ \vec{st} взаимозависимы, совокупный индекс безопасности σ_i^* , определяющий жизнеспособность КИ, в аналитической форме задается следующей метрикой:

$$\sum_{i=1}^k \alpha_i |st_i^H - st_i(ps, t)| \geq \sigma_i^*, \sum_{i=1}^k \alpha_i |st_i^B - st_i(ps, t)| \geq \sigma_i^*,$$

где $\alpha_i > 0$ – заданные вещественные положительные коэффициенты.

С учетом наличия неопределенности, возникающей вследствие влияния внешней среды на процесс функционирования объектов КИ, вероятностную модель понятия «жизнеспособность» КИ формально можно задать в виде:

$$\Pr \left\{ st_i^H - M[st_i(ps, t)] \geq \sigma_i \right\} \geq 1 - \varepsilon_i,$$

$$\Pr \left\{ st_i^B - M[st_i(ps, t)] \geq \sigma_i \right\} \geq 1 - \varepsilon_i,$$

где $i = \overline{1, k}$, \Pr – символ вероятности; σ_i – индекс безопасности КИ, определяющий удаленность математического ожидания $M[st_i(ps, t)]$ случайного процесса $st_i(ps, t)$ от предельно допустимых нижних и верхних граничных значений параметров состояния КИ; ε_i – заданное достаточно малое положительное число.

При использовании этого формализма необходимо учитывать то, что в процессе функционирования объектов КИ каждое состояние $st_i(ps, t)$ с определенной вероятностью проходит вблизи других состояний КИ. Такая особенность случайного процесса $st_i(ps, t)$ называется эргодичностью. Это свойство динамических систем, в которых фазовые средние состояния совпадают с временными. Вместе с тем в процессе изменения состояний функционирования КИ в темпе должна обеспечиваться возможность вычисления $M[st_i(ps, t)]$.

С точки зрения системного подхода жизнеспособность КИ можно рассматривать как некоторую гипотетическую макросистему, подверженную воздействию внутренних и

внешних факторов. Тогда формализм для описания модели такой системы в операторной форме имеет вид:

$$CIR: X \times \Xi \times U \times SP \times \Psi \times [0, T] \rightarrow Y,$$

где X – множество идентифицируемых входных воздействий; Ξ – множество параметрических возмущений внешней среды; U – множество управляющих воздействий, направленных на стабилизацию объекта управления (КИ) в условиях параметрических возмущений посредством реализации некоторого алгоритма (программы) управления; SP – множество структурных параметров системы; Y – множество переменных состояния устойчивости КИ; Ψ – множество внутренних факторов (возмущений); $[0, T]$ – период функционирования (цикл развития) системы; « \times » – знак декартова произведения.

Внешние $\xi \in \Xi$ и внутренние $\psi \in \Psi$ факторы (возмущения) оказывают влияние на поведение системы через переменные $x \in X$ и параметры $sp \in SP$ с помощью некоторых известных механизмов: $x = x(\xi)$ и $sp = sp(\psi)$. Тогда, если система допускает описание в форме дифференциальных уравнений, то модель системы имеет вид:

$$\dot{x} = f(x(\xi), u, sp(\psi), y, t),$$

где f – известная вектор-функция, $x(\xi), u, sp(\psi), y$ – векторы множеств X, U, SP и Y соответственно с начальными условиями $y(t_0) = y_0$.

На основе этой модели в ходе проведения имитационных экспериментов можно проанализировать поведение системы. В зависимости от значений начальных условий x_0 , типа, уровня и сочетания внешних ξ и внутренних ψ возмущений, данная модель позволяет получить семейство характерных для нее фазовых траекторий. Эти траектории являются объектом анализа системы (КИ) на устойчивость, то есть на жизнеспособность.

2.3. Формальная постановка задачи управления жизнеспособностью КИ

КИ является объектом управления, а задача обеспечения жизнеспособности КИ – это задача оптимального управления в условиях параметрических возмущений внешней среды (социально-экономического окружения КИ). Для оптимального управления необходимо контролировать параметры внешней среды и применять методы и алгоритмы компенсации возмущений для организации обратной связи с целью стабилизации объекта управления. Традиционно в теории управления эта задача решается путем синтеза вектор-функции управляющих воздействий $\vec{u}(t)$ и использования комбинированной системы управления типа «объект – регулятор» (рис. 2), сочетающей в себе все достоинства принципов замкнутого и разомкнутого управления, то есть реализующей одновременное управление «по отклонению» и «по возмущению». Такой подход к решению задачи стабилизации обеспечивает возможность анализа и контроля поведения неустойчивых динамических систем, к которым относится КИ и их отдельные компоненты. Разомкнутая схема управления применяется в том случае, когда внешние возмущения $\xi \in \Xi$ могут быть точно или приближенно измерены. Замкнутая схема управления работает по принципу отрицательной обратной связи, то есть по отклонению переменных состояния $y(t) \in Y$ от заданных значений $y_0(t)$, что позволяет скомпенсировать эти отклонения, невзирая на природу внешних возмущений ξ .

В качестве регулятора для компенсации возмущений предлагается использовать инструменты информационной поддержки управления рисками нарушения безопасности КИ [Маслобоев, Путилов, 2016], обеспечивающие формирование благоприятных условий для целенаправленного поведения объекта управления (КИ).

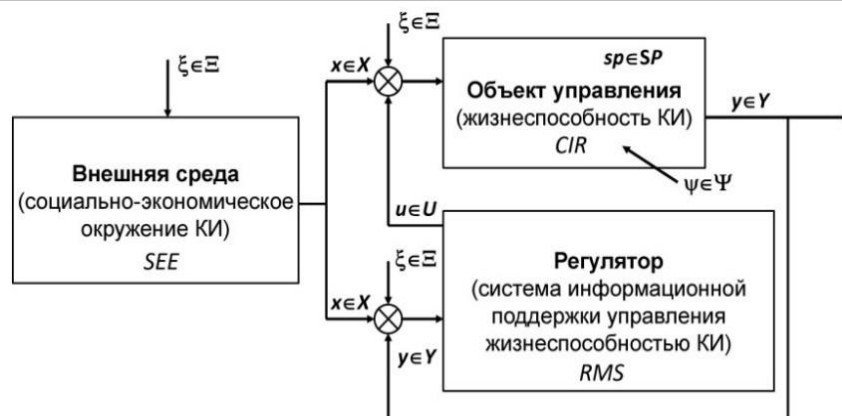


Рис. 2. Общая схема задачи управления жизнеспособностью КИ с комбинированной системой управления

Fig. 2. Problem statement general scheme of critical infrastructure resilience control with combined management system

Рассмотрим формальную постановку задачи управления жизнеспособностью КИ.

Дано:

1) Объекты управления: КИ – множество критически важных социально-экономических объектов и систем $CIR = \{CIR_i\}$ и жизнеспособность КИ.

2) Множество параметрических возмущений внешней и внутренней среды КИ CIR: $\xi = \{\varepsilon(\alpha(t)), \varepsilon(\beta(t)), \varepsilon(\delta(t)), \varepsilon(\rho(t)), \varepsilon(\varphi(t)), \varepsilon(\gamma(t)), \varepsilon(\eta(t))\}$, где t – параметр времени.

Параметрические возмущения (ξ):

$\varepsilon(\alpha(t))$ – угрозы нарушения экономической жизнеспособности КИ CIR;

$\varepsilon(\beta(t))$ – угрозы нарушения социальной и социетальной жизнеспособности КИ CIR;

$\varepsilon(\delta(t))$ – угрозы нарушения экологической жизнеспособности КИ CIR;

$\varepsilon(\rho(t))$ – угрозы нарушения организационной жизнеспособности КИ CIR;

$\varepsilon(\varphi(t))$ – угрозы нарушения технологической жизнеспособности КИ CIR;

$\varepsilon(\gamma(t))$ – угрозы нарушения энергетической жизнеспособности КИ CIR;

$\varepsilon(\eta(t))$ – угрозы нарушения киберфизической жизнеспособности КИ CIR.

3) Внешняя среда SEE (социально-экономическое окружение КИ, включающее хозяйствующие субъекты, управляющие элементы регионального и федерального уровня, мировые глобализационные процессы, военно-политические аспекты, международные тенденции, нормативно-правовое поле и т. д.), подверженная влиянию разнородных факторов ξ и осуществляющая прямое или косвенное воздействие x на жизнеспособность КИ.

4) Множество общих требований к социально-экономическому окружению КИ (параметрам внешней и внутренней среды): $Tr = \{\alpha_{Tr}, \beta_{Tr}, \delta_{Tr}, \rho_{Tr}, \varphi_{Tr}, \gamma_{Tr}, \eta_{Tr}\}$.

Найти:

1) Множество моделей оценки параметров внешней и внутренней среды SEE и SP, характеризующих жизнеспособность КИ CIR:

$$\mu(t) = \{\alpha(t), \beta(t), \delta(t), \rho(t), \varphi(t), \gamma(t), \eta(t)\},$$

$y \in Y$ – устойчивое состояние самосохранения CIR (жизнеспособность КИ),

$\mu(t)$ – функция оценки устойчивости (жизнеспособности) КИ CIR;

2) Множество алгоритмов $A(t) = \{A_i(t)\}$, обеспечивающих стабилизацию объекта управления и образующих его структурных подсистем $CIR = \{CIR_i\}$, то есть позволяющих при реализации обеспечивать такое управление $u \in U$, при котором воздействия ξ , ψ и x

компенсируются, и результирующая устойчивость (жизнеспособность) $y \in Y$ находится в допустимых пределах;

3) Модель КИ $CIR = \{CIR_i\}$, описывающую КИ с точки зрения состава параметров состояния (показателей) и информации, необходимой для принятия эффективных управленческих решений по обеспечению жизнеспособности КИ;

4) Регулятор RMS (CIR), представляющий собой информационно-управляющую систему обеспечения жизнеспособности и безопасности КИ и реализующий функцию контроля параметрических возмущений ζ и ψ , действующих на объект управления через $SEE(x)$, а также функцию стабилизации u объекта управления с помощью реализации соответствующих алгоритмов и программ управления $A(t)$;

5) Множество подсистем RMS (CIR) $S^{RMS} = \{S_i^{RMS}\}$ и элементов $E^{RMS} = \{E_i^{RMS}\}$;

6) Множество функций подсистем RMS (CIR): $SF^{RMS} = \{SF_i^{RMS}\}$;

7) Множество ограничений по критичности подсистем RMS (по времени выполнения $T_{CIR} = \{T_{CIR_i}\}$) и по критичности выполнения функционала $F_{CIR} = \{F_{CIR_i}\}$;

8) Метод оценки эффективности функционирования внешней среды КИ SEE и регулятора RMS , модели и методику оценки устойчивости внутренней среды КИ и ее компонентов $CIR = \{CIR_i\}$.

Таким образом, задача обеспечения жизнеспособности КИ представляет собой задачу стабилизации объекта управления (КИ) по многим параметрам. Эта задача может быть сведена к задаче оптимального выбора по многим критериям.

Пусть жизнеспособность объектов КИ $\{CIR_i\}$ характеризуется функцией $\mu(t)$, значение которой представляет собой вероятность нахождения КИ в устойчивом состоянии защищенности в некоторый произвольный момент времени T . Тогда можно утверждать, что задача обеспечения жизнеспособности КИ формулируется, как задача достижения максимума функции $\mu(t)$ по t на произвольном временном интервале t (при $t \rightarrow \infty$), то есть:

$$M = \max_{t \in [t_0, \infty]} \mu(t).$$

Функция $\mu(t)$ определяется через частные функции:

$\alpha(t)$ – оценка экономической безопасности КИ в момент времени T ;

$\beta(t)$ – оценка социальной стабильности КИ в момент времени T ;

$\delta(t)$ – оценка экологической безопасности КИ в момент времени T ;

$\rho(t)$ – оценка организационной устойчивости КИ в момент времени T ;

$\varphi(t)$ – оценка технологической надежности КИ в момент времени T ;

$\gamma(t)$ – оценка энергетической безопасности КИ в момент времени T ;

$\eta(t)$ – оценка информационной безопасности КИ в момент времени T ;

t_0 – начальный момент времени исследования объектов КИ на жизнеспособность.

Поскольку значения частных функций представляют собой вероятности, и значение общей функции состояния жизнеспособности КИ также представляет собой вероятность, можно представить функцию $\mu(t)$ как взвешенную аддитивную свертку этих функций:

$$\mu(t) = \omega_1 \alpha(t) + \omega_2 \beta(t) + \omega_3 \delta(t) + \omega_4 \rho(t) + \omega_5 \varphi(t) + \omega_6 \gamma(t) + \omega_7 \eta(t),$$

где ω_i – весовые коэффициенты значимости соответствующей функции, $\sum_{i=1}^7 \omega_i = 1$.

Учитывая специфику объекта управления и размерность задачи, решить поставленную проблему аналитически или численно достаточно сложно. На практике существует несколько подходов к решению данной задачи, отличающихся механизмами реализации управления. Первый способ – это «жесткое» институциональное управление, предполагающее контроль

ограничений и норм деятельности, то есть координацию управления на метауровне. Вторым способом – это более «мягкое» мотивационное управление, предполагающее изменение функций полезности и предпочтений субъекта путем введения системы штрафов и поощрений за выбор тех или иных действий, то есть стимулирование деятельности субъектов управления. И наименее исследованный способ управления жизнеспособностью КИ – «мягкое» информационное управление, предполагающее изменение информации, которую использует субъект управления при принятии решений, то есть адекватную ситуации информационно-аналитическую поддержку принятия решений. Для обеспечения эффективного функционирования многоуровневой распределенной системы управления жизнеспособностью КИ перечисленные механизмы управления должны применяться одновременно, поскольку комбинированное управление предназначено для сложных динамических систем различной природы и масштаба, в которых можно выделить детерминированную часть, поддающуюся идентификации, детальному анализу, расчету и жесткому планированию, и недетерминированную, для которой такая диагностика практически невозможна. К таким системам относятся все известные виды КИ. Для решения формализованной выше задачи разработаны модели и методы, подробно изложенные в работах [Маслобоев, Путилов, 2016; Цыгичко и др., 2018] и обеспечивающие формальную основу имитационного моделирования, автоматизации и координации процессов принятия управленческих решений в сфере управления рисками нарушения жизнеспособности и безопасности КИ.

Заключение

В ходе проведенного исследования получены следующие результаты:

1. Выполнен системный анализ проблематики обеспечения жизнеспособности КИ и ее позиционирование в контексте современной теории безопасности сложных систем.
2. На основе обзора текущего состояния отечественных и зарубежных научных работ по данной тематике установлено, что комплексных исследований этой проблемной области в России не проводилось. Отечественные исследования жизнеспособности систем носят точечный характер и концентрируются в основном на вопросах безопасности КИ. В зарубежных исследованиях, напротив, не существует однозначной точки зрения на проблему жизнеспособности КИ, что проявляется в большом разнообразии интерпретаций этого понятия и используемого модельного и методического инструментария для решения частных задач оценки и анализа различных аспектов жизнеспособности систем. Этих аспектов много, и они очень разноплановые. Необходима научная проработка каждого из них с последующим обобщением в единую концепцию жизнеспособности КИ.
3. Показано, что управление жизнеспособностью КИ является сложной научно-технической проблемой, требующей единого формализованного описания предметной области, комплексного учета взаимного влияния факторов различной природы, а также систематизации методологической базы исследования и оценки ее применимости для каждого конкретного типа КИ. Для решения проблемы необходимо создание новых пост-неклассических моделей и методов управления, интегрирующих в себе все достоинства классических и неклассических принципов теории управления и кибернетики, а также основанных на системном подходе и учитывающих противоречивость отдельных задач обеспечения жизнеспособности КИ и ресурсные ограничения на различных уровнях функционирования распределенных систем управления безопасностью КИ.
4. Предложено развитие современной теории управления безопасностью сложных систем и расширена область ее применения на класс КИ для исследования системных связей, и закономерностей, определяющих жизнеспособность и устойчивость КИ в условиях неопределенности и высокой динамики внешней среды. Впервые выполнена формализация терминов «КИ» и «жизнеспособность КИ», уточняющая содержание этой предметной области исследования с помощью конкретных формализмов, что расширяет формальный аппарат теории безопасности систем и делает его более конструктивным. Это обеспечило основу для постановки общей задачи управления жизнеспособностью КИ и разработки концептуальной модели системы управления жизнеспособностью КИ.

Дальнейшие исследования будут направлены на развитие методов математического и компьютерного моделирования жизнеспособности КИ, а также на разработку моделей оценки рисков КИ и функциональной организации систем управления безопасностью КИ.

Список литературы

1. Добровольский В.С. 2015. Проблемы и особенности обеспечения безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций объектов экономики. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 1: 87–98.
2. Горошко И.В., Бондаренко Ю.В. 2015. Согласование социальных и экономических показателей развития региона: понятие и механизмы. Проблемы управления, 1: 63–72.
3. Гутман С.С., Басова А.А. 2017. Индикаторы устойчивого развития Арктической зоны Российской Федерации: проблемы выбора и измерения. Арктика: экология и экономика. 4 (28): 32–48.
4. Маслобоев А.В., Путилов В.А. 2016. Информационное измерение региональной безопасности в Арктике. Апатиты, КНИЦ РАН, 222.
5. Месарович М., Мако Д., Такахара И. 1973. Теория иерархических многоуровневых систем. М., Мир, 343.
6. Михалевич И.Ф., Рыжов А.П. 2018. Оценка устойчивости развития критической инфраструктуры Российской Федерации на базе технологии оценки и мониторинга информационной безопасности. Интеллектуальные системы. Теория и приложения. 2 (22): 7–18.
7. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации (Указ Президента РФ от 31 декабря 2015 г. N 683). [Электронный ресурс] URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/40391>.
8. О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года (Указ Президента РФ от 13.05.2017 г. № 208). [Электронный ресурс] URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/41921>.
9. Соложенцев Е.Д. 2015. Логико-вероятностное управление риском состояния и развития социально-экономических систем и процессов. Проблемы анализа риска, 12 (1): 6–16.
10. Цыгичко В.Н., Черешкин Д.С., Смолян Г.Л. 2018. Безопасность критических инфраструктур. М., Красанд, 200.
11. Шульц В.Л., Кульба В.В., Шелков А.Б., Чернов И.В. 2015. Сценарный анализ в управлении геополитическим информационным противоборством. М., Наука, 542.
12. Aldrich P.A., Meyer M.A. 2015. Social Capital and Community Resilience. *American Behavioral Scientist*, 59 (2): 254–269.
13. Ahert J. 2011. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, 100 (4): 341–343.
14. ANSI/ASIS 2009. Organizational Resilience: Security, Preparedness, and Continuity Management Systems - Requirements with Guidance for Use. ANSI/ASIS.SPC.1:2009. [Электронный ресурс] URL: https://www.ndsu.edu/fileadmin/emgt/ASIS_SPC.1-2009_Item_No._1842.pdf.
15. Bearse R. 2014. The Return on Investing in Personal resilience. The CIP Report. Center for Infrastructure Protection and Homeland Security, 12 (7): 21–24.
16. BRT - Benchmark Resilience Tool. 2019. [Электронный ресурс] URL: <https://www.resorgs.org.nz/resources/organisational-resilience-publications>.
17. Bertocchi G., Bologna S., Carducci G., Carrozzi L., Cavallini S., Lazari A., Oliva G., Traballesi A. 2016. Guidelines for Critical Infrastructures Resilience Evaluation. Associazione Italiana esperti Infrastrutture Critiche (AIRC) - Italian Association of Critical Infrastructures Experts. Technical Report. DOI: 10.13140/RG.2.1.4814.6167.
18. Björck F., Henkel M., Stirna J., Zdravkovic J. 2015. Cyber Resilience - Fundamentals for a Definition. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 353: 311–316.
19. Cassotta S., Sidortsov R., Pursiainen C., Goodsite M.E. 2019. Cyber Threats, Harsh Environment and the European High North (EHN) in a Human Security and Multi-Level Regulatory Global Dimension: Which Framework Applicable to Critical Infrastructures under «Exceptionally Critical Infrastructure Conditions»? *Beijing Law Review*, 10: 317–360.
20. European Council. 2008. Council Directive 2008/114/EC of 8 December 2008 on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection. [Электронный ресурс] URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:345:0075:0082:EN:PDF>.
21. Flynn S.E. 2008. America the Resilient: Defying Terrorism and Mitigating Natural Disasters. *Foreign Affairs*, 83 (2): 2–8.

22. Hollnagel E. 2014. *Safety-I and Safety-II. The Past and Future of Safety Management*. Ashgate, England, 187.
23. Holling C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4 (1): 1–23.
24. Labaka, L., Hernantes, J., Sarriegi J.M. 2015. Resilience framework for Critical Infrastructures: An Empirical Study in a Nuclear Plant. *Reliability Engineering and System Safety*, 141: 92–105.
25. Lee A.V., Vargo J., Seville E. 2013. Developing a Tool to Measure and Compare Organizations' Resilience. *Natural Hazards Review*, 14 (1): 29–41.
26. Petersen L. et al. 2016. Social resilience criteria for critical infrastructures during crises. IMPROVER D4.1. [Электронный ресурс] URL: www.improverproject.eu.
27. Pursiainen C.H., Rød B., Baker G., Honfi D., Lange D. 2017. Critical Infrastructure Resilience Index: in book «Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice». CRC Press, 2183–2189.
28. Righi A.W., Saurin T.A., Wachs, P. 2015. A systematic literature review of resilience engineering: Research areas and a research agenda proposal. *Reliability Engineering and System Safety*, 141: 142–152.
29. SEI. 2013. Arctic Resilience Interim Report. Stockholm Environment Institute and the Stockholm Resilience Centre. [Электронный ресурс] URL: <https://mediamanager.sei.org/documents/Publications/ArcticResilienceInterimReport2013-LowRes.pdf>.
30. UNISDR/UNDRR (n.d.). Terminology on disaster risk reduction. [Электронный ресурс] URL: <https://www.unisdr.org/we/inform/terminology>.
31. Wang C., Blackmore J. 2009. Resilience Concepts for Water Resource Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 135 (6): 528–536.
32. Youn B.D., Hu. C., Wang P. 2011. Resilience-driven System Design of Complex Engineered Systems. *Journal of Mech Design*, 133 (10): 10108–10110.

References

1. Dobrovolsky V.S. 2015. Security and safety support problems and peculiarities under emergency situations of economy objects. *Problems of safety and emergency situations*, 1: 87–98. (in Russian)
2. Goroshko I.V., Bondarenko Yu.V. 2015. Social and economic indicators coordination of regional development: concept and techniques. *Control problems*, 1: 63–72. (in Russian)
3. Gutman S.S., Basova A.A. 2017. Indicators of sustainable development of Russian Federation Arctic zone: problems of selection and measurement. *The Arctic: ecology and economy*. 4 (28): 32–48. (in Russian)
4. Masloboev A.V., Putilov V.A. 2016. *Informatsionnoe izmerenie regional'noy bezopasnosti v Arktike* [Information dimension of regional security in the Arctic]. Apatity: KSC RAS, 222. (in Russian)
5. Mesarovich M., Mako D., Takakura I. 1973. *Teoriya ierarkhicheskikh mnogourovnevnykh system* [Theory of hierarchical multi-level systems]. Moscow, Mir, 343. (in Russian)
6. Mikhalevich I.F., Ryzhov A.P. 2018. Sustainability assessment of Russian Federation critical infrastructure development based on information security evaluation and monitoring technologies. *Intelligent systems. Theory and applications*. 2 (22): 7–18. (in Russian)
7. National security strategy of Russian Federation (President of RF decree 31 December 2015 no. 683). [Electronic resource] Available at: <http://kremlin.ru/acts/bank/40391>. (in Russian)
8. Economic security strategy of Russian Federation until 2030 (President of RF decree 13 May 2017 no. 208). [Electronic resource] Available at: <http://kremlin.ru/acts/bank/41921>. (in Russian)
9. Solozhentsev E.D. 2015. Risk logical-and-probabilistic control of socio-economic systems and processes state and development. *Risk analysis problems*, 12 (1): 6–16. (in Russian)
10. Tsygichko V.N., Chereskin D.S., Smolyan G.L. 2018. *Bezopasnost' kriticheskikh infrastruktur* [Safety of critical infrastructures]. Moscow, Krasand, 200. (in Russian)
11. Shul'ts V.L., Kul'ba V.V., Shelkov A.B., Chernov I.V. 2015. *Stsenarnyy analiza v upravlenii geopoliticheskim informatsionnym protivoborstvom* [Scenario analysis in geopolitical information resistance management]. Moscow, Nauka, 542. (in Russian)
12. Aldrich P.A., Meyer M.A. 2015. Social Capital and Community Resilience. *American Behavioral Scientist*, 59 (2): 254–269.
13. Ahert J. 2011. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, 100 (4): 341–343.
14. ANSI/ASIS 2009. *Organizational Resilience: Security, Preparedness, and Continuity Management Systems - Requirements with Guidance for Use. ANSI/ASIS.SPC.1:2009*. [Electronic resource] Available at: https://www.ndsu.edu/fileadmin/emgt/ASIS_SPC.1-2009_Item_No._1842.pdf.

15. Bearse R. 2014. The Return on Investing in Personal resilience. The CIP Report. Center for Infrastructure Protection and Homeland Security, 12 (7): 21–24.
16. BRT – Benchmark Resilience Tool. 2019. [Electronic resource] Available at: <https://www.resorgs.org.nz/resources/organisational-resilience-publications>.
17. Bertocchi G., Bologna S., Carducci G., Carrozzi L., Cavallini S., Lazari A., Oliva G., Traballesi A. 2016. Guidelines for Critical Infrastructures Resilience Evaluation. Associazione Italiana esperti Infrastrutture Critiche (AIIC) - Italian Association of Critical Infrastructures Experts. Technical Report. DOI: 10.13140/RG.2.1.4814.6167.
18. Björck F., Henkel M., Stirna J., Zdravkovic J. 2015. Cyber Resilience - Fundamentals for a Definition. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 353: 311–316.
19. Cassotta S., Sidortsov R., Pursiainen C., Goodsite M.E. 2019. Cyber Threats, Harsh Environment and the European High North (EHN) in a Human Security and Multi-Level Regulatory Global Dimension: Which Framework Applicable to Critical Infrastructures under «Exceptionally Critical Infrastructure Conditions»? *Beijing Law Review*, 10: 317–360.
20. European Council. 2008. Council Directive 2008/114/EC of 8 December 2008 on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection. [Electronic resource] Available at: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:345:0075:0082:EN:PDF>.
21. Flynn S.E. 2008. America the Resilient: Defying Terrorism and Mitigating Natural Disasters. *Foreign Affairs*, 83 (2): 2–8.
22. Hollnagel E. 2014. *Safety-I and Safety-II. The Past and Future of Safety Management*. Ashgate, England, 187.
23. Holling C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4 (1): 1–23.
24. Labaka, L., Hernantes, J., Sarriegi J.M. 2015. Resilience framework for Critical Infrastructures: An Empirical Study in a Nuclear Plant. *Reliability Engineering and System Safety*, 141: 92–105.
25. Lee A.V., Vargo J., Seville E. 2013. Developing a Tool to Measure and Compare Organizations' Resilience. *Natural Hazards Review*, 14 (1): 29–41.
26. Petersen L. et al. 2016. Social resilience criteria for critical infrastructures during crises. IMPROVER D4.1. [Electronic resource] Available at: www.improverproject.eu.
27. Pursiainen C.H., Rød B., Baker G., Honfi D., Lange D. 2017. Critical Infrastructure Resilience Index: in book «Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice». CRC Press, 2183–2189.
28. Righi A.W., Saurin T.A., Wachs, P. 2015. A systematic literature review of resilience engineering: Research areas and a research agenda proposal. *Reliability Engineering and System Safety*, 141: 142–152.
29. SEI. 2013. Arctic Resilience Interim Report. Stockholm Environment Institute and the Stockholm Resilience Centre. [Electronic resource] Available at: <https://mediamanager.sei.org/documents/Publications/ArcticResilienceInterimReport2013-LowRes.pdf>.
30. UNISDR/UNDRR (n.d.). Terminology on disaster risk reduction. [Electronic resource] Available at: <https://www.unisdr.org/we/inform/terminology>.
31. Wang C., Blackmore J. 2009. Resilience Concepts for Water Resource Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 135 (6): 528–536.
32. Youn B.D., Hu. C., Wang P. 2011. Resilience-driven System Design of Complex Engineered Systems. *Journal of Mech Design*, 133 (10): 10108–10110.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Маслобоев Андрей Владимирович, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий управления региональным развитием, Институт информатики и математического моделирования Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», г. Апатиты, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey V. Masloboev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher in Department of Information Technologies for Regional Development Management, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Federal Research Center “Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences”, Apatity, Russia

Быстров Виталий Викторович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории информационных технологий управления региональным развитием, Институт информатики и математического моделирования Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», г. Апатиты, Россия

Vitaly V. Bystrov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher in Department of Information Technologies for Regional Development Management, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Federal Research Center “Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences”, Apatity, Russia

УДК 519.816

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-573-582

Математическое моделирование оценки качества коллективного решения

А.В. Ганичева¹, А.В. Ганичев²¹ Тверская государственная сельскохозяйственная академия, Россия, 170904, Тверь, ул. Маршала Василевского, 7² Тверской государственный технический университет, Россия, 170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22
E-mail: alexej.ganichev@yandex.ru

Аннотация

Проблема принятия коллективного решения группой экспертов является одной из важнейших в системном анализе информационных процессов. Для ее решения необходимо оценить качество коллективного решения (точность, достоверность, надежность, количество экспертов и их характеристики). В статье рассматриваются вопросы надежности и достоверности оценок, выставляемых группой экспертов. Определена оценка оптимального количества экспертов в зависимости от точности и надежности оценки. Показан новый подход к определению числовых характеристик ошибок оценивания. Разработан метод вычисления относительной ошибки оценивания фактора, рассмотрен вопрос качества оценки нескольких факторов. Для реализации методов определения оптимальной численности экспертов разработаны детальные алгоритмы. Полученные результаты могут использоваться для решения задач планирования деятельности, прогнозирования результатов, выбора перспективных технологий и т. д.

Ключевые слова: эксперт, фактор, выборка, относительная ошибка оценивания, разброс, плотность распределения, доверительный интервал.

Для цитирования: Ганичева А.В., Ганичев А.В. 2020. Математическое моделирование оценки качества коллективного решения. Экономика. Информатика. 47 (3): 573–582. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-573-582.

Mathematical modeling of collective decision quality assessment

A.V. Ganicheva¹, A.V. Ganichev²¹ Tverskaya state agricultural Academy, Russia, 170904, Tver, St. Marshal Vasilevsky, 7² Tverskoy state technical University, Russia, 170026, Tver, nab. AF. Nikitin, 22
E-mail: alexej.ganichev@yandex.ru

Abstract

The problem of making decisions by a group of experts is one of the most important in the system analysis of information processes. To solve it, it is necessary to assess the quality of the collective decision (accuracy, reliability, reliability, the number of experts and their characteristics). The article deals with the issues of reliability and reliability of estimates made by a group of experts. The estimation of the optimal number of experts is determined depending on the accuracy and reliability of the assessment. A new approach to determining the numerical characteristics of estimation errors is shown. A method for calculating the relative error of a factor assessment has been developed, the issue of the quality of evaluating several factors has been considered. Detailed algorithms have been developed to implement methods for determining the optimal number of experts. The results obtained can be used to solve tasks of activity planning, results forecasting, selection of promising technologies, etc.

Keywords: expert, factor, sample, relative error of estimation, spread, distribution density, confidence interval.

For citation: Ganicheva A.V., Ganichev A.V. 2020. Conceptual model of critical infrastructures resilience in the context of modern theory of complex system security. Economics. Information technologies. 47 (3): 573–582 (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-573-582.

Введение

Возрастающий уровень сложности, неопределенности и ответственности принимаемых решений во многих предметных областях вызывает необходимость использования коллективного мнения экспертов. Вопросам экспертных оценок уделяется большое внимание в научных исследованиях. Так, в статье [Михалева, Подвесовский, 2019] рассмотрена технология групповой экспертизы в распределенной среде, в работах [Крянев, Семенов, 2013; Рупосов, 2015; Слепцова, 2015] изложены вопросы определения числа экспертов для надежного обоснования принятия решения. В статье [Халафян и др., 2016] предложен альтернативный суммированию баллов метод оценки результатов экспертных оценок. Технология организации экспертного опроса, основные этапы проведения экспертизы и методы их реализации показаны в работе [Кошевой и др., 2012]. В статьях [Yang et. al., 2000; Халикова, Рыжкова, 2016] предлагается использовать для экспертной оценки метод моделирования. Вопросы применения коллективных экспертных оценок в системах поддержки принятия решений рассмотрены в работах [Turban, Aronson, 2000; Sojocariu et. al., 2005; Velychko et. al., 2014; Данелян, 2015; Kirichek, Morozova, 2018]. Оригинальным является подход, использующий для расчета коэффициента значимости экспертного оценивания алгебраические методы теории постановок [Попов и др., 2016]. Как отмечается в фундаментальном исследовании современной теории экспертных оценок [Орлов, 2011], в этой области есть еще много неисследованных вопросов.

Целью работы является определение характеристик коллективного решения экспертов. Для реализации поставленной цели решены следующие задачи:

- 1) определены числовые характеристики ошибок оценивания;
- 2) показано вычисление относительной ошибки оценивания;
- 3) разработан метод определения точности оценки нескольких факторов.

Числовые характеристики ошибок оценивания

Предположим, что n независимых экспертов оценивают некоторый фактор B . Пусть $x_i (i = \overline{1, n})$ – оценка i -го эксперта, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ – средняя оценка. Все возможные оценки фактора B образуют генеральную совокупность некоторой случайной величины X , которая представлена выборкой $\{x_i | i = \overline{1, n}\}$ и средней выборочной $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$.

До проведения эксперимента элементы выборки являются случайными величинами X_1, X_2, \dots, X_n . Будем рассматривать случай, когда X_1, X_2, \dots, X_n попарно независимые случайные величины, имеющие один и тот же закон распределения. Пусть x – произвольное значение случайной величины X , $x - \bar{x}$ представляют собой ошибки оценивания. Пусть m_x и σ_x – соответственно математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение случайной величины X . Величина \bar{x} является случайной, т. к. определяется выборкой. Допустим, что X имеет нормальное распределение. При этом будем считать, что интервал (x_{\min}, x_{\max}) (здесь x_{\min} и x_{\max} – соответственно минимальное и максимальное значение случайной величины X) совпадает с интервалом $(\bar{x} - 4\varepsilon - 3S_x^2, \bar{x} + 4\varepsilon + 3S_x^2)$, где ε – точность

оценки \bar{x} для m_x и оценки $S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ для σ_x . Если первый интервал меньше второго, то растягиваем его в соответствующее число раз, переходя к новым x_{\min} и x_{\max} . Случайная величина \bar{x} также имеет нормальное распределение (как сумма нормально распределенных величин), причем $M[\bar{x}] = m_x$, $D[\bar{x}] = \frac{\sigma_x^2}{n}$.

В работе [Вентцель, 2018] рассмотрен приближенный метод построения доверительного интервала для дисперсии σ_x^2 , когда число наблюдений $n \geq 30$. Это интервал $\left(S_x^2 - \varepsilon - t_\beta \sqrt{\frac{2}{n-1}} (S_x^2 - \varepsilon), S_x^2 + \varepsilon + t_\beta \sqrt{\frac{2}{n-1}} (S_x^2 + \varepsilon) \right)$, где ε – точность оценки, t_β – аргумент функции Лапласа для доверительной вероятности β . Отсюда находим

$$n \geq \frac{2t_\beta^2 (S_x^2 + \varepsilon)^2}{\varepsilon^2} + 1. \tag{1}$$

В [Михин, 2016] рассмотрен метод построения доверительного интервала для дисперсии когда $n > 30$. Доверительный интервал имеет вид:

$$\left(\frac{(n-1)S_x^2}{(n-1) + t_\beta \sqrt{2(n-1)}}, \frac{(n-1)S_x^2}{(n-1) - t_\beta \sqrt{2(n-1)}} \right).$$

Тогда

$$|S_x^2 - \sigma_x^2| \leq \frac{2(n-1)S_x^2 t_\beta \sqrt{2(n-1)}}{(n-1)^2 - 2t_\beta^2(n-1)} = \frac{2S_x^2 t_\beta \sqrt{2(n-1)}}{n-1-2t_\beta^2} < \varepsilon.$$

Отсюда

$$n > \frac{8t_\beta^2 S_x^4}{\varepsilon^2} + 4t_\beta^2 - 0,52t_\beta^4 + 1. \tag{2}$$

Пусть, например, $\varepsilon = 0,01S_x^2$. Для $\beta = 0,9$ имеем $t_\beta^2 = 2,72$ и если N_1 – число опытов согласно первому методу, N_2 – согласно второму, то $\frac{1}{4}N_2 + 4,03 = N_1$. Следовательно, для этих данных предпочтительнее первый метод. При $\beta = 0,95$ и $t_\beta^2 = 3,84$ результат будет почти такой же, как и в первом случае, т. е. для этих данных предпочтительнее первый метод. Будем использовать первый метод.

Приведем алгоритм нахождения n , когда S_x не задано, и происходит итерационный процесс определения такого значения S_x , чтобы выполнялось неравенство (1).

Шаги алгоритма (назовем его Алгоритм 1).

1. Дано: $\alpha = 1 - \beta$, ε , n_0 , n_{\max} – максимально возможное в данной ситуации число экспертов.

2. Находим правую часть неравенства (1), когда $S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ и $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$. Для

этого рассматриваются оценки n_0 независимых экспертов.

3. Если полученная на шаге 2 правая часть (1) будет не меньше n_0 и не больше n_{\max} , то получаем оценку для числа экспертов n , удовлетворяющую неравенству: $n_0 \leq n \leq n_{\max}$. Переход на Конец.

4. Если правая часть (1) меньше, чем n_0 , то полагаем $n_0 = n_0 + 1$. Если при этом $n_0 \leq n_{\max}$, то переходим на шаг 2.

5. В противном случае надо уменьшать значения α и ε .

Рассмотрим нормально распределенную случайную величину $Y = X - \bar{x}$. При вычитании случайных величин вычитаются их математические ожидания. Поэтому $m[Y] = 0$.

Найдем $D[X - \bar{x}] = D[X] + D[\bar{x}] - 2K_{X, \bar{x}} = \begin{cases} \frac{n+1}{n} D_x, & \text{если } x \notin \{x_1, \dots, x_n\}, \\ D_x, & \text{если } x \in \{x_1, \dots, x_n\}. \end{cases}$

Тогда

$$f(y) = f(x - \bar{x}) = \begin{cases} \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{n+1} \sigma_x} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2 \cdot n}{2(n+1)\sigma_x^2}}, & \text{если } x \notin \{x_1, \dots, x_n\} \\ \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{n+2} \sigma_x} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2 \cdot n}{2(n+2)\sigma_x^2}}, & \text{если } x \in \{x_1, \dots, x_n\} \end{cases}. \quad (3)$$

Заметим, что $\sqrt{n} \approx \sqrt{n+2}$, $\sqrt{n} \approx \sqrt{n+1}$ с точностью 3,3 % при $n \geq 40$

Формула (3) при $n > n_0 = 40$ преобразуется в формулу

$$f_1(y) = f_1(x - \bar{x}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot S_x} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2S_x^2}}, \quad (4)$$

поскольку при этих значениях n с вероятностью $1 - \alpha$ с точностью ε $\sigma_x^2 \approx S_x^2$.

Одна из важных задач заключается в определении доли (процента) β возможных ошибок оценивания, заключенных в промежутке $(-b, b)$. Для этого, с учетом (4) при $n > n_0$, можно использовать формулу

$$P(-b < Y < b) = \Phi\left(\frac{b}{S_x}\right) = \beta. \quad (5)$$

Отсюда при заданных b и β определяется соответствующая S_x , и выносятся рекомендации по экспертизе. При известных b и S_x находится доля β , при заданных S_x и β находится граница b .

Относительная ошибка оценивания

При оценке ошибок экспертов важная роль отводится относительной ошибке оценивания, которую можно определить либо как $\delta = \frac{|x - \bar{x}|}{\bar{x}}$, либо через $\delta_1 = \frac{x - \bar{x}}{\bar{x}}$ (случай $\frac{\bar{x} - x}{x}$ симметричен δ_1).

Пусть $\delta = \frac{|x - \bar{x}|}{\bar{x}}$ – относительная ошибка. Если $\frac{|x - \bar{x}|}{\bar{x}} > 1$, то оценка x не согласована с \bar{x} , если $\frac{|x - \bar{x}|}{\bar{x}} \leq 1$, то x согласована с \bar{x} и тем лучше, чем меньше относительная ошибка.

Если δ составляет не более 3 %, то оценка x имеет повышенную точность, если δ находится в границах 3 % – 10 %, то это обычная точность, при значениях δ от 10 % до 20 % имеем приближенную оценку [Ганичева, 2017].

Рассмотрим в качестве относительной ошибки $\delta_1 = \frac{x - \bar{x}}{\bar{x}}$. Это значение случайной величины Δ_1 , представленной отношением величин $Y = X - \bar{x}$ и $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, которые имеют нормальное распределение, причем $M[Y] = 0$, $M[\bar{x}] = m_x$, при $n > n_0$ с вероятностью $1 - \alpha$ и с точностью $\frac{\varepsilon}{n}$ $D[\bar{x}] \approx \frac{S_x^2}{n}$.

Неизвестное значение m_x можно заменить точечной оценкой \bar{x} , удовлетворяющей условию:

$$\bar{x} - \frac{S_x}{\sqrt{n}} t_{\beta, n-1} < m_x < \bar{x} + \frac{S_x}{\sqrt{n}} t_{\beta, n-1}, \tag{6}$$

где $t_{\beta, n-1}$ – аргумент функции Стьюдента $\theta(t, k)$ такой, что $\theta(t_{\beta, n-1}, n-1) = \beta = 1 - \alpha$ и

$$n \geq n_1 = \max \left\{ n_0, \frac{S_x^2 t_{\beta, n_0-1}^2}{\varepsilon^2} \right\}. \tag{7}$$

Произведем разложение функции $Y_1 = \frac{1}{x}$ в ряд Тейлора в окрестности точки m_x , ограничиваясь тремя слагаемыми:

$$Y_1 = \frac{1}{m_x} - \frac{1}{(m_x)^2} \cdot (\bar{x} - m_x) + \frac{1}{(m_x)^3} \cdot (\bar{x} - m_x)^2. \tag{8}$$

Погрешность такого представления равна остаточному члену $R_2(\bar{x})$ ряда Тейлора, причем $|R_2(\bar{x})| = \frac{1}{2\xi^4} (\bar{x} - m_x)^3$, ξ заключено между \bar{x} и m_x . Из (6) вытекает, что при $n > n_1$ \bar{x} отличается от m_x не более, чем на ε , с вероятностью $\beta = 1 - \alpha$. Поэтому $R_2(\bar{x})$ будет сравнительно небольшим. Пусть $e = m_x$, если $\xi \geq m_x$, $e = m_x - \alpha$, если $m_x \geq \xi$.

Из формулы (8) с точностью $M[R_2(\bar{x})] \leq M\left[\frac{1}{2\xi^4} \cdot \varepsilon^3\right] = \frac{1}{2} \varepsilon^3 M\left[\frac{1}{\xi^4}\right] < \varepsilon^3 / e^4$ найдем

$$m_{y_1} = \frac{1}{m_x} + \frac{1}{(m_x)^3} \cdot D_x. \tag{9}$$

По определению, $\Delta_1 = Y \cdot Y_1$, или $\delta_1 = y \cdot y_1$.

Разлагая функцию δ_1 в ряд Тейлора в окрестности точки (m_y, m_{y_1}) получим:

$$\delta_1 = m_y \cdot m_{y_1} + m_{y_1} \cdot (y - m_y) + m_y \cdot (y_1 - m_{y_1}).$$

Данное представление δ_1 является точным, т. к. все частные производные высших порядков равны нулю.

Поскольку $m_y = 0$, с учетом (9) находим

$$\delta_1 = m_{y_1} \cdot y = \left(\frac{1}{m_x} + \frac{1}{(m_x)^3} \cdot D_x \right) y. \tag{10}$$

Отсюда следует, что δ_1 имеет нормальное распределение, причем

$$m_{\delta_1} = \left(\frac{1}{m_x} + \frac{1}{(m_x)^3} \cdot D_x \right) \cdot m_y = 0, \tag{11}$$

$$D_{\delta_1} = \left(\frac{1}{m_x} + \frac{1}{(m_x)^3} \cdot D_x \right)^2 \cdot D_y \approx \left(\frac{1}{m_x} + \frac{1}{(m_x)^3} \cdot D_x \right)^2 \cdot S_x^2. \tag{12}$$

Равенство (12) получено с учетом (9) и выполняется с точностью $\left(\frac{1}{m_x} + \frac{1}{(m_x)^3} D_x \right)^2 \cdot \varepsilon$

при $n > n_1$.

Значение m_x оценивается по указанному выше способу.

С учетом того, что $D_x \approx \frac{1}{n} S_x^2$ с точностью до $\frac{\varepsilon}{n}$, из (10) по правилу отыскания плотности распределения монотонной функции находим

$$f_2(\delta_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot S_x \cdot c} e^{-\frac{(\delta_1)^2}{2S_x^2 c^2}}, \tag{13}$$

где

$$c = \frac{1}{m_x} + \frac{1}{(m_x)^3} \cdot \frac{S_x^2}{n}. \tag{14}$$

Тогда

$$P(-d < \delta_1 < d) = \Phi\left(\frac{d}{S_x \cdot c}\right). \tag{15}$$

Итак, формулы (10)–(13), (15) дают достаточно точное значение, соответственно, относительной ошибки оценивания, её среднего значения, разброса, плотности распределения и вероятности попадания на участок $(-d, d)$.

Приведем алгоритм решения данных задач.

1. Сначала применяется Алгоритм 1. Если заканчивается переходом на Конец, то переход на шаг 2.

2. Вычисляется n_1 по формуле (7) для числа шагов n_0 , полученного при завершении Алгоритма 1.

3. Если n_1 не меньше, чем n_0 , то $n \geq n_1$. Переход на 4.

В противном случае полагаем $n_1 = n_1 + 1$ и переходим на шаг 2 Алгоритма 1.

4. Расчет разброса относительной ошибки оценивания.

4.1. Сначала вычисляем «с» по формуле (14).

4.2. Используем правую часть (14) для $n = n_1$.

5. Расчет вероятности попадания относительной ошибки в интервал $(-d, d)$, где d – задано.

5.1. Вычисляется «с» по формуле (14).

5.2. Вычисляется значение функции Лапласа в точке $\frac{d}{S_x c}$.

Точность оценки m факторов

Рассмотрена точность оценки применительно к одному фактору. В случае m факторов B_1, B_2, \dots, B_m вместо \bar{x} будет рассматриваться вектор $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m)$. Рассматривается вектор оценок $\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ и вектор оценок ошибок $\bar{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$ нормально распределенных случайных величин Y_1, Y_2, \dots, Y_m , где $Y_j = X_j - \bar{x}_j, j = \overline{1, m}$, x_{ij} – оценка j -го фактора i -ым экспертом, $\bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij}$. Вероятность β определяется как вероятность выполнения совместных условий: $-b_i \leq Y_i \leq b_i (i = \overline{1, m})$.

Точность целесообразно вычислять для каждой координаты.

Будем считать координаты вектора \bar{Y} независимыми нормально распределенными величинами. Тогда распределение вектора \bar{Y} запишется в виде:

$$f(\bar{Y}) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} \prod_{j=1}^m S_{x_j}} e^{-\sum_{j=1}^m \frac{(x_j - \bar{x}_j)^2}{2 S_{x_j}^2}}, \quad (16)$$

здесь $S_{x_i}^2 \approx \sigma_{x_i}^2$ с точностью до ε и число экспертов $n > n_1$. Вероятность того, что будут выполняться совместные условия $0 \leq Y_1 \leq b_1, \dots, 0 \leq Y_m \leq b_m$, запишется в виде:

$$P((-b_1 \leq Y_1 < b_1)(-b_2 \leq Y_2 < b_2) \dots (-b_m \leq Y_m < b_m)) = \prod_{j=1}^m \Phi\left(\frac{b_j}{S_{x_j}}\right) = \beta. \quad (17)$$

Формула (17) дает возможность при заданных β, b_j корректировать значение $S_{x_j} (j = \overline{1, m})$. Например, если $\beta = 0,9, m = 30, b_j = 0,1$ для всех $i = \overline{1, m}$ и все S_{x_j} равны

между собой, то $0,9 = \left[\Phi\left(\frac{0,1}{S_{x_1}}\right) \right]^{30}$. Отсюда $\frac{0,1}{S_{x_1}} \approx 5$ и $S_{x_1} = \frac{0,1}{5} = 0,02$, т. е.

$$\frac{1}{29} \sum_{i=1}^{30} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 = 0,02 \text{ для любого } j = \overline{1, 30}.$$

Заключение

Разработка надежных и качественных методов коллективных решений является актуальным направлением современных исследований. Разработанный метод определения характеристик коллективного решения экспертов позволяет:

- 1) рассчитывать числовые характеристики ошибок оценивания (среднее значение и дисперсию);
- 2) вычислять относительную ошибку оценивания и определять ее характеристики;
- 3) определять точность оценки нескольких факторов (параметры вектора оценок и вектора ошибок).

Перспективными направлениями применения групповых экспертных оценок являются, прежде всего, инженерный бизнес, менеджмент, экономика, социология, экология, планирование производства продукции, прогнозирование, нормирование труда, научные и технические исследования и т. д. [Орлов, 2011]. Дальнейшие направления исследований связаны с объектами нечисловой природы, учетом неопределенности [Chakraborty, 2001] и нечеткости [Yu, Park, 2000] экспертных заключений.

Список литературы

1. Вентцель Е.С. 2018. Теория вероятностей. М., ЮСТИЦИЯ, 658.
2. Ганичева А.В. 2017. Математика для юристов. СПб., «Лань», 204.
3. Данелян Т.Я. 2015. Формальные методы экспертных оценок. Экономика, статистика и информатика. 1, 183–187.
4. Кошевой О.С., Голосова Е.С., Сеидов Ш.Г. 2012. Организация экспертного опроса с привлечением специалистов органов государственного и муниципального управления. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. 1 (21): 98–107.
5. Крянев А.В., Семенов С.С. 2013. К вопросу о качестве и надежности экспертных оценок при определении технического уровня сложных систем. Надежность. (4): 90–109.
6. Михалева О.А., Подвесовский А.Г. 2019. Модели и алгоритмы обработки результатов групповой экспертизы в распределенной среде. Информационные системы и технологии. 6 (116): 30–38.
7. Михин М.Н. 2016. Математическая статистика. М., МИРЭА, 60.
8. Орлов А.И. 2011. Организационно-экономическое моделирование: учебник: в 3 ч. Ч. 2: Экспертные оценки. М. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 486.
9. Попов Г.А., Попова Е.А., Попова М.Г. 2016. Альтернативный вариант оценки значимости результатов экспертного оценивания в методе строгого ранжирования. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. (4): 109–117.
10. Рупосов В.Л. 2015. Методы определения количества экспертов. Вестник ИргТУ. 3 (98): 286–292.
11. Слепцова М.В. 2015. Определение оптимального числа экспертов для проведения экспертизы в области непрерывного технологического образования. Известия ВГПУ. Педагогические науки. 4 (269): 21–23.
12. Халафян А.А., Темердашев З.А., Якуба Ю.Ф., Гугучкина Т.И. 2016. Использование многомерного анализа для итоговой оценки результатов экспертных оценок. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 82 (10): 71–77.
13. Халикова К.С., Рыжкова С.К. 2016. Оценка влияния факторов на основе когнитивного моделирования и экспертной оценки. Гуманитарные научные исследования. 2 (54): 300–303.
14. Chakraborty D. 2001. Structural quantization of vagueness in linguistic expert opinions in an evaluation programme. Fuzzy Sets and Systems. 119 (1): 171–186.
15. Cojocariu A., Munteanu A., Sofran O. 2005. Verification, Validation and Evaluation of Expert Systems in Order to Develop a Safe in the Process of Decision Making, Computational Economics 0510002, EconWPA: 98–106.
16. Kirichek A., Morozova A. 2018. Review as a procedure of expert evaluation of the quality of scientific articles Article (PDF Available) in Ergodesign: 3–7.
17. Turban E., Aronson J.E. 2000. Decision Support and Intelligent Systems, 6th edn. Prentice Hall, New Jersey, 960.
18. Velychko O.M., Gordiyenko T.B., Kolomiets L.V. 2014. Methodology of expert estimation taking into account the expert's competence. Metallurgical and Mining Industry. 5 (290): 106–111.
19. Yang C., Kose S., Phan S., Kuo P. 2000. A Simulation-based Procedure for Expert System Evaluation. In: Proceedings of the IEA/AIE 13th International Conference, New Orleans (June 19–22): 149–160.
20. Yu D., Park W.S. 2000. Combination and evaluation of expert opinions characterized in terms of fuzzy probabilities Annals of Nuclear Energy. 27 (8): 713–726.

References

1. Venttsel' E.S. 2018. Teoriya veroyatnostey [Probability theory]. Moscow, YUSTITSIYA, 658 p.
2. Ganicheva A.V. 2017. Matematika dlya yuristov [Math for lawyers]. Saint Petersburg, «Lan'», 204 p.
3. Danelyan T.YA. 2015. Formal'nyye metody ekspertnykh otsenok [Formal methods of expert evaluations]. *Ekonomika, statistika i informatika*, 1: 183-187.
4. Koshevoy O.S., Golosova E.S., Seidov SH.G. 2012. Organizatsiya ekspertnogo oprosa s privilecheniyem spetsialistov organov gosudarstvennogo i munitsipal'nogo upravleniya [Organization of an expert survey with the involvement of specialists from state and municipal authorities]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Obshchestvennyye nauki*, 1 (21): 98 -107.
5. Kryanov A.V., Semenov S.S. 2013. K voprosu o kachestve i nadezhnosti ekspertnykh otsenok pri opredelenii tekhnicheskogo urovnya slozhnykh system [Organization of an expert survey with the involvement of specialists from state and municipal authorities]. *Nadezhnost'*, 4: 90-109.
6. Mikhaleva O.A., Podvesovskiy A.G. 2019. Modeli i algoritmy obrabotki rezul'tatov gruppovoy ekspertizy v raspredelennoy srede [Models and algorithms for processing group examination results in a distributed environment]. *Informatsionnyye sistemy i tekhnologii*, 6 (116): 30-38.
7. Mikhin M.N. 2016. Matematicheskaya statistika [Mathematical statistics]. Moscow, MIREA, 60 p.
8. Orlov A.I. 2011. Organizatsionno-ekonomicheskoye modelirovaniye: uchebnik: v 3 ch. CH. 2: Ekspertnyye otsenki [Organizational and economic modeling: textbook: in 3 p. P. 2: Expert assessments]. Moscow, Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 486 p.
9. Popov G.A., Popova E.A., Popova M.G. 2016. Al'ternativnyy variant otsenki znachimosti rezul'tatov ekspertnogo otsenivaniya v metode strogogo ranzhirovaniya [An alternative way to assess the significance of the results of expert evaluation in the strict ranking method]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravleniye, vychislitel'naya tekhnika i informatika*, 4: 109-117.
10. Ruposov V.L. 2015. Metody opredeleniya kolichestva ekspertov [Methods for determining the number of experts]. *Vestnik IrGTU*, 3 (98): 286-292.
11. Sleptsova M.V. 2015. Opredeleniye optimal'nogo chisla ekspertov dlya provedeniya ekspertizy v oblasti nepreryvnogo tekhnologicheskogo obrazovaniya [Determination of the optimal number of experts to conduct expertise in the field of continuing technological education]. *Izvestiya VGPU. Pedagogicheskiye nauki*, 4 (269): 21-23.
12. Khalafyan A.A., Temerdashev Z.A., Yakuba YU.F., Guguchkina T.I. 2016. Ispol'zovaniye mnogomernogo analiza dlya itogovoy otsenki rezul'tatov ekspertnykh otsenok [Using multivariate analysis for the final evaluation of the results of expert evaluations]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 82 (10): 71-77.
13. Khalikova K.S., Ryzhkova S.K. 2016. Otsenka vliyaniya faktorov na osnove kognitivnogo modelirovaniya i ekspertnoy otsenki. *Gumanitarnyye nauchnyye issledovaniya*. 2 (54): 300-303.
14. Chakraborty D. 2001. Structural quantization of vagueness in linguistic expert opinions in an evaluation programme. *Fuzzy Sets and Systems*, 119 (1): 171-186.
15. Cojocariu A., Munteanu A., Sofran O. 2005. Verification, Validation and Evaluation of Expert Systems in Order to Develop a Safe in the Process of Decision Making, *Computational Economics* 0510002, EconWPA: 98-106.
16. Kirichek A., Morozova A. 2018. Review as a procedure of expert evaluation of the quality of scientific articles Article (PDF Available) in *Ergodesign*: 3-7.
17. Turban E., Aronson J.E. 2000. *Decision Support and Intelligent Systems*, 6th edn. Prentice Hall, New Jersey, 960.
18. Velychko O.M., Gordiyenko T.B., Kolomiets L.V. 2014. Methodology of expert estimation taking into account the expert's competence. *Metallurgical and Mining Industry*, 5 (290): 106-111.
19. Yang C., Kose S., Phan S., Kuo P. 2000. A Simulation-based Procedure for Expert System Evaluation. In: *Proceedings of the IEA/AIE 13th International Conference, New Orleans (June 19-22)*: 149-160.
20. Yu D., Park W.S. 2000. Combination and evaluation of expert opinions characterized in terms of fuzzy probabilities. *Annals of Nuclear Energy*, 27 (8): 713-726.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ганичева Антонина Валериановна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физико-математических дисциплин и информационных технологий ФБГОУ ВО Тверская государственная сельскохозяйственная академия, г. Тверь, Россия

Ганичев Алексей Валерианович, доцент кафедры информатики и прикладной математики ФБГОУ ВО Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Antonina V. Ganicheva, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of «Physical and Mathematical Disciplines and Information Technologies» Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Tver «State Agricultural Academy», Tver, Russia

Alexey V. Ganichev, Associate Professor of «Informatics and Applied Mathematics» Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Tver State Technical University, Tver, Russia

УДК 681.3.001.2

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-583-599

Метод синтеза формирователя тестовой последовательности с перестраиваемыми параметрами, основанный на представлении логических функций в обобщенной форме

В.Г. Рубанов, Е.Н. Коробкова, О.В. Луценко

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
E-mail: tk.bstu@gmail.com

Аннотация

Предложен метод синтеза формирователя тестовых сигналов с перестраиваемыми временными параметрами тестового контента в зависимости от необходимости изменения глубины контроля в процессе оценки технического состояния синтезируемого цифрового автомата. Используется представление логических функций в обобщенной форме, когда рассматривается более широкая трактовка основной теоремы алгебры логики, предполагающая введение дополнительных переменных, кроме нуля и единицы, которые могут приобретать значения функции в точках её области определения. Излагается методика синтеза структуры цифрового автомата, генерирующего тестовую периодическую посылку, заданной конфигурации. Иллюстрация методики проведена на версии алгоритма нахождения кодов настройки на заданный режим, пригодной для программной реализации. Приведен пример, демонстрирующий реализацию заданного теста с произвольной конфигурацией.

Ключевые слова: работоспособность, контроль, диагностика, тестовый контент, формирователь, цифровой автомат, настроечные переменные, обобщенная логическая функция, минтермы, литералы, импликанты.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2019-070 от 29.11.2019 г.

Для цитирования: Рубанов В.Г., Коробкова Е.Н., Луценко О.В. 2020. Метод синтеза формирователя тестовой последовательности с перестраиваемыми параметрами, основанный на представлении логических функций в обобщенной форме. Экономика. Информатика. 47 (3): 583–599. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-583-599.

Synthesis method for a test sequence generator with tunable parameters, based on the presentation of logical function in a generalized form

V.G. Rubanov, E.N. Korobkova, O.V. Lutsenko

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Russia, 46 st. Kostyukov, Belgorod, 308012, Russia
E-mail: tk.bstu@gmail.com

Abstract

Methods for the synthesis of test sequence generators as digital automata with restructured test content parameters are discussed in this article. Parameters of test content are restructured depending on the need to expand it in the process of monitoring the technical condition of a digital device. The synthesis technique of the structure of a digital automaton is described. This automaton generates a test set of a given configuration based on the presentation of logical functions in a generalized form. The analysis of restructuring options oriented to the use of a totalizing counter is carried out. Three versions of the algorithm for finding tuning codes for specified modes are considered. The complexity of the algorithms for finding tuning codes is estimated. It is shown that for all their simplicity they are cumbersome and therefore it is advisable to obtain

an algorithm that is executed in software. The illustration of the technique is carried out on one of the versions of the algorithm suitable for software implementation. An example is presented that demonstrates the implementation of the given tests with an arbitrary configuration.

Keywords: working capacity, control, diagnostics, test content, shaper, digital machine, tuning variables, generalized logic function, minterm, literal, implicants.

Acknowledgements: the work is executed at support of the grant: the Public contract project 03/19 from 03.09.2019 in the framework of agreement №075-11-2019-070 of 29.11.2019 (unique number 07519SU2000000).

For citation: Rubanov V.G., Korobkova E.N., Lutsenko O.V. 2020. Synthesis method for a test sequence generator with tunable parameters, based on the presentation of logical function in a generalized form. Economics. Information technologies. 47 (3): 583–599 (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-583-599.

Введение

Контроль работоспособности, т. е. выявление ошибок, и диагностика неисправных цепей СБИС являются важным этапом в производстве микросхем с точки зрения обеспечения их надежности. Неразрушающий контроль предполагает использование тестовых сигналов, обнаруживающих неисправности, причем в процессе испытаний часто необходимо создавать дополнительные тестовые наборы [Sarmad et al., 2016]. Известно достаточно много методов не только обнаружения ошибок, но и диагностики неисправностей [Desineni et al., 2006; Lin et al., 2008; Wang, Wei, 2009; Yu, Blanton, 2012; Xue et al., 2013; Riefert et al., 2015], в которых используют генерацию тестовых шаблонов, применяемых к чипам, а затем с помощью контролирующего оборудования получают отклики, представляющие журнал ошибок (FL). Если для пары неисправностей не существует отличительного теста, то они называются неразличимыми [Amyeen et al., 2016]. Для обнаружения функционально-эквивалентных неисправностей, т. е. неразличимых пар неисправностей, в работах [Pomeranz, 2012; Li et al., 2015] было предложено вводить дополнительные контрольные точки в схеме. Авторы статьи [Wu et al., 2018] предлагают идентифицировать характер и место функционально-эквивалентной неисправности за счет использования избыточных элементов в схеме. Кроме того, в этой статье отмечается, что применяемые дополнительные тесты с логикой восстановления позволяют различать ошибки в подмножествах из более чем двух ошибок, что улучшает диагностическое разрешение.

В [Medina et al., 1990; Mahlstedt, Koopmeiners, 1991; Bartenstein, 2000] АТПГ-инструмент приспособлен для генерации отличительного теста, а в [Bhatti, Blanton, 2006] обоснованы условия логической выполнимости (SAT) для различения произвольных ошибок. Наряду с указанными подходами для генерации тестов в последнее время предлагаются методы, основанные на обучении [Chandrasekar, Hsiao, 2009; Chandrasekar et al., 2010;], применении генетических алгоритмов [Corno et al., 1995; Girard et al., 1996; Bernardi, et al., 2008]. Для производственных условий интерес представляет новая методология, базирующаяся на последовательном выполнении процедуры диагноза [Amyeen et al., 2016], когда первичный тестовый набор предназначен для покрытия дефектов, не обеспечивая максимального диагностического решения, т. е. сначала генерируется детерминистическое содержание тестов, чтобы отличить подозреваемые узлы или линии, а затем генерируются дополнительные ориентированные тесты для дополнения контента.

Повышение сложности аппаратуры цифровых систем управления приводит к увеличению вероятности появления неисправностей в ней, что несомненно ведёт к дополнительным материальным затратам, предотвратить которые можно только путем использования известного контроля и диагностики [Wang, Wei, 2009] или разработка новых способов применения тестопригодного обеспечения, создаваемого на стадии проектирования систем и последующего их сервисного обслуживания при производстве и эксплуатации. Решение задач проектирования контрольно-диагностических тестов, алгоритмов контроля и

поиска дефектов неразрывно связано с вопросами моделирования контролируемых цифровых систем на функциональном, алгоритмическом и структурном уровнях.

Как видно из анализа работ, ряд методов контроля работоспособности и поиска неисправностей используют синхронные модели неисправного поведения, на чем строятся алгоритмы одиночного, параллельного, дедуктивного, совместного и кубического моделирования [Бондаренко и др., 2000], при этом последний из них считается наиболее эффективным. Его применение предполагает наличие табличной формы описания функциональных блоков или элементов с последующим определением частных, кратных или векторных булевых производных, которые характеризуют изменение значений функции $F(x)$ при изменении её аргументов по аналогии с классическим дифференциальным исчислением с одним существенным отличием, когда булева производная по переменной x_i не зависит от этой переменной, а классическая частная производная в общем случае зависит от неё [Рубанов, Коробкова, 2008]

Таким образом, анализируя различные подходы к осуществлению процедур контроля работоспособности и диагностики цифровых устройств, можно заметить, что в любом случае первичным устройством при генерировании тестирующих сигналов является формирователь тестов, причем последний должен обладать свойством широкой перестройки параметров тестовой посылки. Это свойство позволит осуществлять гибкую перестройку, расширяя при необходимости тестовый контент.

В настоящей работе предлагается подход к формированию тестового контента с гибкой перестройкой в соответствии с изменяемыми параметрами тестирующей последовательности.

Этот способ основан на синтезе структуры формирователя, использующем представление логических функций в обобщенной форме [Рубанов, Коробкова, 2008; Рубанов, Коробкова, 2009], когда трактовка основной теоремы алгебры логики (полного разложения Шеннона) трактуется в предположении, что функция принимает значение нуля или единицы в точках ее области определения, но также её значения могут быть и другими, например, a, b, c, \dots или функциям от них. Вводимое понятие обобщенной логической функции (ОЛФ) не является исключительно новым, поскольку к этому классу функций относятся функции алгебры логики, зависящие от логических переменных и принимающие значения переменных из того же множества, что и множество аргументов этих функций. Особенность предлагаемого понятия ОЛФ состоит только в специфике представления их и последующего преобразования, обеспечивающих возможность упрощения некоторых вопросов, связанных с анализом и синтезом цифровых устройств.

Каноническими представлениями традиционных логических функций являются совершенная дизъюнктивная нормальная форма (СДНФ) и совершенная конъюнктивная нормальная форма (СКНФ). Такие же понятия вводятся для обобщенных логических функций [Рубанов, Коробкова, 2008]. Отличие состоит в том, что в этом случае СДНФ в наиболее общем виде полного разложения Шеннона значения функции $f_i = \{0, 1, a, b, \dots\}$ будет содержать параметры (a, b, \dots) , являющиеся в свою очередь некоторыми зависимостями от других переменных.

Следует подчеркнуть, что в эту статью мы не включаем вопросы синтеза вида, т. е. конфигураций, диагностического теста для того или иного цифрового устройства, а ограничиваемся только способом реализации заданного теста аналитическими методами, позволяющими получать структуру формирователя.

Постановка задачи

Для типовых узлов устройств управления, построенных на микроконтроллерах, существуют тесты достаточной полноты, это позволяет в качестве исходной посылки считать, что форма тестового сигнала известна [Чжен и др., 1972; Бессонов и др., 1986; Горовой и др., 1990].

Целью работы является синтез структуры перестраиваемого формирователя тестов на основе обобщенных логических функций (ОЛФ), обеспечивающего обнаружение неисправности цифрового устройства при проведении контроля работоспособности и диагностики.

Анализ различных видов тестовых сигналов позволил в общем случае представить их в форме некоторой функции вида $F(\varepsilon, \tau, T, t)$, обладающей свойством периодичности с периодом T , уровнем импульсов 0 или 1 и изменяющейся задержкой ε , зависящей от контролируемой схемы. Структура синтезируемого формирователя должна обеспечивать изменение параметров функции F в процессе контроля, т. е. адаптацию к контролируемому устройству поэтапно в соответствии с процедурой контроля, которой и определяется тестовый контент на каждом этапе контроля.

Решение задачи на основе использования обобщенных логических функций

Вспомогательный сигнал, подаваемый на вход формирователя, представляет собой периодическую последовательность тактирующих импульсов, определяемую параметрами: T_0 – период, τ – длительность импульса. Если длительность импульса равна длительности паузы, т. е. $\tau = T_0/2$, то такую последовательность называют меандр. На выходе формирователя, представляющего собой цифровой автомат с перестраиваемыми параметрами тестовой последовательности, формируется также периодическая последовательность дискретных интервалов времени с периодом $T = kT_0$, где k – целое число. Тогда выходной сигнал формирователя можно представить в виде периодической функции времени как

$$F(\varepsilon, \tau, T, t) = F_{\varepsilon, \tau}^T(t), \quad (1)$$

где ε – величина задержки, т. е. отрезок времени между началом отсчета и моментом появления первого импульса.

Решение задачи синтеза цифрового автомата (ЦА) с перестраиваемой длительностью выходных параметров периодической последовательности можно осуществить как синтез автомата Мили, который может представлять собой известную схему на суммирующем или вычитающем счетчике с настройкой последнего на заданное число состояний, определяющее длину цикла проектируемого цифрового автомата с перестраиваемыми параметрами (ЦА ПП), кроме того можно использовать сдвигающие регистры с кольцевой обратной связью.

В связи с этим задача проектирования сводится к нахождению некоторых L последовательно идущих состояний из имеющихся k ($L < k$) для циклического устройства, которые бы обеспечивали формирование выходного сигнала и выбор значений кодов настройки.

Каждому из R вариантов настройки могут соответствовать любые L последовательно идущих состояний счетчика из k возможных. Тогда в каждом из R вариантов можно выбрать k подвариантов, отличающихся параметром периодической функции, например, началом и окончанием формирования выходного импульса в одном цикле, т. е. привязкой и размещением формируемого выходного импульса к конкретным состояниям циклического устройства. Даже при небольшом диапазоне перестройки формирователя тестов число всех возможных вариантов привязки, равное k^R , довольно велико. Кроме того, существует соответствие между вариантами настройки и наборами настроечных переменных, образующих минтермы. Число таких способов определяется числом перестановок.

Предлагается способ проектирования ЦА с перестраиваемой (программируемой) длительностью дискретных интервалов, обеспечивающий выбор оптимального варианта схемной реализации, базирующийся на представлении функции выхода в форме ОЛФ с зависимыми параметрами, значение первичных переменных этой функции определяется

состоянием триггеров, входящих в циклическое устройство, а параметрами её будут минтермы, определяющие какой-то из вариантов настройки.

Тогда первичные переменные, с одной стороны, можно трактовать как такты на оси автоматного времени, а с другой – как состояние циклического устройства (рис. 1). В качестве циклического устройства будем использовать, как отмечено выше, двоичные суммирующие или вычитающие счетчики.

Таким образом, функция выхода определяется взаимным положением виртуальных интервалов (импульсов) на оси автоматного времени, причем состояние счетчика связано с тактами переключений, а значение функции выхода в этих тактах отвечает логической сумме минтермов. Каждый вариант настройки определяется соответствующим минтермом.

Если в качестве циклического устройства используется двоичный суммирующий счетчик, а шаг перестройки длительности выходных интервалов во всем диапазоне принимается равным единице, то первый такт (начало формирования) интервалов четной кратности для всех вариантов настройки «привязывается» к одному и тому же четному состоянию счетчика – i , а в первый такт формирования интервалов нечетной кратности – к следующему (соседнему) нечетному состоянию суммирующего счётчика $(i + 1)$. При использовании вычитающих счетчиков первый такт формирования интервалов четной кратности для всех вариантов настройки «привязывается» к одному и тому же нечетному состоянию счетчика – j , а первый такт формирования интервалов нечетной кратности к следующему (соседнему) четному состоянию вычитающего счетчика $(j - 1)$.

Проиллюстрируем общие принципы оптимального построения для одного диапазона перестройки, которые можно распространить на любой другой диапазон.

На рис. 1 приведены виртуальные эпюры ЦА ПП. Здесь длина цикла является фиксированной и равна $k = 16$, шаг перестройки равен T , а диапазон перестройки лежит в пределах от T до $8T$.

Варианты настройки представлены каждый на отдельной оси автоматного времени виртуальными импульсами, обозначенными минтермами, образуемыми литералами настроечных переменных, определяющих режимы (варианты) настройки ЦА ПП. Ось автоматного времени для случая использования суммирующего счетчика $(i, i + 1, i + 2, \dots, i + 15)$ – обозначение сверху, где i – четное, соответственно разметка оси для вычитающего счетчика $(j, j - 1, \dots)$ – снизу.

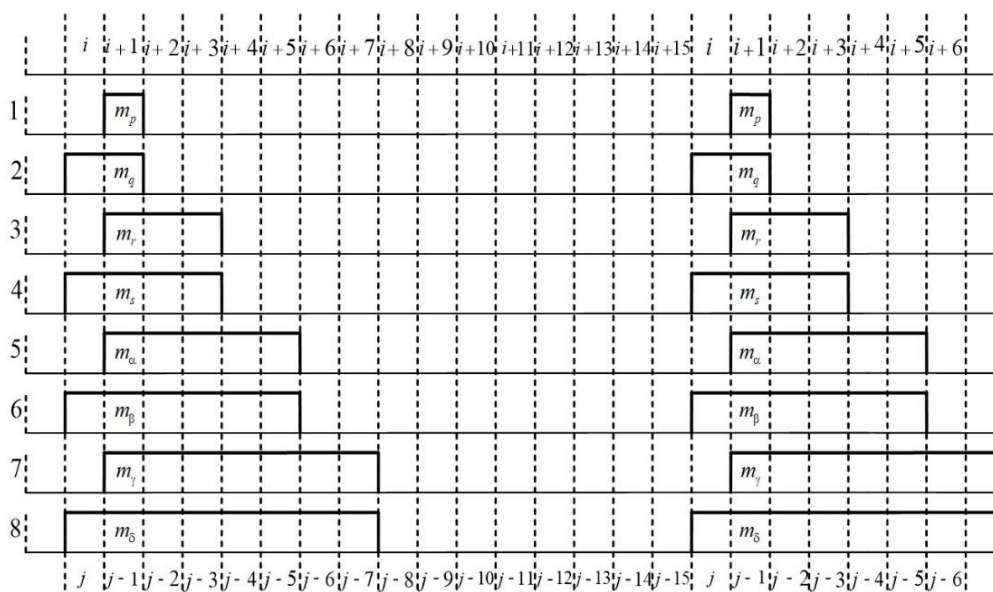


Рис. 1. Виртуальные эпюры способа размещения
Fig. 1. Virtual plots of the placement method

Минтерм m_p определяет (настраивает) формирование временных интервалов длительностью, равной длительности одного такта автоматного времени (T): $m_p - 2T; m_r - 3T; m_s - 4T; m_\alpha - 5T; m_\beta - 6T; m_\gamma - 7T; m_\delta - 8T$.

Возможен второй способ привязки, эпюры которого представляют собой зеркальное отображение первого.

Изучение виртуальных эпюр, соответствующих конкретным диапазонам перестройки, позволило установить некоторую общность, позволяющую распространить алгоритм привязки и размещения на самый общий случай с произвольно принятой размерностью диапазона перестройки с количеством настроечных переменных r . Так, если шаг перестройки совпадает с длительностью одного такта, то: количество минтермов и тактов равны и совпадают с количеством вариантов перестройки, равным 2^r ; число минтермов, определяющих функцию в i -м такте, меньше на 2, а в $(i + 1)$ -м такте оно также равно числу состояний счетчика, т. е. 2^r ; в каждой последующей паре тактов число минтермов уменьшается на два по отношению к предыдущей паре, тогда число минтермов, которые определяют функцию в последних двух тактах диапазона, равно двум.

Обозначим пары тактов i -й, и $(i + 1)$ -й как нулевую пару $p_0 = 0$; $(i + 2)$ -й и $(i + 3)$ -й такты – как первую пару – $p_1 = 0$; и т. д., и получим общую формулу, устанавливающую связь между числом минтермов N в каждой такой паре, числом настроечных переменных и номером пары:

$$N = 2^r - 2^p.$$

Представим теперь режимы настройки в картах с соседним кодированием. Предложенный подход к выделению общего массива состояний счетчика для всех вариантов настройки резко сокращает суммарное число импlicants, покрывающих все множество единичных значений функции выхода в целом.

Поскольку каждый такт автоматного времени и отвечающее ему состояние счетчика можно обозначить в виде некоторой точки области определения функции выхода, зависящей от состояния счетчика, а значение функции выхода ЦА ПП в этом такте, определяемое логической суммой минтермов, можно рассматривать как значение функции в этой точке, то функцию выхода в целом можно представить в форме функции с зависимыми параметрами, в частности в СДНФ:

$$F = \vee f_i \times K_i, \tag{2}$$

где K_i – минтермы, определяющие состояние счетчика, образуемые литералами выходных сигналов счетчика $\tilde{Q}_3\tilde{Q}_2\tilde{Q}_1\tilde{Q}_0$; f_i – значение функции на выходе, соответствующее i -му состоянию счетчика, определяемое логической суммой минтермов, образуемых настроечными переменными ($m_i = \tilde{a}_3\tilde{a}_2\tilde{a}_1\tilde{a}_{0i}$).

Для ЦА ПП с виртуальными эпюрами, показанными на рис. 1, значения функций в точках области определения находятся как:

$$\begin{aligned} f_i &= m_q \vee m_s \vee m_\beta \vee m_\delta; \\ f_{i+1} &= m_p \vee m_q \vee m_r \vee m_s \vee m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta = 1; \\ f_{i+2} &= m_r \vee m_s \vee m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta; \\ f_{i+3} &= m_r \vee m_s \vee m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta; \\ f_{i+4} &= m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta; \\ f_{i+5} &= m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta; \\ f_{i+6} &= m_\gamma \vee m_\delta; \\ f_{i+7} &= m_\gamma \vee m_\delta. \end{aligned}$$

В практике проектирования более рационально представлять функцию выхода в форме минимальной ДНФ, сложность которой зависит от привязки формируемых интервалов к состояниям циклического устройства. Возникает проблема нахождения оптимального варианта привязки, обеспечивающего минимально возможный вариант минимальной ДНФ.

Анализ размещения каждого варианта настройки предлагаем проводить в карте с соседним кодированием, где координаты клеток отождествляются с состояниями счетчика, а значения функции в них представлены логической суммой минтермов (f_i) или нулем в зависимости от значений, имеющих место в соответствующих тактах оси автоматного времени.

Расстановку ненулевых значений функции (логических сумм минтермов) можно начинать с любых четных номеров клеток (для схемы, выполненной на суммирующем счетчике). Это даёт возможность выбрать такое положение начальной точки формирования временных интервалов для всех вариантов настройки, которому будет соответствовать массив клеток, содержащих логические суммы минтермов, покрываемый минимально возможным числом правильных конфигураций максимально возможной площади. Следовательно, возникает возможность формирования массива, путем выполнения требования минимально возможного покрытия выделенных групп логических сумм минтермов с последующим оптимальным их кодированием.

Под оптимальным подразумевается такое кодирование, при котором логической сумме некоторой группы минтермов, образованных литералами настроечных переменных, будет соответствовать тот или другой литерал одной из них. Если число настроечных переменных равно r , то, как было отмечено выше, общее число минтермов равно 2^r . Множество этих минтермов M можно представить в виде r толерантных подмножеств: $P_1 \subset M, P_2 \subset M, \dots, P_r \subset M$.

Отношение толерантности представляет собой экспликацию интуитивных представлений о сходстве и неразличимости. В нашем случае каждое подмножество неразлично само с собой, а сходство двух подмножеств не зависит от того, в каком порядке они рассматриваются.

Отношение толерантности на множестве подмножеств P должно удовлетворять не только рефлексивности и симметричности, но и транзитивности, т. е. все подмножества сходны между собой. Толерантность задаем тремя основными отношениями (условиями): каждое подмножество содержит 2^{r-1} минтермов; два любых произвольно выбранных подмножества из множества P содержат 2^{r-2} общих минтермов; минтермы, входящие в каждое подмножество, взаимно-соседние.

Таким образом, справедливо утверждение, что каждому из r подмножеств существует его дополнение, имеющее 2^{r-1} минтермов из множества M , которые не вошли в исходное подмножество:

$$\bar{P}_1 = M \setminus P_1; \bar{P}_2 = M \setminus P_2; \dots; \bar{P}_r = M \setminus P_r. \quad (3)$$

В результате получаем еще r подмножеств, определенных теми же самыми отношениями толерантности. Более того, каждое из прямых исходных подмножеств толерантно к любому инверсному подмножеству кроме собственного дополнения и наоборот. В соответствии с приведенными выше условиями толерантности можно утверждать: логической сумме минтермов, образующих каждое из подмножеств, отвечает литерал, отличный от других; логическим суммам минтермов, входящих в подмножество P_i и инверсное ему подмножество \bar{P}_i отвечает литерал \tilde{a}_k , и его инверсное значение соответственно.

Эти положения позволяют формировать группы минтермов, образующих правильные конфигурации максимально возможной площади, которым соответствуют импликанты минимально возможного ранга, и осуществлять оптимальное кодирование этих групп.

Анализ всевозможных вариантов представления заданного диапазона перестройки в картах с последующим нахождением минимальной ДНФ функции выхода для разных вариантов привязки начала формирования посылки осуществим на примере синтеза ЦА ПП с фиксированной длительностью цикла $k = 16$, шагом перестройки длительности интервалов, равным периоду следования входного меандра T , в диапазоне перестройки от одного до восьми тактов $(T - 8T)$.

Будем ориентироваться на применение в качестве базового элемента – суммирующего счетчика. Привязка осуществляется к одному и тому же четному состоянию счетчика (i) для интервалов четной кратности, а нечетной кратности – к состоянию $(i + 1)$. Отсюда следует, что число вариантов привязки равно восьми, а именно $i = 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14$. На рис. 2 приведены варианты размещения с привязкой интервалов чётной кратности к нулевому состоянию счетчика, а нечётной к единичному. Как видно, функция выхода будет минимальна, если при кодировании минтермов, когда логическая сумма четырех минтермов, образованных литералами настроечных переменных $\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \tilde{a}_2$, будет представлять собой тот или другой литерал одной из настроечных переменных, т. е. будут выполнены условия смежности в группах: $m_q, m_s, m_\beta, m_\delta$; $m_r, m_s, m_\gamma, m_\delta$; $m_\alpha, m_\beta, m_\gamma, m_\delta$; m_γ, m_δ .

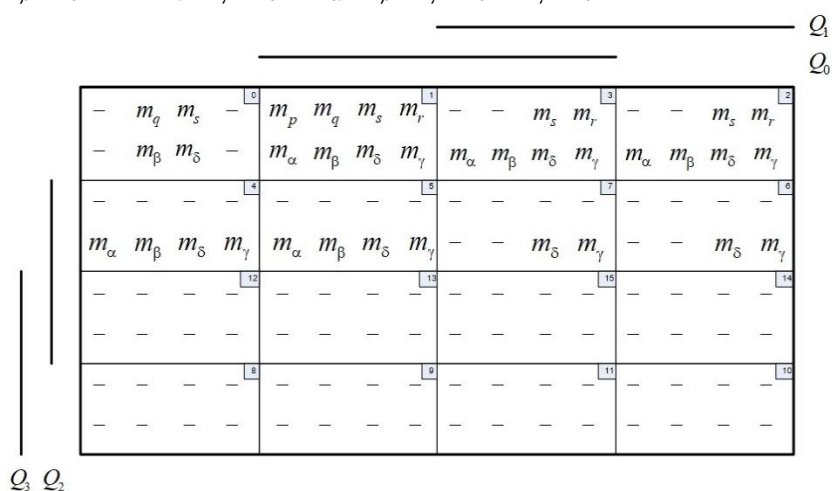


Рис. 2. Вариант рассматриваемой привязки и размещения
 Fig. 2. Variant of the considered binding and placement

$$\begin{aligned}
 m_q \vee m_s \vee m_\beta \vee m_\delta &= \tilde{a}_i; \\
 m_r \vee m_s \vee m_\gamma \vee m_\delta &= \tilde{a}_k; \\
 m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta &= \tilde{a}_j.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Тогда логическая сумма двух соседних минтермов $m_\gamma \vee m_\delta$ представима в виде произведения второго ранга, образованного литералами \tilde{a}_k и \tilde{a}_j , что при подстановке соответствующих логических сумм из (4) приведет к выражению: $\tilde{a}_j \times \tilde{a}_k = (m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta) \times (m_r \vee m_s \vee m_\gamma \vee m_\delta)$. Так как произведение разнотипных минтермов $m_a \times m_b$ при $(a \neq b)$, образуемых литералами одних и тех же переменных, тождественно равно нулю, то при выполнении операции перемножения произведения всех сомножителей, кроме $m_\gamma \times m_\gamma = m_\gamma$ и $m_\delta \times m_\delta = m_\delta$, будут равны нулю, что дает окончательный результат $\tilde{a}_j \times \tilde{a}_k = m_\delta \vee m_\gamma$.

Учет условий смежности позволяет каждую логическую сумму четырёх минтермов, отвечающих правильным конфигурациям, образуемых соседними клетками карты, покрыть

как один независимый параметр $(\tilde{a}_i, \tilde{a}_k, \tilde{a}_j)$, а логическую сумму $m_\delta \vee m_\gamma$ – как произведение независимых параметров $\tilde{a}_j \times \tilde{a}_k$.

Заменив логические суммы выделенных групп минтермов литералами соответствующих переменных и произведением литералов $\tilde{a}_j \times \tilde{a}_k$, можно упростить процесс выделения правильных конфигураций путем преобразования карты, изображенной на рис. 3.

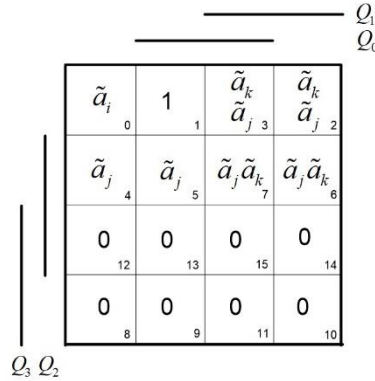


Рис. 3. Преобразованная карта первого варианта привязки и размещения
 Fig. 3. The converted map of the first anchor and placement option

Представим номера клеток с правильными конфигурациями и соответствующие им простые импликанты для рассматриваемого варианта привязки (рис. 2) в форме:

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle 1 \rangle - \overline{Q_3} \overline{Q_2} \overline{Q_1} Q_0; \\ \langle 0,1 \rangle - (m_q \vee m_s \vee m_\beta \vee m_\delta) \overline{Q_3} \overline{Q_2} \overline{Q_1} = \tilde{a}_i \overline{Q_3} \overline{Q_2} \overline{Q_1}; \\ \langle 2,3 \rangle - (m_r \vee m_s \vee m_\gamma \vee m_\delta) \overline{Q_3} \overline{Q_2} Q_1 = \tilde{a}_k \overline{Q_3} \overline{Q_2} Q_1; \\ \langle 2,3 \rangle - (m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta) \overline{Q_3} \overline{Q_2} Q_1 = \tilde{a}_j \overline{Q_3} \overline{Q_2} Q_1; \\ \langle 4,5 \rangle - (m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta) \overline{Q_3} Q_2 \overline{Q_1} = \tilde{a}_j \overline{Q_3} Q_2 \overline{Q_1}; \\ \langle 2,3,6,7 \rangle - (m_\gamma \vee m_\delta) \overline{Q_3} Q_1 = \tilde{a}_j \times \tilde{a}_k \overline{Q_3} Q_1 \end{array} \right. \quad (5)$$

Аналогично были рассмотрены все восемь вариантов привязки и размещения. Далее проводится сравнение простых импликант для каждого варианта размещения, и определяются минимальные по Квайну импликанты. В свою очередь выбранные оптимальные по размещению варианты разделим на подварианты, отличающиеся кодированием минтермов.

При кодировании минтермов следует исходить как из условий толерантности в подмножествах минтермов, так и из условия реализации выходной функции с минимальным числом дополнительных инверторов при разработке и создании схемы ЦА ПП на типовых микросхемах счётчиков.

Для установления характера кодирования вариантов настройки схемы, выполненной на суммирующем счётчике, запишем минимальную ДНФ функции выхода для выбранного варианта привязки и размещения, выполнив операцию логического сложения простых импликант этого варианта

$$F = Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 \vee \tilde{a}_i \overline{Q_3} \overline{Q_2} \overline{Q_1} \vee \tilde{a}_k \overline{Q_3} \overline{Q_2} Q_1 \vee \tilde{a}_j \overline{Q_3} \overline{Q_2} Q_1 \vee \tilde{a}_j \overline{Q_3} Q_2 \overline{Q_1} \vee \tilde{a}_i \times \tilde{a}_k \overline{Q_3} Q_1. \quad (6)$$

Нетрудно заметить, что выражение (6) можно привести к безинверсной форме путем выбора определенным образом литералов настроечных переменных: $\tilde{a}_i = a_i$, $\tilde{a}_k = \bar{a}_k$, $\tilde{a}_j = \bar{a}_j$. Тогда функцию выхода для схемы, реализованной на суммирующем счетчике, можно описать как:

$$F = P_4 \vee a_i Q_3 Q_2 Q_1 \vee \bar{a}_k \overline{Q_3} \overline{Q_2} \overline{Q_1} \vee \bar{a}_j \overline{Q_3} \overline{Q_2} Q_1 \vee \bar{a}_i \times \bar{a}_k \overline{Q_3} Q_1,$$

а преобразуя её по правилу де Моргана, получим безинверсную форму:

$$F = P_4 \vee a_i Q_3 Q_2 Q_1 \vee a_k \vee Q_3 \vee Q_2 \vee Q_1 \vee a_j \vee Q_3 \vee Q_2 \vee a_i \vee a_k \vee Q_3 \vee Q_1, \quad (7)$$

где P_4 – представляет собой функцию переноса суммирующего счетчика.

Так как аргументы a_i, a_k, a_j являются элементами множества настроечных переменных $\{a_2, a_1, a_0\}$, то количество вариантов оптимального кодирования (табл. 1), приводящих к нахождению функции выхода в безинверсной форме, будет равно числу перестановок из трех.

Таблица 1
Table 1

Варианты оптимального кодирования
Optimal coding options

	1	2	3	4	5	6
\tilde{a}_i	a_0	a_0	a_1	a_1	a_2	a_2
\tilde{a}_k	\bar{a}_1	\bar{a}_2	\bar{a}_0	\bar{a}_0	\bar{a}_0	\bar{a}_1
\tilde{a}_j	\bar{a}_2	\bar{a}_1	\bar{a}_2	\bar{a}_2	\bar{a}_1	\bar{a}_0

Алгоритм нахождения кодов настройки на заданные режимы формируется на основании индексов минтермов (от p до δ), равных десятичному эквиваленту этого кода. Были рассмотрены три версии алгоритма. С целью сокращения объема проиллюстрируем методику на одной из версий алгоритма, развивая ее до версии, пригодной для программной реализации.

В основу этой версии алгоритма положено свойство толерантности подмножеств P_0, P_1, P_2 , сформулированное выше, и общее свойство минтермов, согласно которому произведение разнотипных минтермов, образуемых литералами одних и тех же переменных, тождественно равно нулю.

Приведенные свойства позволяют определить индексы любого из минтермов (от m_p до m_δ), а значит, и коды настройки, рассматривая каждый минтерм, образуемый литералами настроечных переменных (от $m_0 = \bar{a}_2 \bar{a}_1 \bar{a}_0$ до $m_7 = a_2 a_1 a_0$), в виде произведения логических сумм выделенных групп (или отрицаний). При умножении не равными нулю будут только произведения, где сомножители являются однотипными минтермами – $m_i \times m_i \times m_i$, следовательно, для нахождения такого произведения достаточно рассмотреть логические суммы в каждой из трех скобок и установить наличие в них минтермов с одинаковыми индексами, что и определяет значение произведения.

Осуществим кодирование минтермов для схемы, выполненной на суммирующем счетчике. Алгоритм идентичен для любого из шести вариантов кодирования, приведенных в таблице 1, поэтому проанализируем только один вариант, для которого: $\tilde{a}_i = a_0 = m_q \vee m_s \vee m_\beta \vee m_\delta$; $\tilde{a}_k = \bar{a}_1 = m_r \vee m_s \vee m_\gamma \vee m_\delta$; $\tilde{a}_j = \bar{a}_2 = m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta$. Поскольку для представления всех минтермов, образуемых литералами трех настроечных переменных, требуются как прямые, так и их инверсные значения, то прежде всего необходимо записать недостающие три (\bar{a}_0, a_1, a_2) , выполняя операцию инверсии над соответствующими литералами. При выполнении этой операции используем одно из свойств множества минтермов от одних и тех же переменных, заключающееся в том, что инверсия логической суммы, образованной некоторыми минтермами, равна логической сумме минтермов, дополняющих инвертируемые до единицы. Отсюда следует, что недостающие в первом варианте кодирования литералы можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} \bar{a}_0 = \overline{m_q \vee m_s \vee m_\beta \vee m_\delta} = m_p \vee m_r \vee m_\alpha \vee m_\gamma; \\ a_1 = \overline{(a_1)} = \overline{m_r \vee m_s \vee m_\gamma \vee m_\delta} = m_p \vee m_q \vee m_\alpha \vee m_\delta; \\ a_2 = \overline{(a_2)} = \overline{m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta} = m_p \vee m_q \vee m_r \vee m_s. \end{cases} \quad (8)$$

Представляем каждый из восьми минтермов, образованных литералами настроечных переменных, в виде произведения соответствующих логических сумм, выделяя в каждой из трех скобок общий минтерм, который и будет равняться представленному:

$$\begin{cases} m_0 = \bar{a}_2 \bar{a}_1 \bar{a}_0 = (m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta)(m_r \vee m_s \vee m_\gamma \vee m_\delta)(m_p \vee m_r \vee m_\alpha \vee m_\gamma) = m_\gamma; \\ m_1 = \bar{a}_2 \bar{a}_1 a_0 = (m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta)(m_r \vee m_s \vee m_\gamma \vee m_\delta)(m_q \vee m_s \vee m_\beta \vee m_\delta) = m_\delta; \\ m_2 = \bar{a}_2 a_1 \bar{a}_0 = (m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta)(m_p \vee m_q \vee m_\alpha \vee m_\beta)(m_p \vee m_r \vee m_\alpha \vee m_\gamma) = m_\alpha; \\ m_3 = \bar{a}_2 a_1 a_0 = (m_\alpha \vee m_\beta \vee m_\gamma \vee m_\delta)(m_p \vee m_q \vee m_\alpha \vee m_\beta)(m_q \vee m_s \vee m_\beta \vee m_\delta) = m_\beta; \\ m_4 = a_2 \bar{a}_1 \bar{a}_0 = (m_p \vee m_q \vee m_r \vee m_s)(m_r \vee m_s \vee m_\gamma \vee m_\delta)(m_p \vee m_r \vee m_\alpha \vee m_\gamma) = m_r; \\ m_5 = a_2 \bar{a}_1 a_0 = (m_p \vee m_q \vee m_r \vee m_s)(m_r \vee m_s \vee m_\gamma \vee m_\delta)(m_q \vee m_s \vee m_\beta \vee m_\delta) = m_s; \\ m_6 = a_2 a_1 \bar{a}_0 = (m_p \vee m_q \vee m_r \vee m_s)(m_p \vee m_q \vee m_\alpha \vee m_\beta)(m_p \vee m_r \vee m_\alpha \vee m_\gamma) = m_p; \\ m_7 = a_2 a_1 a_0 = (m_p \vee m_q \vee m_r \vee m_s)(m_p \vee m_q \vee m_\alpha \vee m_\beta)(m_q \vee m_s \vee m_\beta \vee m_\delta) = m_q. \end{cases} \quad (9)$$

Аналогичным образом можно найти кодирование минтермов для остальных пяти вариантов.

Опуская подобные выкладки, выполненные для других вариантов, табулируем варианты кодирования в форме десятичных эквивалентов кодов настройки, образуемых соответствующими наборами настроечных переменных, и составим результирующую таблицу для всех режимов настройки (табл. 2). В таблице 3 приведены коды первого варианта настройки, представленные значениями настроечных переменных a_2, a_1, a_0 .

Таблица 2
Table 2

Варианты кодирования в виде десятичных эквивалентов кодов настройки
Decimal equivalent encoding options for tuning codes

L	1	2	3	4	5	6	7	8
N_0	p	q	r	s	α	β	γ	δ
1	6	7	4	5	2	3	0	1
2	6	7	2	3	4	5	0	1
3	5	7	4	6	1	3	0	2
4	5	7	1	3	4	6	0	2
5	3	7	2	6	1	5	0	4
6	3	7	1	5	2	6	0	4

Таблица 3
Table 3

Коды первого варианта настройки
First setting codes

L	1	2	3	4	5	6	7	8
a_2	1	1	1	1	0	0	0	0
a_1	1	1	0	0	1	1	0	0
a_0	0	1	0	1	0	1	0	1

Аналогичным образом можно табулировать значения настроечных переменных для остальных пяти вариантов настройки.

Рассмотренная версия алгоритма нахождения кодов настройки предельно проста, но довольно громоздка, особенно при большом числе настроечных переменных r , поскольку необходимо записывать и проводить анализ 2^r произведений для каждого из $r!$ вариантов кодирования. Используя результаты, полученные в этой версии алгоритма на промежуточных этапах, дополним их действиями, позволяющими в целом получить алгоритм, пригодный для программной реализации нахождения кода настройки.

В этом случае множество всех минтермов, определяющих режим настройки, представляем в виде массива, образованного z' столбцами и z'' строками. Общее число элементов массива, которое можно определить как произведение числа строк на число столбцов равно множеству всех минтермов, т. е. 2^r . Если число настроечных переменных (r) – четное, то массив представляет собой квадрат с числом столбцов, равным числу строк, которое можно определить как $z' = z'' = 2^{r/2}$. Если r – нечетное, то массив можно организовать двумя способами: в виде прямоугольника с «широким основанием» и прямоугольника с «узким основанием». Для первой формы $z' = 2^{\frac{r+1}{2}}, z'' = 2^{\frac{r-1}{2}}$, для второй $z' = 2^{\frac{r-1}{2}}, z'' = 2^{\frac{r+1}{2}}$. Никаких преимуществ одна форма перед другой не имеет.

Элементы массива нумеруются десятичными числами слева направо и вниз, начиная с нуля и заканчивая $2^r - 1$. Каждому элементу массива соответствует минтерм, определяющий кратность настройки. При этом элементу с нулевым номером соответствует минтерм, определяющий коэффициент кратности $L = 1$, а элементу с номером $2^r - 1$ – коэффициент кратности $L = 2^r$. Отсюда следует соотношение между коэффициентами кратности L и номером элемента $N: L = N + 1$.

Если ввести термин четности и нечетности не только для отдельных строк и столбцов, но и для последовательно идущих групп, состоящих из двух, четырех, восьми и в общем случае из 2^r столбцов (строк), считая слева направо для множества столбцов и сверху вниз для строк, то можно будет определить все r подмножеств, содержащих 2^{r-1} минтермов, удовлетворяющих сформулированным условиям толерантности. Такими будут подмножества образованного соответствующими группами столбцов и строк массива: подмножество минтермов, входящих во все нечетные столбцы; подмножество минтермов, входящих во все нечетные пары столбцов; подмножество минтермов, входящих во все нечетные четверки столбцов, и так далее по столбцам вплоть до подмножества, образованного правой половиной всех столбцов; подмножество минтермов, входящих во все нечетные строки; подмножество минтермов, входящих во все нечетные пары строк; подмножество минтермов, входящих во все нечетные четверки строк, и так далее по строкам, вплоть до подмножества, образованного нижней половиной всех строк массива.

Аналогичные определения можно дать для инверсных подмножеств, но только теперь будут фигурировать четные столбцы и четные строки и их группы.

При программной реализации алгоритма наличие тех или других минтермов в рассматриваемом подмножестве в соответствующих элементах массива отмечается единицей, а отсутствие – нулем. Тогда любое из r прямых подмножеств будет определено массивом, содержащим в половине столбцов или строк единицы, а в половине нули. При этом каждому прямому подмножеству массива будет соответствовать инверсное ему подмножество (массив), отличающееся противоположным значением в его элементах.

Поскольку каждому из подмножеств можно поставить в соответствие тот или другой литерал любой настроечной переменной, то это дает возможность программной реализации алгоритма нахождения кода настройки, представляя минтермы, образуемые литералами настроечных переменных, в виде пересечения соответствующих им массивов.

Анализ предложенной версии алгоритма проведем на примере реализации функции выходов схемы ЦА ПП, выполненного на четырехразрядном суммирующем счетчике, представляя множество минтермов, определяющих режимы настройки, в виде прямоугольного массива индексов минтермов, определяющих коды настройки, содержащего две строки и четыре столбца (рис. 4).

p	q	r	s
α	β	γ	δ

Рис. 4. Массив кодов настройки
Fig. 4. Array of setup codes

Разбиваем множество всех минтермов на три подмножества (P_0, P_1, P_2) , удовлетворяющих заданным условиям толерантности, представляя каждое из них в виде массива:

$$P_0: \begin{matrix} - & q & - & s \\ - & \beta & - & \delta \end{matrix}; P_1: \begin{matrix} - & - & r & s \\ - & - & \gamma & \delta \end{matrix}; P_2: \begin{matrix} - & - & - & - \\ \alpha & \beta & \gamma & \delta \end{matrix}.$$

Каждому из приведенных подмножеств ставим в соответствие инверсное ему подмножество (дополнение)

$$\bar{P}_0: \begin{matrix} p & - & r & - \\ \alpha & - & \gamma & - \end{matrix}; \bar{P}_1: \begin{matrix} p & q & - & - \\ \alpha & \beta & - & - \end{matrix}; \bar{P}_2: \begin{matrix} p & q & r & s \\ - & - & - & - \end{matrix}.$$

При программной реализации алгоритма вхождение того или другого минтерма в каждое из подмножеств отмечается единицей, а отсутствие – нулём. В результате получаем массивы, половина элементов которых содержит единицы, а половина – нули.

$$P_0: \begin{matrix} 0101 \\ 0101 \end{matrix}; \bar{P}_0: \begin{matrix} 1010 \\ 1010 \end{matrix}; P_1: \begin{matrix} 0011 \\ 0011 \end{matrix}; \bar{P}_1: \begin{matrix} 1100 \\ 1100 \end{matrix}; P_2: \begin{matrix} 0000 \\ 1111 \end{matrix}; \bar{P}_2: \begin{matrix} 1111 \\ 0000 \end{matrix}.$$

В соответствии с рассмотренным вариантом кодирования (табл.1, первый столбец) подмножеству P_0 , соответствует a_0 , подмножеству P_1 – \bar{a}_1 , подмножеству P_2 – \bar{a}_2 . Представим эти соответствия массивами:

$$a_0: \begin{matrix} 0101 \\ 0101 \end{matrix}; \bar{a}_0: \begin{matrix} 1010 \\ 1010 \end{matrix}; \bar{a}_1: \begin{matrix} 0011 \\ 0011 \end{matrix}; a_1: \begin{matrix} 1100 \\ 1100 \end{matrix}; \bar{a}_2: \begin{matrix} 0000 \\ 1111 \end{matrix}; a_2: \begin{matrix} 1111 \\ 0000 \end{matrix}.$$

Каждый минтерм, образуемый литералами настроечных переменных, представляем в виде пересечения соответствующих массивов:

$$\begin{aligned} \bar{a}_2 \bar{a}_1 \bar{a}_0 &= \begin{matrix} 0000 \\ 1111 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 0011 \\ 0011 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 1010 \\ 1010 \end{matrix} = \begin{matrix} 0000 \\ 0010 \end{matrix} - \gamma; \bar{a}_2 \bar{a}_1 a_0 &= \begin{matrix} 0000 \\ 1111 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 0011 \\ 0011 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 0101 \\ 0101 \end{matrix} = \begin{matrix} 0000 \\ 0001 \end{matrix} - \delta; \\ \bar{a}_2 a_1 \bar{a}_0 &= \begin{matrix} 0000 \\ 1111 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 1100 \\ 1100 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 1010 \\ 1010 \end{matrix} = \begin{matrix} 0000 \\ 1000 \end{matrix} - \alpha; \bar{a}_2 a_1 a_0 &= \begin{matrix} 0000 \\ 1111 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 1100 \\ 1100 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 0101 \\ 0101 \end{matrix} = \begin{matrix} 0000 \\ 0100 \end{matrix} - \beta; \\ a_2 \bar{a}_1 \bar{a}_0 &= \begin{matrix} 1111 \\ 0000 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 0011 \\ 0011 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 1010 \\ 1010 \end{matrix} = \begin{matrix} 0010 \\ 0000 \end{matrix} - r; a_2 \bar{a}_1 a_0 &= \begin{matrix} 1111 \\ 0000 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 0011 \\ 0011 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 0101 \\ 0101 \end{matrix} = \begin{matrix} 0001 \\ 0000 \end{matrix} - s; \\ a_2 a_1 \bar{a}_0 &= \begin{matrix} 1111 \\ 0000 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 1100 \\ 1100 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 1010 \\ 1010 \end{matrix} = \begin{matrix} 1000 \\ 0000 \end{matrix} - p; a_2 a_1 a_0 &= \begin{matrix} 1111 \\ 0000 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 1100 \\ 1100 \end{matrix} \cap \begin{matrix} 0101 \\ 0101 \end{matrix} = \begin{matrix} 0100 \\ 0000 \end{matrix} - q. \end{aligned}$$

Анализируя полученные пересечения, можем сделать вывод: минтерму настроечных переменных m_0 соответствует настройка на режим γ , аналогично для других минтермов получим соответствия: $m_1 - \delta$; $m_2 - \alpha$; $m_3 - \beta$; $m_4 - r$; $m_5 - s$; $m_6 - p$; $m_7 - q$.

Поскольку простые импликанты, получаемые для любого из шести вариантов кодирования, по сложности эквивалентны, то схему ЦА ПП, выполненную на типовом

суммирующем счетчике, приведем только для одного варианта кодирования (рис. 5), представляя функцию выхода в виде:

$$F = P_4 \vee a_0 Q_3 Q_2 Q_1 \vee \overline{a_1 \vee Q_3 \vee Q_2 \vee Q_1} \vee \overline{a_2 \vee Q_3 \vee Q_2} \vee \overline{a_2 \vee a_1 \vee Q_3 \vee Q_1}. \quad (10)$$

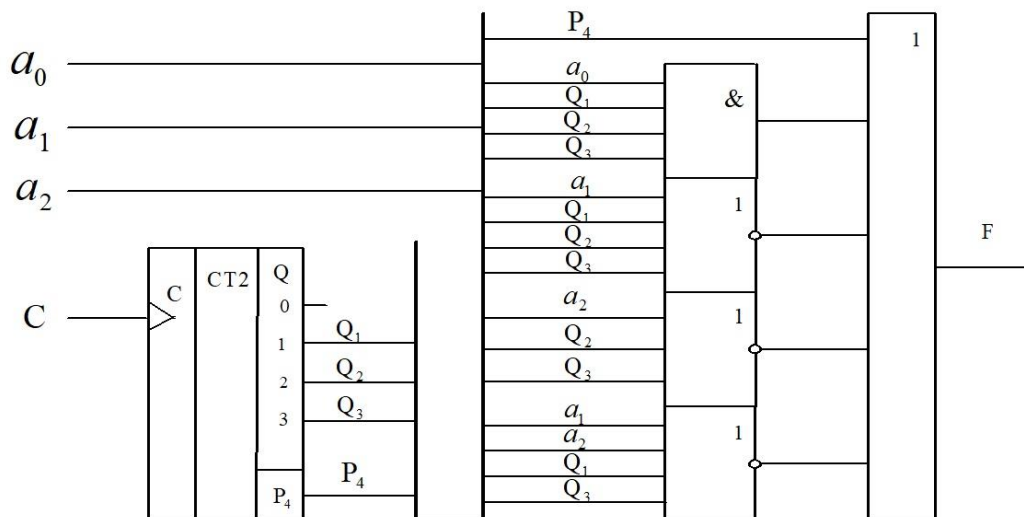


Рис. 5. Схема ЦА ПП, выполненная на типовом суммирующем счетчике
 Fig. 5. DAC circuit PP made on a typical totalizing counter

По такой же методике построена схема формирователя импульсной последовательности с перестраиваемыми параметрами, оригинальность которой подтверждена патентом РФ на изобретение [Рубанов и др., 2020], в котором подробно описан принцип действия устройства.

Решение задач оптимального синтеза цифровых автоматов Мили с перестраиваемыми параметрами выходных сигналов связано с перебором большого числа вариантов. Представление функций в форме обобщенных логических функций позволило значительно уменьшить это число и, как следствие, сократить время проектирования. Однако процесс проектирования, как видно, требует хороших навыков работы с обобщенными функциями на различных этапах проекта.

Заключение

Предложенный метод синтеза формирователей тестовой последовательности с перестраиваемыми параметрами целесообразно использовать при проектировании цифровых автоматов с гибко изменяемым тестовым контентом, когда сначала требуется детерминистический тест для распознавания подозрительных узлов, а затем генерируются дополнительные ориентированные тесты, расширяющие тестовый контент с целью уточнения характера неисправности.

Метод синтеза, основанный на использовании обобщенных логических функций, является более универсальным с точки зрения широты его применения для проектирования цифровых автоматов любого назначения, при этом он позволяет не только упростить процедуру нахождения простых импликант, но и обеспечивает контроль достоверности и минимальности полученного результата.

Следует также отметить, что при решении задач оптимального синтеза цифровых автоматов Мили с перестраиваемыми параметрами выходных сигналов, использование представления функций в форме ОЛФ значительно уменьшает число вариантов перебора по сравнению с классическим подходом.

Список литературы

1. Бессонов А.А., Шешкович Н.Т., Турчина Е.Д. 1986. Автоматизация построения контролируемых тестов. Я., Энергия, 224.
2. Бондаренко М.Ф., Кривуля Г.Ф., Рябцев В.Г., Фрадков С.А., Хаханов В.И. 2000. Проектирование и диагностика компьютерных систем и сетей. К., НМЦ ВО, 306.
3. Горовой А.А., Ващевский В.Ф., Доценко Б.И., Рубанов В.Г., Черняк С.П. 1990. Микропроцессорные агрегатные комплексы для диагностирования технических систем. К., Техника, 168.
4. Рубанов В.Г., Коробкова Е.Н. 2008. Логическое проектирование цифровых устройств, основанное на представлении функций в обобщенной форме. Белгород, Изд-во БГТУ, 335.
5. Рубанов В.Г., Коробкова Е.Н. 2009. Методы анализа и синтеза цифровых устройств (проектирование цифровых элементов автоматики и вычислительной техники). Белгород, Изд-во БГТУ, 291.
6. Рубанов В.Г. 2011. Системный подход к проектированию управляемых мобильных логических средств, обладающих свойством живучести. 176–187.
7. Рубанов В.Г., Коробкова Е.Н., Кариков Е.Б. 2020. Формирователь периодической последовательности импульсов. Патент РФ №2019124598. Бюл. 12.
8. Тюрев С.Ф. 2004. Функционально-полные толерантные булевы функции и цифровые схемы на их основе. Пермь, ПГСА, 118.
9. Чжен Г., Меннинг Г. Метц Г. 1972. Диагностика отказов цифровых вычислительных систем. М., Мир, 232 (Zheng G., Menning G., Metz G. 1972. Diagnostics of failures of digital computing systems. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics 3 (3): 301–301).
10. Amyeen M. Enamul, Kim Dongok, Chandrasekar Maheshwar, Noman Mohammad, Venkataraman Srikanth, Jain Anurag, Goel Neha, Sharma Ramesh. 2016. A novel diagnostic test generation methodology and its application in production failure isolation, in 2016 IEEE International Test Conference (ITC), 15–17.
11. Bartenstein T. 2000. Fault Distinguishing Pattern Generation, in Proc. IEEE Int. Test Conf.
12. Bernardi P., et. al. 2008. An Effective Technique for the Automatic Generation of Diagnosis-Oriented Programs for Processor Cores, in Proc. IEEE Trans. on CAD of Integrated Circuits and Systems.
13. Bhatti N.K, Blanton R.D. 2006. Diagnostic Test Generation for Arbitrary Faults, in Proc. IEEE Int. Test Conf.
14. Chandrasekar M., Hsiao M.S. 2009. Diagnostic Test Generation for silicon diagnosis with an incremental learning framework based on search state compatibility, in Proc. IEEE High Level Design Validation and Test Workshop, 68–75.
15. Chandrasekar M., Rahagude N.P., Hsiao M.S. 2010. Search State Compatibility based Incremental Learning Framework and output deviation based X-filling for diagnostic test generation, Springer Journal of Electronic Testing, vol. 26, no. 2, 165–176.
16. Corno F., Prinetto P., Rebaudengo M., Reorda M. Sonza. 1995. GARDA: A Diagnostic ATPG for Large Synchronous Sequential Circuits, in Proc. European Design and Test Conf., 267–271.
17. Desineni R., Poku O., Blanton R.D. 2006. A logic diagnosis methodology for improved localization and extraction of accurate defect behavior, in Test Conference, ITC'06. IEEE International. IEEE.
18. Girard P., Landrault G., Pravossoudovitch S., Rodriguez B. 1996. A Diagnostic ATPG for Delay Faults based on Genetic Algorithm, in Proc. IEEE Int. Test Conf.
19. Gruning T., Mahlstedt U., Koopmeiners H. 1991. DIATEST: A Fast Diagnostic Test Pattern Generator for Combinational Circuits, in Proc. IEEE Int. Conf. Computer-Aided Design, 194–197.
20. Li Z., Goel S.K., Lee F., Chakrabarty K. 2015. Efficient observationpoint insertion for diagnosability enhancement in digital circuits, in Proc. IEEE Int. Test Conf., 1–10.
21. Lin Y.-T., Poku O., Bhatti N.K., Blanton R.D. 2008. Physically-aware n-detect test pattern selection, in Proceedings of the conference on Design, automation and test in Europe. ACM, 634–639.
22. Medina P. Camurati D., Prinetto P., Reorda M. Sonza. 1990. A Diagnostic Test Pattern Generation Algorithm, in Proc. IEEE Int. Test Conf., 52–58.
23. Pomeranz I. 2012. Gradual diagnostic test generation and observation point insertion based on the structural distance between indistinguished fault pairs IEEE Trans. Very Large Scale Integr.(VLSI) Syst., vol. 20, no. 6, 1026–1035.
24. Riefert A., Sauer M., Reddy S., Becker B. 2015. Improving diagnosis resolution of a fault detection test set, in VLSI Test Symposium (VTS) IEEE 33rd. IEEE.

25. Tanwir Sarmad, Hsiao Michael S., Lingappan Loganathan. 2016. Hardware-in-the-loop Model-Less Diagnostic Test Generation, in 2016 IEEE International High Level Design Validation and Test Workshop (HLDVT), 128–133.
26. Wang S., Wei W. 2009. Machine learning-based volume diagnosis, in Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition, 902–905.
27. Wu Cheng-Hung, Lin Sheng-Lin, Lee Kuen-Jong, Reddy Sudhakar M. 2018. A Repair-for-Diagnosis Methodology for Logic Circuits, in IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, 2254–2267.
28. Xue Y., Poku O., Li X., Blanton R.D. 2013. Padre: physically-aware diagnostic resolution enhancement, in Test Conference (ITC), IEEE International, IEEE.
29. Yu X., Blanton R. 2012. Diagnosis-assisted adaptive test, Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, IEEE Transactions on, vol. 31, no. 9, 1405–1416.

References

1. Bessonov A.A., Steshkovich N.T., Turchina E.D. 1986. Avtomatizacija postroenija kontrolirujushih testov [Automation of building control tests]. Ja., Jenergija, 224. (in Russia)
2. Bondarenko M.F., Krivulja G.F., Rjabcev V.G., Fradkov S.A., Hahanov V.I. 2000. Proektirovanie i diagnostika komp'juternyh sistem i setej [Design and diagnostics of computer systems and networks]. K., NMC VO, 306. (in Russia)
3. Gorovoj A.A., Vashhevskij V.F., Docenko B.I., Rubanov V.G., Chernjak S.P. 1990. Mikroprocessornye agregatnye komplekсы dlja diagnostirovanija tehniceskikh sistem [Microprocessor-based aggregate complexes for diagnosing technical systems]. K., Tehnika, 168. (in Russia)
4. Rubanov V.G., Korobkova E.N. 2008. Logicheskoe proektirovanie cifrovych ustrojstv, osnovannoe na predstavlenii funkcij v obobshhennoj forme [Logical design of digital devices based on the representation of functions in a generalized form]. Belgorod, Izd-vo BGTU, 335. (in Russia)
5. Rubanov V.G., Korobkova E.N. 2009. Metody analiza i sinteza cifrovych ustrojstv (proektirovanie cifrovych jelementov avtomatiki i vychislitel'noj tehniki): ucheb. posobie [Methods of analysis and synthesis of digital devices (design of digital elements of automation and computer technology)]. Belgorod, Izd-vo BGTU, 291. (in Russia)
6. Rubanov V.G. 2011. Sistemnyj podhod k proektirovaniju upravljaemyh mobil'nyh logicheskikh sredstv, obladajushih svojstvom zhivuchesti [Systematic approach to the design of managed mobile logical means having the property of vitality]. 176–187 (in Russia)
7. Rubanov V.G., Korobkova E.N., Karikov E.B. 2020. Periodic flash generator. Patent RF №2019124598. Bull. 12. (in Russia)
8. Tjurev S.F. 2004. Funkcional'no-polnye tolerantnye bulevy funkicii i cifrovye shemy na ih osnove [Functionally-complete tolerance Boolean functions and digital circuits based on them]. Perm', PGSA, 118. (in Russia)
9. Chzhen G., Menning G. Metc G. 1972. Diagnostika otkazov cifrovych vychislitel'nyh sistem. M., Mir, 232. (Zheng G., Menning G., Metz G. 1972. Diagnostics of failures of digital computing systems. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics 3(3):301–301).
10. Amyeen M. Enamul, Kim Dongok, Chandrasekar Maheshwar, Noman Mohammad, Venkataraman Srikanth, Jain Anurag, Goel Neha, Sharma Ramesh. 2016. A novel diagnostic test generation methodology and its application in production failure isolation, in 2016 IEEE International Test Conference (ITC), 15–17.
11. Bartenstein T. 2000. Fault Distinguishing Pattern Generation, in Proc. IEEE Int. Test Conf.
12. Bernardi P., et. al. 2008. An Effective Technique for the Automatic Generation of Diagnosis-Oriented Programs for Processor Cores, in Proc. IEEE Trans. on CAD of Integrated Circuits and Systems.
13. Bhatti N.K., Blanton R.D. 2006. Diagnostic Test Generation for Arbitrary Faults, in Proc. IEEE Int. Test Conf.
14. Chandrasekar M., Hsiao M.S. 2009. Diagnostic Test Generation for silicon diagnosis with an incremental learning framework based on search state compatibility, in Proc. IEEE High Level Design Validation and Test Workshop, 68–75.
15. Chandrasekar M., Rahagude N.P., Hsiao M.S. 2010. Search State Compatibility based Incremental Learning Framework and output deviation based X-filling for diagnostic test generation, Springer Journal of Electronic Testing, vol. 26, no. 2, 165–176.
16. Corno F., Prinetto P., Rebaudengo M., Reorda M. Sonza. 1995. GARDA: A Diagnostic ATPG for Large Synchronous Sequential Circuits, in Proc. European Design and Test Conf., 267–271.

17. Desineni R., Poku O., Blanton R.D. 2006. A logic diagnosis methodology for improved localization and extraction of accurate defect behavior, in Test Conference, ITC'06. IEEE International. IEEE.
18. Girard P., Landrault G., Pravossoudovitch S., Rodriguez B. 1996. A Diagnostic ATPG for Delay Faults based on Genetic Algorithm, in Proc. IEEE Int. Test Conf.
19. Gruning T., Mahlstedt U., Koopmeiners H. 1991. DIATEST: A Fast Diagnostic Test Pattern Generator for Combinational Circuits, in Proc. IEEE Int. Conf. Computer-Aided Design, 194–197.
20. Li Z., Goel S.K., Lee F., Chakrabarty K. 2015. Efficient observationpoint insertion for diagnosability enhancement in digital circuits, in Proc. IEEE Int. Test Conf., 1–10.
21. Lin Y.-T., Poku O., Bhatti N.K., Blanton R.D. 2008. Physically-aware n-detect test pattern selection, in Proceedings of the conference on Design, automation and test in Europe. ACM, 634–639.
22. Medina P., Camurati D., Prinetto P., Reorda M., Sonza. 1990. A Diagnostic Test Pattern Generation Algorithm, in Proc. IEEE Int. Test Conf., 52–58.
23. Pomeranz I. 2012. Gradual diagnostic test generation and observation point insertion based on the structural distance between indistinguished fault pairs IEEE Trans. Very Large Scale Integr.(VLSI) Syst., 20 (6): 1026–1035.
24. Riefert A., Sauer M., Reddy S., Becker B. 2015. Improving diagnosis resolution of a fault detection test set, in VLSI Test Symposium (VTS) IEEE 33rd. IEEE.
25. Tanwir Sarmad, Hsiao Michael S., Lingappan Loganathan. 2016. Hardware-in-the-loop Model-Less Diagnostic Test Generation, in 2016 IEEE International High Level Design Validation and Test Workshop (HLDVT), 128–133.
26. Wang S., Wei W. 2009. Machine learning-based volume diagnosis, in Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition, 902–905.
27. Wu Cheng-Hung, Lin Sheng-Lin, Lee Kuen-Jong, Reddy Sudhakar M. 2018. A Repair-for-Diagnosis Methodology for Logic Circuits, in IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, 2254–2267.
28. Xue Y., Poku O., Li X., Blanton R.D. 2013. Padre: physically-aware diagnostic resolution enhancement, in Test Conference (ITC), IEEE International, IEEE.
29. Yu X., Blanton R. 2012. Diagnosis-assisted adaptive test, Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, IEEE Transactions on, vol. 31, no. 9, 1405–1416.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Коробкова Елена Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технической кибернетики БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

Луценко Оксана Витальевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры стандартизации и управления качеством БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

Рубанов Василий Григорьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической кибернетики БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena N. Korobkova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of «Technical Cybernetics» Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Oksana V. Lutsenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of «Standardization and Quality Management» Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Vasily G. Rubanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of "Technical Cybernetics" Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК: 004:621.391(004:9)

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-600-609

Модель и алгоритм анализа данных спектральных составляющих зубного ряда при протезировании

К.А. Гафуров

Дагестанский государственный медицинский университет,
кафедра физики, информатики и медаппаратуры
Российская Федерация, Республика Дагестан, г. Махачкала, пл. Ленина, 1
E-mail: gafurovkerim@mail.ru

Аннотация

В современной ортопедической и хирургической стоматологии при протезировании каждая единица зубного протеза должна выглядеть как естественный зуб, так как это восстанавливает эстетический вид всей полости рта и улучшает внешний облик пациента, а также будет способствовать нормализации общего состояния здоровья за счет обретения им утраченного чувства уверенности в себе и восстановления душевного равновесия. Первоначальным этапом при протезировании зубов является определение их цветовых составляющих. От этого этапа зависит соответствие конечного результата исходному протезируемому зубу. Процесс снятия показателей в большинстве случаев проводится ручным способом, что является причиной ошибок неправильно подобранного цвета и приводит к дополнительным затратам на изготовление повторного образца. Вследствие этих и других объективных причин была поставлена задача разработки модели и алгоритма анализа данных спектральных составляющих зубного ряда при протезировании. Была использована методика анализа данных спектральных составляющих зубного ряда на основе аддитивного синтеза цветов. Используя данную методику была разработана модель, в которой изменение цветовых составляющих происходит в корреляционной зависимости относительно регрессионной модели, поэтому возможно составление интерполяционных уравнений, а на их основе анализ и рассмотрение единой системы для всех подуровней цветовых градаций. Для проверки разработанной информационной модели были созданы алгоритм и специализированное программное обеспечение. Проведенные клинические исследования показали полную адекватность разработанной модели.

Ключевые слова: моделирование, анализ данных, алгоритм, регрессионная модель, эмаль, зубной протез.

Для цитирования: Гафуров К.А. 2020. Модель и алгоритм анализа данных спектральных составляющих зубного ряда при протезировании. Экономика. Информатика. 47 (3): 600–609. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-600-609.

Model and algorithm for data analysis of spectral components of the dentition during prosthetics

K.A. Gafurov

Daghestan State Medical University, Department of Physics,
Computer Science and Medical Equipment
1 Lenin pl., Makhachkala, Republic of Dagestan, Russian Federation
E-mail: gafurovkerim@mail.ru

Abstract

In modern orthopedic and surgical dentistry, each dental prosthesis unit should look like a natural tooth, as it restores the aesthetic appearance of the entire oral cavity and improves the patient's appearance, as well as

helps to normalize the general state of health by gaining the lost feelings of self-confidence and restoring the emotional balance. The initial step in dental prosthetics is to determine their color components. This step determines whether the final result corresponds to the original prosthetic tooth. In case of complete or partial discrepancy between the obtained sample and the original one, there is a need for more thorough determining of the enamel color of the created sample, as well as re-manufacturing, which entails an unreasonable consumption of ceramic materials, resulting in an increase in the cost of prosthetics. The color determination procedure is performed for each tooth, and the doctor having obtained the parameters of the color components of the teeth, transmits the measurement results and data on the content in the sample of ceramic mixtures necessary to obtain the basic color of the enamel, to the dentist-technician who makes a denture with a specified color. The process of obtaining the parameters in most cases is carried out manually, which is the cause of errors and incorrectly selected colors and leads to additional costs for the re-manufacturing of a sample. Due to these and other objective reasons, the task was to develop a model and algorithm for analyzing the data of spectral components of the dentition during prosthetics. We used a method for analyzing the data of spectral components of the dentition based on an additive color synthesis. Using this method, a model was developed in which the change in color components occurs in correlation with the regression model, so it is possible to compile interpolation equations, and based on them, analyze and consider a single system for all sublevels of color gradations. To check the operation of the developed information model, an algorithm and specialized software were created. The conducted clinical studies have shown full adequacy of the developed model.

Keywords: modeling, data analysis, algorithm, regression model, enamel, denture.

For citation: Gafurov K.A. 2020. Model and algorithm for data analysis of spectral components of the dentition during prosthetics. *Economics. Information technologies*. 47 (3): 600–609 (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-600-609.

Введение

В практике современной стоматологии одним из факторов, определяющих успех протезирования металлопластмассовыми и металлокерамическими конструкциями, являются правильное, точное определение цвета зубного ряда и его воссоздание. Это обстоятельство позволяет достичь высокого эстетического качества ортопедических конструкций, сократить случаи дорогостоящего повторного протезирования, что в свою очередь уменьшит затратную часть по выполнению гарантийных обязательств, а также максимально сокращает число конфликтных ситуаций и увеличивает степень удовлетворенности результатом [Li, O., Wang, 2007].

Проблема определения цвета зубов при протезировании возникла около 100 лет назад. Об этом свидетельствует одна из первых публикаций, устанавливающая общие основы измерения цвета (B. Clark, 1921). Позже другие авторы, такие как S. Sproull (1973), V. Billmeyer и S. Saltzman (1967), L. Munsel (1961), R. Preston и I. Bergen (1980), L. Nakagawa et al. (1975) и Y. Yamamoto (1972), улучшили понимание сложности механизмов, лежащих в основе восприятия цвета. Согласно статистическим данным, при опросе 162 врачей-стоматологов и 178 зубных техников 37 % из них называют проблематичным определение цвета зубов, 58 % специалистов считают, что верно определяют цвет зубов в большинстве случаев, а лишь только 5 % – удовлетворены результатом своей работы всегда (M. Yamamoto, 1998; G. Henning, R.M. Lohmiller, 2003).

В современной стоматологии для установления цветовых составляющих эмали зуба пациента, чаще всего применяют метод определения цвета на основе так называемой линейки-шаблона (рис. 1). Данный инструмент представляет собой набор из заданного количества эталонных зубных протезов, причём каждый зубной протез отличается от соседнего на некоторую градацию цветовой составляющей [Киселева, 2001]. Таким образом, стоматолог во время проведения процедуры протезирования, для выбора соответствующего эталонного зубного протеза, подносит его к зубам пациента и на глаз определяет схожесть цветовых параметров эталонного зуба с исходными [Paravina и др., 2007]. После того, как врачом был выбран соответствующий исходным зубам эталонный зубной протез из линейки-шаблона,

устанавливается его порядковый номер в соответствии с классификацией, которая для разных производителей линеек-шаблонов разная. Номер данного зубного протеза по соответствующим таблицам сопоставляется общей классификации, согласно которой подобранный цвет можно получить путём смешивания в соответствующей пропорции ряда стандартных керамических или пластмассовых масс. Причём стандартные керамические массы (порошки), также в свою очередь представляют собой эталонные зубные протезы.



Рис. 1. Внешний вид линейки-шаблона
Fig. 1. Appearance of the ruler-template

На сегодняшний день существуют визуальные и аппаратные методики определения цвета зубов [2005. Studies of electronic measuring instruments (definition) color], которые имеют как преимущества, так и недостатки (см. таблицу).

Сравнение определения цвета зубов Tooth color comparison

Методики определения цвета	Преимущества	Недостатки
ВИЗУАЛЬНЫЕ	1) возможность выявления индивидуальных особенностей;	1) психофизиологическое состояние врача-стоматолога;
	2) опыт по определению цвета;	2) влияние окружающей среды (освещение, интерьер);
	3) экономическая доступность	3) сложный алгоритм выбора цвета;
		4) различие расцветок разных производителей
АППАРАТУРНЫЕ	1) качество и объективность определения цвета;	1) высокая стоимость;
	2) контроль точности цветового исполнения;	2) новые приборы пока не прошли сертификацию в нашей стране
	3) четкая коммуникация между врачом и техником;	3) субъективность восприятия и зависимость от окружающей среды;
	4) создание доказательной базы при возникающих конфликтах между врачом и пациентом	4) отсутствие возможности выдачи параметров количества шаблонных порошков для получения искомого цвета при протезировании

Таким образом, визуальные методики, в которых при изготовлении зубных протезов под цвет своих зубов идёт визуальная подборка цвета, являются на сегодняшний день неактуальными и некачественными. Поэтому перед научно-техническими работниками и исследователями была поставлена задача разработки адекватных аппаратурных методик.

В частности, разработано устройство SpectroShade, которое имеет цифровую камеру, подключенную к ПК. Устройство обрабатывает информацию и выдает наиболее близкие значения искомому образцу. Отдельная модификация рассмотренного устройства – это SpectroShade™Micro. Данная модификация имеет возможность оценивать параметры цвета: яркость, насыщенность и прозрачность [Луцкая, 2006].

Устройство ShadeEye NCC позволяет определить цветовой состав и адаптирует полученные результаты к палитрам стандартных цветовых систем. Внутри прибора имеется память, которая сохраняет до 100 протоколов измерения. С помощью инфракрасного порта полученные результаты могут быть переданы на компьютер. Программное обеспечение позволяет создать объемную цветовую картину естественного зуба, состоящую из 256 оттенков. В данном устройстве имеется встроенный принтер и цифровой датчик [Наумович, 2014].

Перечисленные и другие разработанные на сегодняшний день аппаратные методики имеют один общий недостаток – это высокая стоимость, которая является неприемлемой для подавляющего большинства частных клиник, кабинетов и госучреждений нашей страны. Также необходимо отметить, что практически во всех системах присутствует спектральное разложение искомого зуба, но отсутствует разложение на спектральные составляющие эталонных образцов, что уже является грубым недостатком в отношении определения цветовых градаций в разных световых условиях.

Целью исследования является разработка модели и алгоритмов анализа данных спектральных составляющих зубных протезов для улучшения точности получаемых результатов, так как современное программное обеспечение позволяет создать мощную систему обработки данных.

Объекты и методы исследования

Для реализации поставленной цели и решения задач исследования были применены методы информационного моделирования, методика аддитивного синтеза цветов, теории оптимизации, математической статистики, методы объектно-ориентированного проектирования и программирования [Забуга, 2013, Kleinbaum и др., 2014].

Для создания модели и алгоритма анализа данных спектральных составляющих зубных протезов было использовано представление о цвете зубной эмали не как об индивидуальном ощущении, а как о его спектральном составе. Так как только при наличии объективной измерительной системы, позволяющей установить однозначное определение цветности, можно обеспечить одинаковое воспроизведение цвета зубов [Абакаров, 2001]. Это обстоятельство оказывается очень важным, если при съемке изображения для освещения используется искусственный свет. Если в солнечном свете все цвета присутствуют в равных долях, то в искусственном свете отдельные цветовые составляющие могут быть либо слишком сильными, либо вовсе отсутствовать.

Таким образом, математически удобнее всего представить цветовую систему искомой зубной эмали в виде RGB-куба, т. е. аддитивного суммирования красного [R], синего [B], зелёного [G] цветов (рис. 2). Для куба характерно, что каждая его пространственная точка однозначно определяется координатами X, Y и Z. Если по оси X откладывать красную, по оси Y зеленую, а по оси Z синюю составляющие цвета, то каждому цвету можно поставить в соответствие определенную точку внутри RGB-куба [Гонсалес и др., 2005]. Таким образом, в RGB-системе цвета представляются тремя численными значениями, которые задают красную, зеленую и синюю составляющие. В системе RGB любой цвет определяется как результат смешения красного, зеленого и синего цветов [Гафуров и др., 2019].

При составлении модели и алгоритма анализа данных спектральных составляющих зубных протезов представим процесс подбора соответствующих компонентов исходных порошков, как регрессионную модель, с возможными вариациями значений, в пределах нормы, устанавливаемой для определённых показателей.

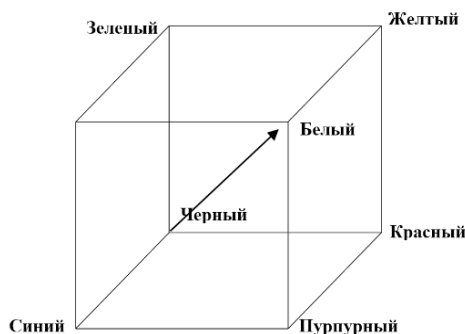


Рис. 2. RGB-куб
Fig. 2. RGB cube

Изменение цветовых составляющих происходит в линейной зависимости относительно регрессионной модели, поэтому возможно составление интерполяционных уравнений, а на их основе – анализ и рассмотрение единой системы для всех подуровней цветовых градаций [Kleinbaum и др., 2014].

Математическая модель должна основываться на уравнениях, представляющих полиномы одной поверхности (модель RGB-куба):

$$Y = A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3, \quad (1)$$

где $X_1; X_2; X_3$ – корреляционное изменение значения трёх получаемых цветов соответственно, $A_1; A_2; A_3$ – концентрации стандартных порошков.

Задача по определению цвета зубной эмали протезируемого зуба подразумевает использование регрессионной модели в виде линейной гиперплоскости первого порядка с отсутствием свободного члена.

Результаты исследования

Разработка модели и алгоритма анализа данных спектральных составляющих зубных протезов первоначально была разделена на два этапа:

1. Разработка модели и алгоритма анализа данных спектральных составляющих металлопластмассовых зубных протезов;
2. Разработка модели и алгоритма анализа данных спектральных составляющих металлокерамических зубных протезов.

Проведение информационного моделирования в случае определения цвета эмали металлопластмассовых зубных протезов было разделено на несколько этапов [Захаров, 2007]:

1. Постановка задачи моделирования;
2. Разделение цвета образцов зубных протезов и искомого зубного ряда на три составляющие;
3. Составление системы уравнений относительно каждой составляющей цвета искомого зуба;
4. Разработка алгоритма анализа данных спектральных составляющих металлопластмассовых зубных протезов
5. Разработка программного обеспечения для автоматизации всего процесса.

После адаптации и оптимизации рассмотренной методики (1) была разработана математическая модель (2) для анализа данных спектральных составляющих металлопластмассовых зубных протезов, в которой изменение цветовых составляющих происходит в корреляционной зависимости относительно регрессионной модели, поэтому

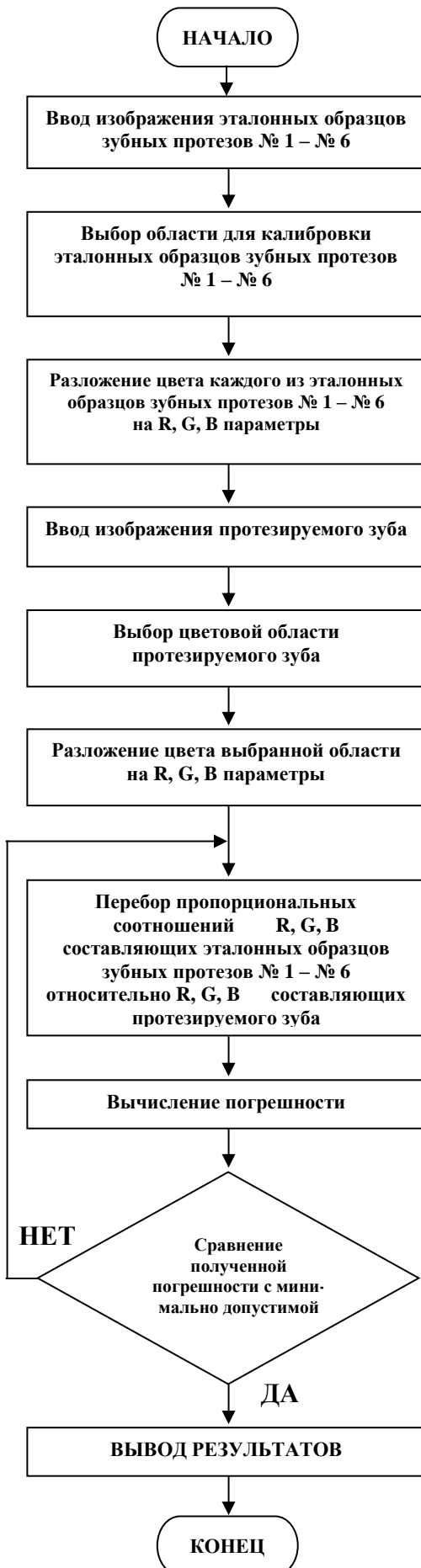


Рис. 3. Алгоритм работы модели
Fig. 3. Model Operation Algorithm

возможно составление интерполяционных уравнений [Мирзоев, 2016], а на их основе анализ и рассмотрение единой системы для всех подуровней цветовых градаций:

$$\begin{cases} r_1k_1 + r_2k_2 + r_3k_3 + r_4k_4 + r_5k_5 + r_6k_6 = RK \\ g_1k_1 + g_2k_2 + g_3k_3 + g_4k_4 + g_5k_5 + g_6k_6 = GK, \\ b_1k_1 + b_2k_2 + b_3k_3 + b_4k_4 + b_5k_5 + b_6k_6 = BK \end{cases} \quad (2)$$

где используется граф определения порошков с количеством, равным 6.

Для анализа данных и синтеза подбираемых с помощью модели компонентов был разработан алгоритм (рис. 3). Проверка работы разработанной модели и алгоритма анализа данных спектральных составляющих металлопластмассовых зубных протезов была проведена на разработанном специализированном программном обеспечении на базе систем объектно-ориентированного программирования [Волкова и др., 2011].

Внешний вид программы (рис. 4) содержит: кнопки управления программой; окно ввода изображения; окно оценки подбора цветовых составляющих; окна состава стандартных порошков; окно глубины просчета; строка состояния.

Основными функциями программы являются уменьшение и увеличение изображения в окне; отмена приближения изображения; получение наилучшего приближения; перемещение изображения при его увеличении; выбор конкретной области изображения, подбор цветовых составляющих [Абакаров и др., 2017]. Перед проведением процедуры необходимо очистить зубной налёт и подготовить пациента к исследованию. Фотокамерой получить снимки стандартных зубных протезов соответственно номерам стандартных порошков. Провести калибровку, поочередно выбирая нужный файл, после чего сделать съемку искомого зубного ряда. В соответствии с разработанной моделью и алгоритмом проводится поиск наиболее соответствующего искомому зубу состава стандартных порошков и выводятся значения их концентрации [Расулов и др., 2007].

На основе приведенной модели и алгоритма также была разработана программа для подбора цветовых составляющих металлокерамических протезов, которая содержит базу данных по пациентам, в которой хранятся все данные о пациенте и пройденных им процедурах [Абакаров, Гафуров и др., 2017].

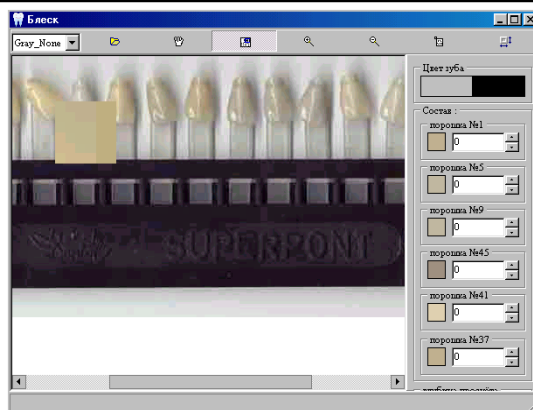


Рис. 4. Режим калибровки
Fig. 4. Calibration mode

В базе данных имеется несколько таблиц, в каждой из которых хранятся определенные данные о пациентах и тестах. Главное окно программы имеет вид, представленный на рис. 5.

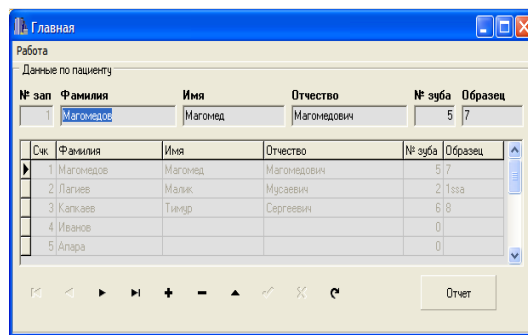


Рис. 5. Главное окно программы
Fig. 5. The main window of the program

Меню разработанной программы позволяет производить ввод новой, либо редактирование старой информации о пациенте [Гафуров и др., 2017]. Перед тем как начать исследование, вводятся данные о новом пациенте, проходящем исследование, либо выбирается уже ранее введенный. Далее переходят к контекстному меню «Работа» в строке заголовка программы и выбирается пункт «Установки цветов». Проводится калибровка шаблонных зубных протезов, которые являются эталонными образцами для последующего выбора цветовых составляющих металлокерамических протезов (рис. 6).



Рис. 6. Режим калибровки
Fig. 6. Calibration mode

После чего в контекстном меню «Работа» в строке заголовка программы выбирается пункт «Поиск подходящего» и в появившемся окне «Выбор наиболее близкого цвета» указывается фотография заранее снятых протезируемых зубов пациента (рис. 7) [Гафуров и др., 2015, Мирзоев, 2016].

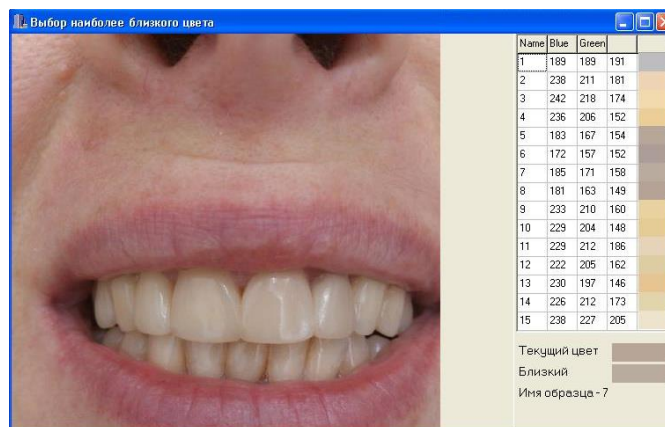


Рис. 7. Выбор наиболее близкого цвета

Fig. 7. Choose the closest color

После чего в пункте меню «Печать отчета» и кнопки «Отчет» в нижнем углу программы можно просмотреть полученные данные и распечатать их при помощи стандартных средств. После проведения ряда экспериментальных исследований количество эталонных образцов возможно увеличить. Одним из основных преимуществ разработанной модели и алгоритма анализа данных спектральных составляющих металлокерамических протезов зубного ряда является универсальность, вне зависимости от применяемой методики синтеза эталонных образцов различных производителей керамических масс [Гафуров и др., 2015].

Заключение

В ходе проведения экспериментальных исследований в стоматологической клинике г. Махачкалы были получены серии опытных образцов стандартных металлопластмассовых и металлокерамических зубных протезов, изготовленных при помощи разработанного программного обеспечения. Визуальное сравнение полученных металлокерамических и металлопластмассовых зубных протезов позволяет сделать вывод, что с помощью разработанных моделей и алгоритмов анализа данных спектральных составляющих зубных протезов можно с достаточной степенью адекватности получать цветовую гамму искомого зубного ряда.

На XV международном салоне изобретений и новых технологий «Новое время» в городе Севастополь (сентябрь 2019 года), представленная в статье разработка программной среды для синтеза цветовых составляющих металлопластмассовых зубных протезов, получила золотую медаль [Абакаров, Гаджиев, Расулов, Гафуров, Горелова, 2017].

Список литературы

1. Абакаров С.И. 2001. Оптимальные условия и особенности определения и создания цвета в керамических и металлокерамических протезах. Новое в стоматологии. 4: 23–29.
2. Абакаров Т.А., Гаджиев Х.М., Расулов И.М., Гафуров К.А., Горелова А.И. 2017. Программная среда для синтеза цветовых составляющих пластмассовых зубных протезов: Влск. Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ № 201766.
3. Абакаров Т.А., Гафуров К.А., Горелова А.И., Расулов И.М. 2017. Разработка способа подбора цвета зубных протезов при металлокерамическом протезировании. «Мир науки и молодежи: тенденции и новые горизонты». Материалы международной конференции молодых ученых. Караганда, ИПЦ КГМУ, 31–32.
4. Абакаров Т.А., Гафуров К.А., Расулов И.М. 2017. Разработка медицинской информационной системы для автоматизации подбора цвета зубных протезов. Материалы всероссийской юбилейной научно-практической конференции, с международным участием, посвященной 85-летию Дагестанского государственного медицинского университета. Махачкала, ИПЦ ДГМУ, 108–110.
5. Гафуров К.А., Горелова А.И. 2017. Разработка биотехнического комплекса подбора цвета зубных протезов в ортопедической стоматологии. Студенческая наука – 2017: материалы

Всероссийского научного форума студентов и молодых ученых с международным участием. СПб.: СПбГПУ, 410–411.

6. Гафуров К.А., Исламов М.Н., Абакаров Т.А., Расулов И.М. 2019. Компьютерная система подбора цвета металлокерамических протезов в ортопедической стоматологии. Материалы V Всероссийской с международным участием студенческой научно-образовательной конференции «Актуальные вопросы студенческой медицинской науки и образования». Рязань, ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, 93–94.

7. Гафуров К.А., Расулов И.М. 2015. Биотехнический комплекс подбора цвета зубных протезов в ортопедической стоматологии. Материалы Всероссийской юбилейной научно-практической конференции с международным участием. Махачкала, ИПЦ ДГМА, 202–205.

8. Гонсалес Р., Вудс Р. 2005. Цифровая обработка изображений. М., Техносфера, 1072.

9. Волкова И.А., Иванов А.В., Карпов Л.Е. 2011. Основы объектно-ориентированного программирования. Язык программирования С++. М., издательский отдел факультета ВМК МГУ, 112.

10. Забуга А.А. 2013. Теоретические основы информатики. Новосибирск, изд-во НГТУ, 168.

11. Захаров В.Н., Калиниченко Л.А., Соколов И.А., Ступников С.А. 2007. Конструирование канонических информационных моделей для интегрированных информационных систем. Информатика и ее применения. 1(2): 32.

12. Киселева Г.Л. 2001. Моделирование распространения света в биологических тканях. Радиоэлектроника. 1: 11–17.

13. Луцкая И.К. 2006. Цветоведение в эстетической стоматологии. М., Медицинская книга, 116.

14. Мирзоев М.С. 2016. Основы математической обработки информации. М., Прометей, 316.

15. Наумович С.А. 2014. Определение цвета зубов в клинике ортопедической стоматологии. Минск, БГМУ, 59.

16. Расулов К.М., Магомедов Д.А., Гаджиев Х.М., Гафуров К.А., Расулов И.К. 2007. Аппаратно-программный комплекс для подбора цвета зубных протезов. Научно-практический журнал «Современная ортопедическая стоматология». М., изд. ООО «Медицинская пресса». 8: 36–40.

17. Kleinbaum D.G., Kupper L.L., Nizam A., Rosenberg E.S. 2014. Applied regression analysis and other multivariable methods. Cengage Learning, 432.

18. Li, O., Wang, Y.N. 2007. Comparison of shade matching by visual observation and intraoral dental colorimetry. J.Oral. Rehabil. onLine Early Articles.

19. Paravina, R., Majkis, G., Imai, F., Powers, J. 2007. Optimization of tooth color and shade design. J. Prostodont. 16: 269–276.

20. 2005. Studies of electronic measuring instruments (definition) color. Amsterdam University and the Free University, the Netherlands. Dental technician. 2 (49): 82.

References

1. Abakarov S. I. 2001. Optimal'nye usloviya i osobennosti opredeleniya i sozdaniya tsveta v keramicheskikh i metallokeramicheskikh protezakh. Novoe v stomatologii [Optimal conditions and features for determining and creating color in ceramic and metal-ceramic prostheses. New in dentistry. 4]. 4: 23–29.

2. Abakarov T.A., Gadzhiev Kh.M., Rasulov I.M., Gafurov K.A., Gorelova A.I. 2017. A software environment for the synthesis of color components of plastic dentures: Blesk. Certificate of state registration of a computer program № 201766.

3. Abakarov T.A., Gafurov K.A., Gorelova A.I., Rasulov I.M. 2017. Razrabotka sposoba podbora tsveta zubnykh protezov pri metallokeramicheskom protezirovanii. «Mir nauki i molodezhi: tendentsii i novye gorizonty». Materialy mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh. [Development of a method for matching the color of dentures in metal-ceramic prosthetics. "The world of science and youth: trends and new horizons." Materials of the international conference of young scientists]. Karaganda, IPTs KGMU, 31–32.

4. Abakarov T.A., Gafurov K.A., Rasulov I.M. 2017. Razrabotka meditsinskoj informatsionnoj sistemy dlya avtomatizatsii podbora tsveta zubnykh protezov. Materialy vsrossiyskoj yubileynoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennuyu 85-letiyu Dagestanskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta. [Development of a medical information system to automate the color matching of dentures. Materials of the All-Russian jubilee scientific and practical conference, with international participation, dedicated to the 85th anniversary of the Dagestan State Medical University]. Makhachkala, IPTs DGMU, 108–110.

5. Gafurov K.A., Gorelova A.I. 2017. Razrabotka biotekhnicheskogo kompleksa podbora tsveta zubnykh protezov v ortopedicheskoy stomatologii. Studencheskaya nauka – 2017: materialy Vserossiyskogo

nauchnogo foruma studentov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem. [Development of a biotechnical complex for the color matching of dentures in orthopedic dentistry. Student Science – 2017: Materials of the All-Russian Scientific Forum of Students and Young Scientists with International Participation]. SPb.: SPbGPMU, 410–411.

6. Gafurov K.A., Islamov M.N., Abakarov T.A., Rasulov I.M. 2019. Komp'yuternaya sistema podbora tsveta metallokeramicheskikh protezov v ortopedicheskoy stomatologii. Materialy V Vserossiyskoy s mezhdunarodnym uchastiem studencheskoy nauchno-obrazovatel'noy konferentsii «Aktual'nye voprosy studencheskoy meditsinskoy nauki i obrazovaniya». [Computer system for color matching of metal-ceramic prostheses in orthopedic dentistry. Materials of the V All-Russian with international participation student scientific and educational conference "Topical issues of student medical science and education"]. Ryazan', FGBOU VO RyazGMU Minzdrava Rossii, 93–94.

7. Gafurov K.A., Rasulov I.M. 2015. Biotekhnicheskii kompleks podbora tsveta zubnykh protezov v ortopedicheskoy stomatologii. Materialy Vserossiyskoy yubileynoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. [Biotechnical complex for color matching of dentures in orthopedic dentistry. Materials of the All-Russian Anniversary Scientific and Practical Conference with International Participation]. Makhachkala, IPTs DGMA, 202–205.

8. Gonsales R., Vuds R. 2005. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. [Digital image processing]. M., Tekhnosfera, 1072.

9. Volkova I.A., Ivanov A.V., Karpov L. E. 2011. Osnovy ob'ektno-orientirovannogo programmirovaniya. Yazyk programmirovaniya S++. [The basics of object-oriented programming. C ++ programming language]. M., izdatel'skiy otdel fakul'teta VMK MGU, 112.

10. Zabuga A.A. 2013. Teoreticheskie osnovy informatiki. [Theoretical foundations of computer science]. Novosibirsk, izd-vo NGTU, 168.

11. Zakharov V.N., Kalinichenko L.A., Sokolov I.A., Stupnikov S.A. 2007. Konstruirovaniye kanonicheskikh informatsionnykh modeley dlya integrirovannykh informatsionnykh sistem. [Construction of canonical information models for integrated information systems]. Informatika i ee primeneniya. 1(2): 32.

12. Kiseleva G.L. 2001. Modelirovaniye rasprostraneniya sveta v biologicheskikh tkanyakh. [Simulation of light propagation in biological tissues]. Radioelektronika. 1: 11–17.

13. Lutskeya I. K. 2006. Tsvetovedeniye v esteticheskoy stomatologii. [Color science in aesthetic dentistry]. M., Meditsinskaya kniga, 116.

14. Mirzoev M.S. 2016. Osnovy matematicheskoy obrabotki informatsii. [Fundamentals of Mathematical Information Processing]. M., Prometey, 316.

15. Naumovich S. A. 2014. Opredeleniye tsveta zubov v klinike ortopedicheskoy stomatologii. [Determination of the color of teeth in the clinic of orthopedic dentistry]. Minsk, BGMU, 59.

16. Rasulov K.M., Magomedov D.A., Gadzhiev Kh.M., Gafurov K.A., Rasulov I.K. 2007. Apparatno-programmnyy kompleks dlya podbora tsveta zubnykh protezov. Nauchno-prakticheskii zhurnal «Sovremennaya ortopedicheskaya stomatologiya. [Hardware and software complex for color matching of dentures. Scientific and practical journal "Modern Prosthetic Dentistry]. M., izd. OOO «Meditsinskaya pressa». 8: 36–40.

17. Kleinbaum D.G., Kupper L.L., Nizam A., Rosenberg E.S. 2014. Applied regression analysis and other multivariable methods. Cengage Learning, 432.

18. Li, O., Wang, Y.N. 2007. Comparison of shade matching by visual observation and intraoral dental colorimetr. J.Oral. Rehabil. onLine Early Articles.

19. Paravina, R., Majkis, G., Imai, F., Powers, J. 2007. Optimization of tooth color and shade design. J. Prostodont. 16: 269–276.

20. 2005. Studies of electronic measuring instruments (definition) color. Amsterdam University and the Free University, the Netherlands. Dental technician. 2 (49): 82.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Гафуров Керим Абсаламович, кандидат технических наук, доцент кафедры физики, информатики и медаппаратуры Дагестанского государственного медицинского университета, г. Махачкала, Республика Дагестан

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kerim A. Gafurov, Candidate of Technical Sciences, Docent Department of Physics, Computer Science and Medical Equipment Daghestan State Medical University, Makhachkala, Republic of Daghestan

УДК 004.94, 519.63

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-610-622

Компьютерная модель, примеры анализа влияния ландшафтно-метеорологических факторов на динамику низовых лесных пожаров

Д.В. Баровик, В.Б. Таранчук

Белорусский государственный университет,
Беларусь, 220030, г. Минск, пр. Независимости, 4
E-mail: BarovikD@gmail.com, taranchuk@bsu.by

Аннотация

Обсуждаются результаты разработки и адаптации компьютерной модели для прогнозирования распространения низовых лесных пожаров, математического описания в принятом приближении соответствующих физико-химических процессов с уточнениями включаемых в уравнения взаимосогласованных определяющих функций и коэффициентов. Платформа разработки компьютерной модели, проведения расчетов, формирования базы данных с результатами вычислений – система компьютерной алгебры Wolfram Mathematica. Представлены данные вычислительных экспериментов по изучению возможных сценариев распространения зоны горения вблизи противопожарных разрывов во фронте, тыле и флангах пожара. Выявлены, иллюстрируются многомерной графикой несколько качественных особенностей в эволюции температурного фронта, его распространении на площади лесного массива при наличии полян различной формы, в том числе, с демонстрацией влияния равновесной скорости ветра в пологе леса. Подобраны и поясняются представительными примерами возможные варианты динамики фронта пожара в направлениях по и против ветра.

Ключевые слова: низовой лесной пожар, математическая модель, динамика фронта, противопожарный разрыв, форма поляны, скорость ветра, программный комплекс.

Для цитирования: Баровик Д.В., Таранчук В.Б. 2020. Компьютерная модель, примеры анализа влияния ландшафтно-метеорологических факторов на динамику низовых лесных пожаров. Экономика. Информатика. 47 (3): 610–622. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-610-622.

Computer model, examples of analysis of landscape and meteorological factors affecting the dynamics of surface forest fires

D.V. Barovik, V.B. Taranchuk

Belarusian State University, 4 Nezavisimosti Ave, Minsk, 220030, Belarus
E-mail: BarovikD@gmail.com, taranchuk@bsu.by

Abstract

The article discusses the results of development and instrumental setup of a computer model for predicting the spread of surface forest fires, mathematical description in the accepted approximation of the corresponding physical and chemical processes with refinements of mutually agreed defining functions and coefficients included in the equations. The Wolfram Mathematica computer algebra system is used as a platform for developing the computer model, performing calculations, and creating a database with the outcomes of computations. The results of numerical experiments investigating possible scenarios how fire zone spreads in different directions and its behavior near fuelbreaks are presented. Several qualitative differences in geometry and dynamics of temperature density maps are determined and illustrated by multidimensional graphics for various shapes of fuelbreaks, including the demonstration of the influence of the equilibrium wind speed in the forest canopy on the fire spread over the territory. Possible variants of the fire front movement in the direction of wind velocity and against it are identified and explained using representative examples.

Keywords: surface forest fire, wildland fire, wildfires, mathematical model, fire front dynamics, fuelbreak shape, wind velocity, software.

For citation: Barovik D.V., Taranchuk V.B. 2020. Computer model, examples of analysis of landscape and meteorological factors affecting the dynamics of surface forest fires. *Economics. Information technologies*. 47 (3): 610–622 (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-610-622.

Введение

Лесные массивы, являющиеся одним из основных типов растительного покрова Земли, подвержены влиянию целого ряда различных природных и техногенных факторов. Наибольший экологический и экономический ущерб на состояние лесных экосистем оказывают пожары [Dvornik et al., 2018; Чешко, 2019]. Примером являются пожары в Австралии, начавшиеся в сентябре 2019 года. По подсчетам Всемирного фонда дикой природы [wwf.org.ua, 2020], в них погибло более миллиарда животных. По мнению специалистов центра Moody's Analytics, по состоянию на начало 2020 года экономический ущерб превысит 4.4 миллиарда долларов США [theguardian.com, 2020].

На земном шаре существуют целые регионы, в которых лесные пожары происходят с регулярной периодичностью, и при этом не возрастает успешность в их предотвращении и тушении. Разработки математических моделей лесных пожаров начались с середины прошлого века в США и активно продолжаются во всем мире в настоящее время [Волокитина и др., 2020]. Прорыв в этих исследованиях позволит решать значительное число задач практического и научного характера. Обзор научных публикаций указывает как на определенные достижения, так и на ряд нерешенных вопросов [Perminov, Goudov, 2017; Antonov et al., 2018; Гладской и др., 2019; Frangieh et al., 2020]: недостаточная обоснованность принимаемых в моделях уравнений и их коэффициентов для описаний кинетики физико-химических превращений и реакций [Барановский, Захаревич, 2019; Ласута, Гоман, 2019]; сложность выбора адекватных моделей турбулентности в газовой фазе [Сыродой, Кузнецов, 2018]; незначительное число аналитических решений и масштабных натуральных экспериментов, которые можно брать за эталон для верификации моделей. Наблюдается пробел между слишком упрощенными моделями, дающими прогнозы с большой погрешностью, и моделями с таким чрезмерным количеством параметров, что разработка быстродействующих численных методов для их решения становится самостоятельной проблемой [Баровик, Таранчук, 2011e].

Обзор научных статей и монографий позволяет условно разделить модели лесных пожаров по их математической «начинке» на следующие три группы [Баровик, Таранчук, 2011c]: теоретические, статистические [Гоман и др., 2011] и полуэмпирические [Баровик, Таранчук, 2011d, f].

При создании статистических (эмпирических) моделей основой являются: сбор и систематизация статистических данных о наблюдавшихся в прошлом скоростях распространения лесных пожаров в зависимости от выбранных и запротоколированных основных параметров (скорость ветра, температура окружающей среды, вид лесных насаждений и др.); статистическая обработка полученных результатов, определение коэффициентов корреляции между выбранными переменным и скоростью распространения огня. Прогноз в таких моделях дается с определенной вероятностью, полученные соотношения могут показать неудовлетворительные результаты в ситуациях, отличных от тех, в которых были собраны эмпирические данные [Гоман и др., 2011].

Полуэмпирические модели строятся на основе предположений о виде формул, описывающих скорости распространения пожара. Например, модель Ротермела предполагает, что низовой пожар распространяется в виде вытянутого по направлению ветра эллипса. Для связи между входными параметрами (угол рельефа, сила ветра, количество горючей растительности, ее влажность и т. п.) и скоростью фронта пожара привлекаются общие физические законы сохранения массы и энергии. Эти законы упрощаются путем замены в

выражениях целого ряда членов на коэффициенты, подбор которых для конкретных типов лесных насаждений и климатических условий производится путем обобщения экспериментальной информации. Практика показывает, что такие полуэмпирические модели более точны по сравнению со статистическими (эмпирическими) моделями. В то же время такие модели значительно проще в программной реализации по сравнению с теоретическими [Баровик, Таранчук, 2011d, f].

Для построения теоретических (математических) моделей привлекаются фундаментальные законы тепломассопереноса, горения, газовой динамики, химических реакций и др. Записываются такие модели в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных. Применение численных методов на высокопроизводительных компьютерах является основным инструментом для их решения. Вознаграждением за сложность таких моделей является то, что именно теоретические модели позволяют отвечать на широкий круг вопросов. Они дают возможность не только качественно, но и количественно исследовать динамику всего спектра величин в зоне пожара, тестировать различные методы по предотвращению, возникновению всех видов пожаров (низовых, верховых, пятнистых), развитию и их тушению с учетом конкретных климатических и территориальных факторов.

Профессором Гришиным А.М. [1992] была создана наиболее общая теоретическая модель распространения лесных и торфяных пожаров. Целый ряд исследователей [Perminov, Goudov, 2017; Кулешов, Мышецкая, 2019; Марзаева, 2019], включая авторов данной работы, берут модель Гришина за основу и модифицируют ее [Баровик, Таранчук, 2010b] для целей практического использования [Barovik, Taranchuk, 2010a].

Математическое описание процесса распространения низовых лесных пожаров

Ниже приводится двумерная (осредненная по высоте полога леса) математическая модель распространения лесных пожаров, позволяющая рассчитывать распределения по пространству и эволюцию по времени следующих величин: T – измеряемая в Кельвинах температура лесного массива как сплошной многофазной реагирующей среды; φ_j , $j = 1, 2, 3, 4$ – объемные доли компонент лесного горючего материала (ЛГМ), где через φ_1 обозначено сухое органическое вещество ЛГМ, φ_2 – содержащаяся в древесине (растительности) вода в связанной и свободной формах, φ_3 – коксик (древесный уголь), являющийся продуктом пиролиза ЛГМ в условиях недостатка кислорода, φ_4 – зола (негорючая минеральная часть ЛГМ); c_v , $v = 1, 2, 3$ – массовые концентрации компонентов газовой фазы, где c_1 – кислород, c_2 – горючие газы, возникающие в процессе термического разложения, c_3 – смесь остальных негорючих газов (водяной пар, как результат сушки; углекислый газ, выделяющийся при догорании коксика и окислении горючих газов; инертные компоненты воздушной смеси и продуктов реакций пиролиза и горения).

Предложенное ниже математическое описание позволяет учитывать следующие физико-химические процессы: теплоподвод, обусловленный конвекцией, теплопроводностью и радиационным излучением; нагрев ЛГМ; испарение воды из них (сушка); разложение сухого органического вещества ЛГМ (целлюлозы) на компоненты (газы, уголь, золу) под воздействием высокой температуры (пиролиз); горение газообразных и догорание твердых продуктов пиролиза. Детали упрощения модели, ее верификация, преобразования и получение уравнений, соображения о границах применимости, аппроксимирующая конечно-разностная схема и особенности возможной интерактивности при проведении расчетов приведены в статьях [Баровик, Таранчук, 2010c; Баровик, 2010].

В формулируемой начально-краевой задаче определяемыми функциями модели являются T , φ_1 , φ_2 , φ_3 , φ_4 , c_1 , c_2 , c_3 . Эти функции зависят как от времени, так и от пространственных координат, и связаны соотношениями (1–16):

$$\frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = \Phi_{\varphi_1}(\varphi_1, T), \quad \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = \Phi_{\varphi_2}(\varphi_2, T), \quad \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \Phi_{\varphi_3}(\varphi_1, \varphi_3, c_1, c_2, T), \quad \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial c_1}{\partial t} + (V, \text{grad}c_1) - \frac{1}{\rho_5} \text{div}(\rho_5 D_T \text{grad}c_1) = \Phi_{c_1}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, c_1, c_2, T), \quad (2)$$

$$\frac{\partial c_2}{\partial t} + (V, \text{grad}c_2) - \frac{1}{\rho_5} \text{div}(\rho_5 D_T \text{grad}c_2) = \Phi_{c_2}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, c_1, c_2, T), \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\rho_5 c_{p5} (V, \text{grad}T) - \text{div}(\lambda_T \text{grad}T)}{\rho_5 c_{p5} + \sum_{j=1}^4 \rho_j \varphi_j c_{pj}} = \Phi_T(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, c_1, c_2, T). \quad (4)$$

Функции (правые части), записанных дифференциальных уравнений:

$$\Phi_{\varphi_1}(\varphi_1, T) = -\frac{R_1}{\rho_1}, \quad \Phi_{\varphi_2}(\varphi_2, T) = -\frac{R_2}{\rho_2}, \quad \Phi_{\varphi_3}(\varphi_1, \varphi_3, c_1, c_2, T) = \frac{\alpha_c R_1}{\rho_3} - \frac{M_c R_3}{M_1 \rho_3}, \quad (5)$$

$$\Phi_{c_1}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, c_1, c_2, T) = \frac{1}{\rho_5} \left(R_{51} - c_1 Q - \frac{\alpha}{c_{p5} \Delta h} (c_1 - c_{1\infty}) \right), \quad (6)$$

$$\Phi_{c_2}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, c_1, c_2, T) = \frac{1}{\rho_5} \left(R_{52} - c_2 Q - \frac{\alpha}{c_{p5} \Delta h} (c_2 - c_{2\infty}) \right), \quad (7)$$

$$\Phi_T(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, c_1, c_2, T) = \frac{-q_2 R_2 + q_3 R_3 + q_5 R_5 - \frac{\alpha}{\Delta h} (T - T_\infty) - 4\kappa_R \sigma T^4}{\rho_5 c_{p5} + \sum_{j=1}^4 \rho_j \varphi_j c_{pj}}, \quad (8)$$

$$\sum_{v=1}^3 c_v = 1, \quad \rho_5 = \frac{\rho_\infty T_\infty}{M_\infty T} \left(\sum_{v=1}^3 \frac{c_v}{M_v} \right)^{-1}, \quad Q = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3, \quad (9)$$

$$R_1 = k_{01} \rho_1 \varphi_1 \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right), \quad R_2 = k_{02} T^{-1/2} \rho_2 \varphi_2 \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right), \quad R_3 = k_{03} s_\sigma \varphi_3 \rho_5 c_1 \exp\left(-\frac{E_3}{RT}\right), \quad (10)$$

$$R_{51} = -R_3 - \frac{R_5 M_1}{2M_2}, \quad R_{52} = (1 - \alpha_c) \nu_T R_1 - R_5, \quad R_5 = \rho_5 \min\left(c_2, \frac{M_2}{2M_1} c_2\right) k_{CO} \exp\left(-\frac{E_{CO}}{RT}\right). \quad (11)$$

Используются обозначения: t – время; рельефно-метеорологические характеристики задаются не возмущенной пожаром температурой T_∞ окружающей среды, направлением и скоростью ветра V , высотой моделируемого слоя ЛГМ Δh ; ρ_j , $j = 1, 2, 3, 4$ – истинная плотность φ_j -ой компоненты ЛГМ; ρ_5 – плотность смеси газов (газовой фазы); ρ_∞ – не возмущенная пожаром плотность воздуха; R – универсальная газовая постоянная; константы $c_{1\infty}$ и $c_{2\infty}$ – массовые концентрации кислорода и горючих газов в невозмущенной атмосфере; M_1, M_2, M_3, M_c и M_∞ – молекулярные массы кислорода, угарного газа, смеси негорючих газов, углерода (древесного угля) и не возмущенная пожаром молекулярная масса воздуха соответственно; c_{pj} , $j = 1, 2, 3, 4$ – теплоемкости φ_j -ых компонент ЛГМ; c_{p5} – теплоемкость газовой фазы ρ_5 ; Q – массовая скорость возникновения / исчезновения газовой фазы; λ_T и D_T – коэффициенты турбулентной теплопроводности и диффузии (для учета турбулентных процессов использован аналог теории Прандтля с постоянными числами Прандтля и Шмидта, обоснование и пределы применимости оговорены на стр. 247 и 312 в [Гришин, 1992]); через R с нижним числовым индексом обозначаются массовые реакции возникновения (исчезновения) различных элементов, где R_1 соответствует образованию кислорода в реакции пиролиза, R_2 – испарению воды φ_2 из ЛГМ (сушка φ_1), R_3 – исчезновению (горению) коксового остатка φ_3 ; s_σ – удельная поверхность коксика φ_3 ; R_{51}, R_{52} – массовые скорости образования кислорода c_1 и горючих газов c_2 ; α_c – коксовое число сухого ЛГМ, ν_T – доля газообразных горючих продуктов пиролиза ЛГМ; R_5 – массовая скорость горения (окисления) горючих газов; q_2, q_3 и q_5 – количества выделяемой / поглощаемой энергии (тепловые эффекты) в процессах испарения R_2 , горения

конденсированного горючего R_3 и газообразного горючего продукта пиролиза R_5 соответственно; α – коэффициент тепло- и газообмена, между атмосферой и моделируемым слоем ЛГМ; κ_R – коэффициент радиационного излучения лесного массива; σ – постоянная Стефана-Больцмана; k_{01}, k_{02}, k_{03} и E_1, E_2, E_3 – предэкспоненты и энергии активации соответствующих физико-химических реакций R_1, R_2, R_3 .

Существенной и неотъемлемой частью приведенной математической модели (1) – (11) является целый ряд коэффициентов и функций, характеризующих состав и пространственное распределение ЛГМ, а также скорости процессов сушки, пиролиза, горения и других. Выбор конкретных значений для оснастки модели производился на основе приведенных в литературных источниках справочных данных, а также результатах экспериментальных исследований [Гришин, 1992; Kuznetsov et al., 2019].

Начальные и граничные условия

Начальные распределения температуры T , объёмных долей φ_j и массовых концентраций c_v задаются во всей области моделирования. Обозначим границу этой области символом Γ . В начальный момент (время моделирования $t = 0$) весь лесной массив можно разбить на зону повышенной температуры, где происходят процессы пиролиза и горения, и две условные зоны G_- и G_+ . G_- соответствует уже сгоревшим участкам леса, а G_+ еще не затронутым пожаром областям, удаленным от очагов горения на такое расстояние, что эти подобласти характеризуются невозмущенными значениями $T_\infty, c_{1\infty}$ и $c_{2\infty}$. Взаимная геометрия указанных зон может быть весьма сложной, например, для многоочаговых пожаров. В очаге горения начальные распределения величин должны быть «самосогласованными», т. е. должно быть учтено наличие определённых связей физического характера между основными рассчитываемыми величинами. Вопросы задания «самосогласованных» начальных распределений в зоне пожара выходят за рамки данной статьи. Что касается подобластей «выжженная» G_- и «невыжженная» G_+ , то начальные распределения в них задаются следующим образом:

$$T(t, G_- \cup G_+) |_{t=0} = T_\infty; \tag{12}$$

$$c_1(t, G_- \cup G_+) |_{t=0} = c_{1\infty}, \quad c_2(t, G_- \cup G_+) |_{t=0} = c_{2\infty}, \quad c_3(t, G_- \cup G_+) |_{t=0} = 1 - c_{1\infty} - c_{2\infty}, \tag{13}$$

$$\varphi_1(t, G_+) |_{t=0} = \frac{\rho_0}{\rho_1}, \quad \varphi_2(t, G_+) |_{t=0} = (1 - \zeta)W \frac{\rho_0}{\rho_2}, \quad \varphi_3(t, G_+) |_{t=0} = 0, \quad \varphi_4 \equiv 0, \tag{14}$$

$$\varphi_1(t, G_-) |_{t=0} = 0, \quad \varphi_2(t, G_-) |_{t=0} = 0, \quad \varphi_3(t, G_-) |_{t=0} = \alpha_C \frac{\rho_0}{\rho_3}. \tag{15}$$

Здесь ρ_0, W и ζ – объёмная плотность, влагосодержание и зольность слоя ЛГМ соответственно, ρ_j ($j = 1, 2, 3, 4$) – плотности, соответствующие компонентам φ_j . Указанные распределения могут быть неоднородными в рассматриваемой области моделирования и задаются функциями от координат.

Граничные условия в моделируемой зоне Γ задаются естественным образом:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_\Gamma = 0, \quad \left. \frac{\partial c_1}{\partial n} \right|_\Gamma = 0, \quad \left. \frac{\partial c_2}{\partial n} \right|_\Gamma = 0. \tag{16}$$

О методе численного решения, исходных данных и геометрии модельной задачи

Записанная выше начально-краевая задача (1)–(16) решается численно с использованием системы *Wolfram Mathematica* [Barovik, Taranchuk, 2011a, b; Таранчук, Баровик, 2015]. Для аппроксимации применяются явные численные схемы с локально равномерной адаптируемой сеткой по пространству и переменным шагом по времени. Временные шаги выбираются из условий устойчивости численной схемы [Баровик и др.,

2013а, б] с учетом специфики и скоростей протекания физико-химических процессов на каждой конкретной итерации [Burger et al., 2020].

Рассмотрим модельную задачу распространения низового лесного пожара. Рассчитывается и анализируется динамика сопутствующих физико-химических процессов на площади в квадратной области 20 на 20 метров. Изучается процесс распространения пожара на участках, когда в центре области моделирования (в начале координат) «возникает» и начинает распространяться очаг горения. Для простоты описания считается, что направление ветра в пологе леса направлено по оси Ох (слева-направо на приведенных на рис. 1 графиках). При этом по направлению ветра, против ветра и перпендикулярно (на одном из флангов) имеются участки с отсутствием горючей растительности (поляны) [Taranchuk, Varovik, 2019]. Рассматриваются различные формы полян, а именно, круги, квадраты [Баровик, Таранчук, 2017] и прямоугольники.

На приведенных рисунках на заднем плане отображается плотность лесного горючего материала. Зеленым цветом показан незатронутый пожаром лес, а коричневым – участки с полным отсутствием горючего материала (поляны или уже сгоревший лес). На переднем плане рисунков цветовым градиентом отображаются карты распределения температуры в зоне горения.

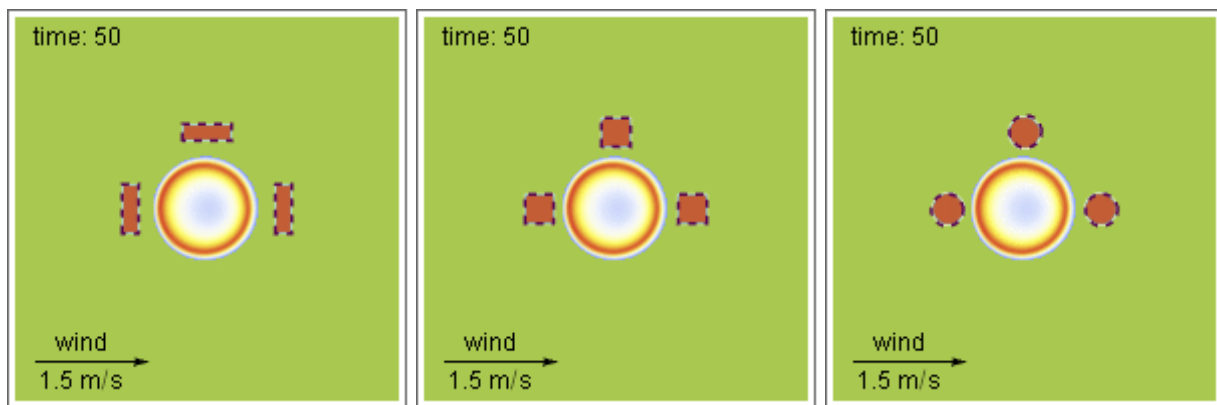


Рис. 1. Лесной пожар приближается к полянам различных форм
Fig. 1. Forest fire is approaching fuelbreaks of various shapes

Коэффициенты и определяющие параметры задачи, используемые при моделировании: температура окружающей среды $T_{\infty} = 304$ К, высота слоя горючей растительности $\Delta h = 0.25$ м, его объемная плотность $\rho_0 = 5$ кг/м³, влагосодержание $W = 10\%$, коксовое число $\alpha_c = 0.1$; истинные плотности компонент ЛГМ $\rho_1 = 500$ кг/м³, $\rho_2 = 1000$ кг/м³, $\rho_3 = 200$ кг/м³, $\rho_4 = 200$ кг/м³; $c_{1\infty} = 0.23$, $c_{2\infty} = 0$, $\rho_{\infty} = 1.15$ кг/м³; характеристики турбулентных процессов в газовой фазе $D_T = 1.5$ м²/с, $\lambda_T = 1000$ Дж/(м·с·К); коэффициенты энергообмена $\kappa_R = 1.5$ м⁻¹, $\alpha = 100$ Вт/(м²·К); молекулярные массы $M_1 = 32$, $M_2 = 28$, $M_3 = 29$, $M_C = 12$, $M_{\infty} = 29$; теплоемкости $c_{p1} = 2000$ Дж/(кг·К), $c_{p2} = 4180$ Дж/(кг·К), $c_{p3} = 900$ Дж/(кг·К), $c_{p4} = 1000$ Дж/(кг·К), $c_{p5} = 1000$ Дж/(кг·К); $\nu_T = 0.8$, $s_{\sigma} = 1000$ м⁻¹; коэффициенты физико-химических реакций $q_2 = 3 \cdot 10^6$ Дж/кг, $q_3 = 1.2 \cdot 10^7$ Дж/кг, $q_5 = 10^7$ Дж/кг, $k_{01} = 3.63 \cdot 10^4$ с⁻¹, $k_{02} = 6 \cdot 10^5$ К^{0.5}·с⁻¹, $k_{03} = 1000 \cdot$ с⁻¹, $E_1 / R = 9400$ К, $E_2 / R = 6000$ К, $E_3 / R = 10000$ К.

Результаты моделирования преодоления пожаром полян различной формы

На рис. 2–4 приводятся расчеты при равновесной скорости ветра на середине высоты пламени $V = 1.5$ м/с. Показаны три формы полян: прямоугольники (см. рис. 2), квадраты (см. рис. 3) и круги (см. рис. 4). Геометрия отличается только формой полян, а площади полян и их расположения идентичны для всех трех расчетов. Также совпадают и приведенные на рисунках моменты времени для разных форм полян.

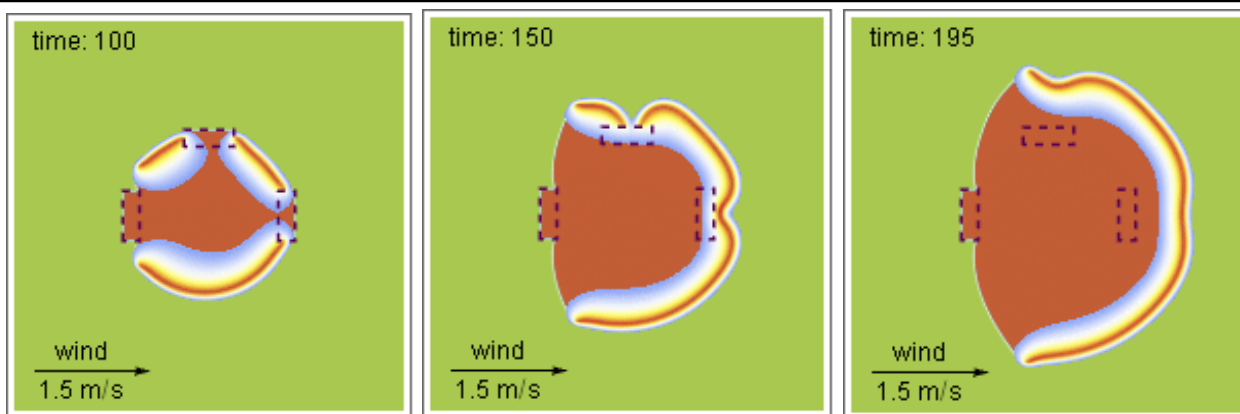


Рис. 2. Распространение пожара для случая полей прямоугольной формы
 Fig. 2. Fire spread for the case of rectangular fuelbreaks

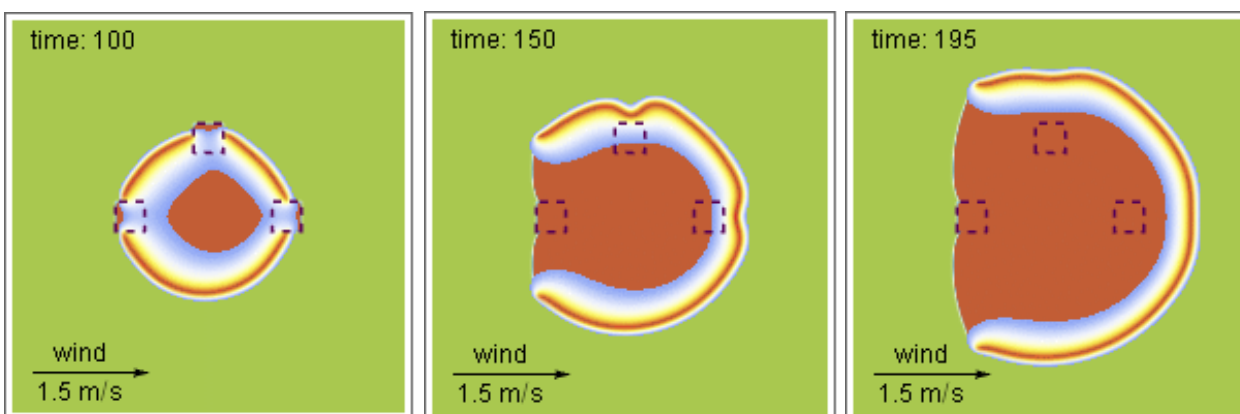


Рис. 3. Распространение пожара для случая полей квадратной формы
 Fig. 3. Fire spread for the case of quadratic fuelbreaks

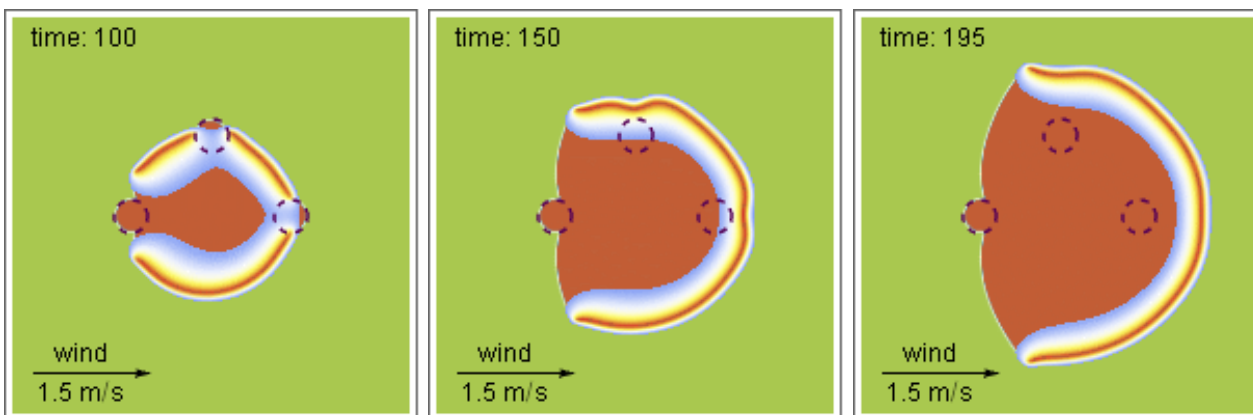


Рис. 4. Распространение пожара для случая полей в виде кругов при скорости ветра 1.5 м/с
 Fig. 4. Fire spread for the case of circular fuelbreaks at wind velocity 1.5 m/s

Качественно наблюдается следующее поведение. Сначала линия контура пожара разрывается, встретившись с полями. Пожар «огibt» поляны. По направлению «против ветра» распространение пожара прекращается. А «по ветру» и «перпендикулярно» ветру разорванные контуры пожара вновь смыкаются и пожар распространяется единым фронтом. Заметно различие в результирующей конфигурации фронта после преодоления разных форм полей.

Учет влияния скорости ветра

Рассмотрим влияние динамики лесного пожара при различных скоростях ветра [Таранчук, Баровик, 2017]. В данном случае будет рассматриваться случай наличия круглых полян. Выше (см. рис. 4) показан расчет для скорости ветра $V = 1.5$ м/с.

На рис. 5 и 6 приведены два дополнительных расчета, отличающихся от расчета рис. 4 только тем, что скорости ветра V равны 1 (один) и 2 (два) м/с соответственно. Особый интерес вызывает рис. 5. При слабых скоростях ветра пожар успешно преодолевают поляны во всех направлениях, в т. ч. и против ветра. Заметно и то, что ширина пожара во фронте более узкая, чем на флангах, а в тылу ширина пожара максимальна.

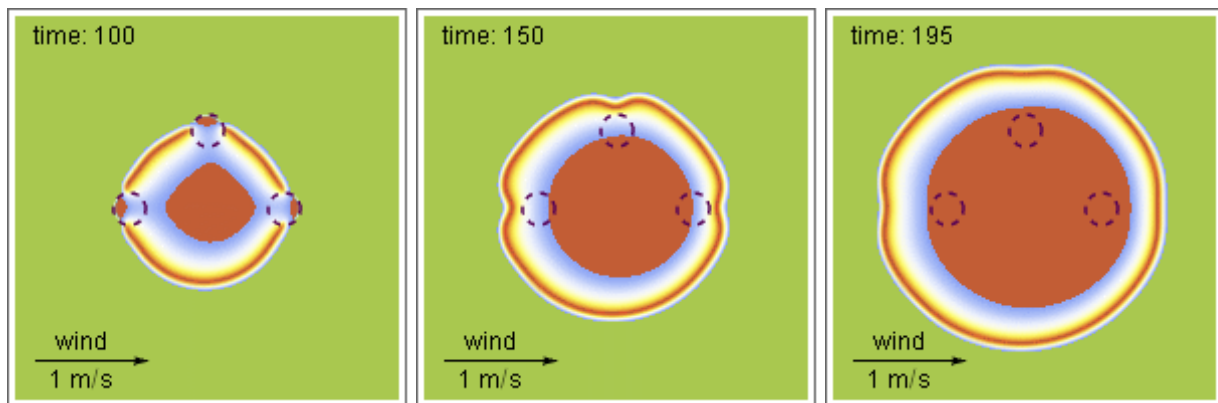


Рис. 5. Распространение пожара для случая полян в виде кругов при скорости ветра 1 м/с
Fig. 5. Fire spread for the case of circular fuelbreaks at wind velocity 1 m/s

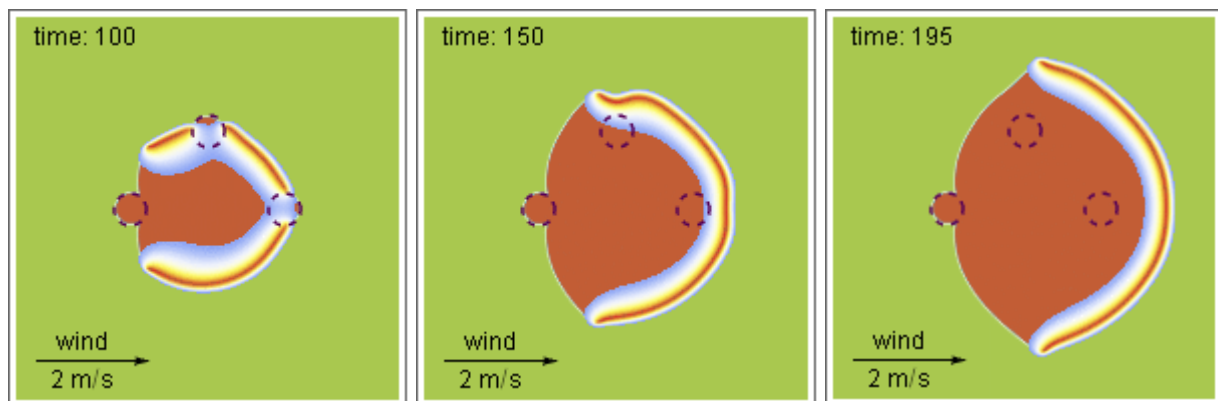


Рис. 6. Распространение пожара для случая полян в виде кругов при скорости ветра 2 м/с
Fig. 5. Fire spread for the case of circular fuelbreaks at wind velocity 2 m/s

Заключение

На приведенных изображениях визуализированы только два (температура и объемная плотность сухих лесных горючих материалов) из шести рассчитываемых величин. По факту в модели вычисляются распределения величин, позволяющие оценить: появление и объем выделяемого водяного пара, выброс загрязняющих окружающую среду газов, образование угля и золы, расчет иных важных с практической точки зрения физико-химических процессов, влияющих на экологию [Таранчук, Баровик, 2014].

Нерешенным остается вопрос трудоемкости вычислений, невозможность использования модели в режиме реального времени. Разумным представляется подход, при котором результаты вычислительных экспериментов автоматически протоколируются в базах данных типовых сценариев развития процессов [Баровик, 2010], производится их интеллектуальная обработка [Таранчук, 2019], унификация, введение признаков и категорий, отнесение результатов серий расчетов лесных пожаров к конкретным территориям и климатическим условиям. В дальнейшем соответствующие каталоги могут использоваться в программных комплексах с полуэмпирическими моделями [Баровик и др., 2011, 2013с].

Список литературы

1. Барановский Н.В., Захаревич А.В. 2019. Физическое моделирование процессов зажигания еловой хвои углеродистой нагретой до высоких температур частицей. Вопросы лесной науки, 2 (1): 1–15. DOI: 10.31509/2658-607x-2019-2-1-1-15.
2. Баровик Д.В., Таранчук В.Б. 2017. Моделирование процессов распространения низовых лесных пожаров при наличии полей на пути огня. Математические методы в технике и технологиях – ММТТ, Том 12, Часть 1: 109–113.
3. Баровик Д.В., Таранчук В.Б. 2011с. Состояние проблемы и результаты компьютерного прогнозирования распространения лесных пожаров. Вестник БГУ. Серия 1, Физика. Математика. Информатика, 3: 78–84.
4. Баровик Д.В., Таранчук В.Б. 2011d. О развитии методики Ротермела и реализации двумерной компьютерной модели прогноза распространения лесных пожаров. Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта, 6 (66): 5–11.
5. Баровик Д.В., Таранчук В.Б. 2011e. Алгоритмические основы построения компьютерной модели прогноза распространения лесных пожаров. Вестник ПГУ. Серия С: Фундаментальные науки, 12: 51–56.
6. Баровик Д.В., Таранчук В.Б. 2011f. Адаптация модели Ротермела для реализации в программном комплексе прогноза распространения лесных пожаров. Технологии техносферной безопасности, 6 (40): 6.
7. Баровик Д.В., Таранчук В.Б. 2010b. Об особенностях адаптации математических моделей вершинных верховых лесных пожаров. Вестник БГУ. Серия 1, Физика. Математика. Информатика, 1: 138–143.
8. Баровик Д.В., Таранчук В.Б. 2010с. Численная реализация математической модели верховых лесных пожаров. Весці БДПУ. Серыя 3, 2 (64): 40–44.
9. Баровик Д.В. и др. 2013а. К обоснованию математических моделей низовых лесных пожаров. Труды института математики, 21 (1): 3–15.
10. Баровик Д.В. и др. 2013b. О корректности одной математической модели низовых лесных пожаров. Доклады Национальной академии наук Беларуси, 57 (4): 5–9.
11. Баровик Д.В. и др. 2013с. Структура и функционал модуля «оперативно-аналитический блок» программного комплекса регистрации и обработки сообщений о чрезвычайных ситуациях. Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация, 2 (34): 84–94.
12. Баровик Д.В. и др. 2011. Методические и алгоритмические основы программного комплекса «Расчет и визуализация динамики лесного пожара». Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация, 2 (30): 22–33.
13. Баровик Д.В. 2010. Базы данных результатов численного моделирования (на примере задачи распространения лесных пожаров). Вестник БГУ. Серия 1, Физика. Математика. Информатика, 2: 170–174.
14. Волокитина А.В. и др. 2020. Прогнозирование поведения пожаров растительности. Лесной журнал, 1: 9–25. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-9-25.
15. Гладской И.Б. и др. 2019. К моделированию распространения природных пожаров с использованием ГИС-технологий. Экологический вестник центров Черноморского экономического сотрудничества, 16 (4): 13–21. DOI: 10.31429/vestnik-16-4-13-21.
16. Гоман П.Н. и др. 2011. Экспериментально-численное моделирование процесса горения и распространения огня в условиях лесного низового пожара. Технологии техносферной безопасности, 3 (37): 8.
17. Гришин А.М. 1992. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 408.
18. Кулешов А.А., Мышецкая Е.Е. 2019. Результаты расчетов распространения фронта лесных пожаров по двумерной трехфазной модели. Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 115: 1–9. DOI: 10.20948/prepr-2019-115.
19. Ласута Г.Ф., Гоман П.Н. 2019. Моделирование процессов возникновения и распространения лесного низового пожара с оценкой уровня тепловой нагрузки от фронта пламени. Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, 3 (2): 138–154. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-2.138.
20. Марзаева В.И. 2019. Математическое моделирование распространения верховых лесных пожаров при наличии противопожарных разрывов и заслонов. Журнал технической физики, том 89, вып. 8: 1141–1149. DOI: 10.21883/JTF.2019.08.47883.392-18.
21. Чешко И.Д. и др. 2019. Экспертное исследование природных пожаров: Методическое пособие. СПб.: СПб университет ГПС МЧС России, 252.

22. Сыродой С.В., Кузнецов Г.В. 2018. Влияние кинетической модели описания процессов термического разложения на результаты математического моделирования загорания частиц древесной биомассы. Труды седьмой Российской национальной конференции по теплообмену. В 3х томах. М.: Издательский дом МЭИ: Том 1: 457-460.
23. Таранчук В.Б., Баровик Д.В. 2017. Методы, средства, отдельные результаты компьютерного моделирования низовых лесных пожаров. Информационные технологии и системы 2017 (ИТС 2017): материалы международной научной конференции. Минск: БГУИР: 178–179.
24. Таранчук В.Б., Баровик Д.В. 2015. О средствах Wolfram Mathematica для распараллеливания вычислений в компьютерных моделях лесных пожаров. Веб-программирование и интернет-технологии WebConf 2015. Минск: Белорусский государственный университет: 108-109.
25. Таранчук В.Б., Баровик Д.В. 2014. Компьютерное моделирование лесных пожаров. Наука, инновации, инвестиции: сборник материалов 2-го Белорусско-Латвийского форума. Минск: Белорусский национальный технический университет: 73-75.
26. Таранчук В.Б. 2019. Методы и примеры интеллектуальной обработки данных для геологических моделей. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 46 (3): 511–522. DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-3-511-522.
27. Antonov D. et al. 2018. Experimental and Numerical Studies of Suppression of Forest Combustible Material Pyrolysis under Influence of Steam-Water Curtain. MATEC Web of Conferences: Heat and mass transfer in the thermal control system of technical and technological energy equipment, HMTTSC 2018, EDP Sciences: 01003.
28. Barovik D.V., Taranchuk V.B. 2011a. Crown Forest Fire Mathematical Model Realization in Wolfram Mathematica. Computer Algebra Systems in Teaching and Research, Vol. Mathematical Modeling in Physics, Civil Engineering, Economics and Finance: 5–15. ISBN: 978-83-930638-5-7.
29. Barovik D.V., Taranchuk V.B. 2011b. Results of Crown Forest Fires Mathematical Modelling. Computer Algebra Systems in Teaching and Research. Computer Algebra Systems in Teaching and Research, Vol. Mathematical Modeling in Physics, Civil Engineering, Economics and Finance: 16–22. ISBN: 978-83-930638-5-7.
30. Barovik D., Taranchuk V. 2010a. Mathematical modelling of running crown forest fires. Mathematical Modelling and Analysis, 15 (2): 161–174. DOI: 10.3846/1392-6292.2010.15.161-174.
31. Burger R. et al. 2020. Implicit-Explicit Methods for a Convection-Diffusion-Reaction Model of the Propagation of Forest Fires. Mathematics 2020, 8 (6): 1034. DOI: 10.3390/math8061034.
32. Dvornik A.A. et al. 2018. Potential threat to human health during forest fires in the Belarusian exclusion zone. Aerosol Science and Technology, 52 (8): 923–932. DOI: 10.1080/02786826.2018.1482408.
33. Frangieh N. et al. 2020. Wildfires front dynamics: 3D structures and intensity at small and large scales. Combustion and Flame, 211: 54–67. DOI: 10.1016/j.combustflame.2019.09.017.
34. Kuznetsov G.V. et al. 2019. Heat transfer and phase transformations in the localization of forest fuel combustion. Interfacial Phenomena and Heat Transfer, 7 (2): 167–195. DOI: 10.1615/InterfacPhenomHeatTransfer.2019031564.
35. Perminov V., Goudov A. 2017. Mathematical modeling of forest fires initiation, spread and impact on environment. International Journal of GEOMATE, 13 (35): 93–99. DOI: 10.21660/2017.35.6704.
36. Taranchuk V., Barovik D. 2019. Numerical Modelling of Surface Forest Fire Spread in Nonuniform Woodland. Computer Algebra Systems in Teaching and Research (CASTR 2019), Vol. VIII: 159 – 168. ISBN: 978-83-7051-956-8.
37. theguardian.com. 2020. Economic impact of Australia’s bushfires set to exceed \$4.4bn cost of Black Saturday. Available at: www.theguardian.com/australia-news/2020/jan/08/economic-impact-of-australias-bushfires-set-to-exceed-44bn-cost-of-black-saturday (accessed 1 July 2020).
38. wwf.org.ua. 2020. Statement from WWF-Australia on Australia’s bushfire emergency. Available at: www.wwf.org.au/news/news/2020/statement-from-wwf-australia-on-australia-s-bushfire-emergency (accessed 1 July 2020).

References

1. Antonov D. et al. 2018. Experimental and Numerical Studies of Suppression of Forest Combustible Material Pyrolysis under Influence of Steam-Water Curtain. MATEC Web of Conferences: Heat and mass transfer in the thermal control system of technical and technological energy equipment, HMTTSC 2018, EDP Sciences: 01003.

2. Barovik D.V., Taranchuk V.B. 2011a. Crown Forest Fire Mathematical Model Realization in Wolfram Mathematica. Computer Algebra Systems in Teaching and Research, Vol. Mathematical Modeling in Physics, Civil Engineering, Economics and Finance: 5–15. ISBN: 978-83-930638-5-7.
3. Barovik D.V., Taranchuk V.B. 2011b. Results of Crown Forest Fires Mathematical Modelling. Computer Algebra Systems in Teaching and Research. Computer Algebra Systems in Teaching and Research, Vol. Mathematical Modeling in Physics, Civil Engineering, Economics and Finance: 16–22. ISBN: 978-83-930638-5-7.
4. Barovik D., Taranchuk V. 2010a. Mathematical modelling of running crown forest fires. *Mathematical Modelling and Analysis*, 15 (2): 161–174. DOI: 10.3846/1392-6292.2010.15.161-174.
5. Burger R. et al. 2020. Implicit-Explicit Methods for a Convection-Diffusion-Reaction Model of the Propagation of Forest Fires. *Mathematics* 2020, 8 (6): 1034. DOI: 10.3390/math8061034.
6. Dvornik A.A. et al. 2018. Potential threat to human health during forest fires in the Belarusian exclusion zone. *Aerosol Science and Technology*, 52 (8): 923–932. DOI: 10.1080/02786826.2018.1482408.
7. Frangieh N. et al. 2020. Wildfires front dynamics: 3D structures and intensity at small and large scales. *Combustion and Flame*, 211: 54–67. DOI: 10.1016/j.combustflame.2019.09.017.
8. Kuznetsov G.V. et al. 2019. Heat transfer and phase transformations in the localization of forest fuel combustion. *Interfacial Phenomena and Heat Transfer*, 7 (2): 167–195. DOI: 10.1615/InterfacPhenomHeatTransfer.2019031564.
9. Perminov V., Goudov A. 2017. Mathematical modeling of forest fires initiation, spread and impact on environment. *International Journal of GEOMATE*, 13 (35): 93–99. DOI: 10.21660/2017.35.6704.
10. Taranchuk V., Barovik D. 2019. Numerical Modelling of Surface Forest Fire Spread in Nonuniform Woodland. *Computer Algebra Systems in Teaching and Research (CASTR 2019)*, Vol. VIII: 159–168. ISBN: 978-83-7051-956-8.
11. theguardian.com. 2020. Economic impact of Australia's bushfires set to exceed \$4.4bn cost of Black Saturday. Available at: www.theguardian.com/australia-news/2020/jan/08/economic-impact-of-australias-bushfires-set-to-exceed-44bn-cost-of-black-saturday (accessed 1 July 2020).
12. wwf.org.ua. 2020. Statement from WWF-Australia on Australia's bushfire emergency. Available at: www.wwf.org.au/news/news/2020/statement-from-wwf-australia-on-australia-s-bushfire-emergency (accessed 1 July 2020).
13. Baranovskiy N.V., Zakharevich A.V. 2019. Experimental modelling of spruce needles ignition by the carbonaceous heated up to high temperatures particle. *Forest science issues*, 2 (1): 1–15 (in Russian). DOI: 10.31509/2658-607x-2019-2-1-1-15.
14. Barovik D.V., Taranchuk V.B. 2017. Modelirovanie protsessov rasprostraneniya nizovykh lesnykh pozharov pri nalichii polyan na puti ognya [Modeling of ground forest fires spread processes in case of fuelbreaks presence]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh – MMTT [Mathematical methods in engineering and technology – MMET]*, Vol 12, Part 1: 109–113.
15. Barovik D.V., Taranchuk V.B. 2011c. Sostoyanie problemy i rezul'taty komp'yuternogo prognozirovaniya rasprostraneniya lesnykh pozharov [State of the problem and results of computer forecasting of the spread of forest fires]. *Vestnik BGU. Seriya 1, Fizika. Matematika. Informatika [BSU Bulletin. Series 1, Physics. Mathematics. Computer Science]*, 3: 78–84.
16. Barovik D.V., Taranchuk V.B. 2011d. On Rothermel's model improvement and implementation of two-dimensional computer model of forest fire spread prediction. *Vesnik Vitsebskaga dzyarzhaynaga universiteta*, 6 (66): 5–11 (in Russian).
17. Barovik D.V., Taranchuk V.B. 2011e. Algorithmic fundamentals of computer model for forest fires prediction. *Vestnik PGU. Seriya C: Fundamental'nye nauki*, 12: 51–56 (in Russian).
18. Barovik D.V., Taranchuk V.B. 2011f. Rothermel's model adaptation for implementation in forest fires forecast software. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 6 (40): 6 (in Russian).
19. Barovik D.V., Taranchuk V.B. 2010b. Ob osobennostyakh adaptatsii matematicheskikh modeley vershinnykh verkhovykh lesnykh pozharov [The adaptation of the features of mathematical models of top crown forest fire]. *Vestnik BGU. Seriya 1, Fizika, Matematika, Informatika [BSU Bulletin. Series 1, Physics. Mathematics. Computer Science]*, 1: 138–143.
20. Barovik D.V., Taranchuk V.B. 2010c. Chislennaya realizatsiya matematicheskoy modeli verkhovykh lesnykh pozharov [Numerical implementation of mathematical models of upland forest fires]. *Vesti BDPU. Seriya 3 [BSPU News. Series 3]*, 2 (64): 40–44 (in Russian).
21. Barovik D.V. et al. 2013a. Methods of forest fires computer modelling, 21 (1): 3–15 (in Russian).
22. Barovik D.V. et al. 2013b. On the correctness of a mathematical model of ground forest fires. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi*, 57 (4): 5–9 (in Russian).

23. Barovik D.V. et al. 2013c. Struktura i funktsional modulya "operativno-analiticheskiy blok" programmnoy kompleksa registratsii i obrabotki soobshcheniy o chrezvychaynykh situatsiyakh [The structure and functionality of the module "operational analysis unit" software package for recording and processing of emergency messages]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya* [Emergency situations: prevention and elimination], 2 (34): 84–94.
24. Barovik D.V. et al. 2011. Metodicheskie i algoritmicheskie osnovy programmnoy kompleksa "Raschet i vizualizatsiya dinamiki lesnogo pozhara" [Methodological and algorithmic foundations of software "Calculation and visualization of the dynamics of forest fires"]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya* [Emergency situations: prevention and elimination], 2 (30): 22–33.
25. Barovik D.V. 2010. Bazy dannykh rezul'tatov chislennogo modelirovaniya (na primere zadachi rasprostraneniya lesnykh pozharov) [Databases numerical simulation results (for example, the problem of propagation of forest fires)]. *Vestnik BGU. Seriya 1, Fizika. Matematika. Informatika* [BSU Bulletin. Series 1, Physics. Mathematics. Computer Science], 2: 170–174.
26. Volokitina A.V. et al. 2020. Vegetation fire behavior prediction. *Lesnoy zhurnal*, 1: 9–25 (in Russian). DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-9-25.
27. Gladskoy I.B. et al. 2019. To modeling the spread of forest fires using GIS technologies. *Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation*, 16 (4): 13–21 (in Russian). DOI: 10.31429/vestnik-16-4-13-21
28. Goman P.N. et al. 2011. Experimental and numerical simulation of combustion as well as the spread of fire in the forest groundfire. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 3 (37): 8 (in Russian).
29. Grishin A.M. 1997. *Mathematical modeling of forest fires and new methods of fighting them*. Ed. by Albin F. Tomsk, Russia: Tomsk State University, 390.
30. Kuleshov A.A., Myshetskaya E.E. 2019. Results of computation of the forest fires front propagation based on a two-dimensional three-phase model. *KIAM Preprint*, 115: 1–9 (in Russian). DOI: 10.20948/prepr-2019-115.
31. Lasuta G.F., Goman P.N. 2019. Modeling of the processes of the occurrence and spread of forest groundfire with the estimation of the level of flame front heat load. *Journal of Civil Protection*, 3 (2): 138–154 (in Russian). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-2.138.
32. Marzaeva V.I. 2019. *Mathematical Modeling of Canopy Forest Fire Spread in the Presence of Fire Breaks and Barriers*. *Technical Physics*, volume 64: 1073–1081. DOI: 10.21883/JTF.2019.08.47883.392-18.
33. Cheshko I.D. et al. 2019. *Ekspertnoe issledovanie prirodnykh pozharov: Metodicheskoe posobie* [Expert research wildfires: Methodological guide]. SPb.: SPb universitet GPS MChS Rossii, 252.
34. Syrodoy S.V., Kuznetsov G.V. 2018. Vliyanie kineticheskoy modeli opisaniya protsessov termicheskogo razlozheniya na rezul'taty matematicheskogo modelirovaniya zazhiganiya chastits drevesnoy biomassy [Effect of kinetic model descriptions of the processes of thermal decomposition of mathematical modeling ignition woody biomass particles]. *Trudy sed'moy Rossiyskoy natsional'noy konferentsii po teploobmenu* [Proceedings of the Seventh Russian National Heat Transfer Conference]. M.: Izdatel'skiy dom MEI: Vol 1: 457–460.
35. Taranchuk V.B., Barovik D.V. 2017. *Metody, sredstva, otdel'nye rezul'taty komp'yuternogo modelirovaniya nizovykh lesnykh pozharov* [Methods, tools, individual results of computer modeling of local forest fires.] *Informatsionnye tekhnologii i sistemy 2017 (ITS 2017): materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Information Technologies and Systems 2017 (ITS 2017): Proceedings of the International Scientific Conference]. Minsk: BGUIR: 178–179.
36. Taranchuk V.B., Barovik D.V. 2015. *O sredstvakh Wolfram Mathematica dlya rasparallelivaniya vychisleniy v komp'yuternykh modelyakh lesnykh pozharov* About Wolfram Mathematica tools for parallel computing in computer models of forest fires]. *Veb-programmirovaniye i internet-tekhnologii WebConf 2015* [Web Development and Internet Technologies WebConf 2015]. Minsk: Belorusskiy gosudarstvennyy universitet: 108–109.
37. Taranchuk V.B., Barovik D.V. 2014. *Komp'yuternoe modelirovaniye lesnykh pozharov* [Computer simulation of forest fires]. *Nauka, innovatsii, investitsii: sbornik materialov 2-go Belorussko-Latviyskogo foruma*. [Science, innovations, investments: collection of materials of the 2nd Belarusian-Latvian Forum]. Minsk: Belorusskiy natsional'nyy tekhnicheskii universitet: 73–75.
38. Taranchuk V.B. 2019. *Methods and examples of intelligent data processing for geological models*. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*. 46 (3): 511–522 (in Russian). DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-3-511-522.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Таранчук Валерий Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры компьютерных технологий и систем факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета, г. Минск, Беларусь

Баровик Дмитрий Валентинович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры компьютерных технологий и систем факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета, г. Минск, Беларусь

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valery B. Taranchuk, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computer Technologies and Systems, Faculty of Applied Mathematics and Informatics, Belarusian State University, Minsk, Belarus

Dmitry V. Barovik, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Technologies and Systems, Faculty of Applied Mathematics and Informatics, Belarusian State University, Minsk, Belarus

УДК 001.51; 005

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-623-637

Нормативная система системно-объектного анализа и моделирования

В.В. Михелёв¹, С.И. Маторин², А.Г. Жихарев¹

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

² ЗАО «СофтКоннект», Россия, 308023, г. Белгород, ул. Студенческая, 19, кор. 1
E-mail: keeper121@ya.ru, matorin@softconnect.ru, zhikharev@bsu.edu.ru

Аннотация

В статье обсуждается возможность создания формально-семантической нормативной системы системно-объектного анализа и моделирования. Система рассматривается в рамках системно-объектного подхода в виде конструкции «Узел-Функция-Объект», формализуемой с помощью дескрипционной логики. Предложена классификация систем, которая использует классификацию потоков связей и узлов, входящую в концепцию системно-объектного подхода. Представлена концептуальная классификационная схема для системных компонент. Описаны её свойства, на ее основе разрабатывается способ задания формального алфавита узлов связей систем, имеющего конкретное предметное содержание. Также представлены правила манипулирования получаемыми алфавитными символами. Обосновывается возможность и целесообразность построения нормативной системы, обладающей повышенными выразительными возможностями. Рассматривается пример использования формально-семантического алфавита системных элементов, демонстрирующий возможности упрощения процедуры графоаналитического моделирования сложной системы.

Ключевые слова: системно-объектный подход, формализация, элемент «Узел-Функция-Объект», дескрипционная логика ALCHOIQ(D), нормативная система, алфавитные узлы.

Благодарности: работа поддержана грантами РФФИ 18-07-00355а, 18-07-00356а, 19-07-00290а и № 19-07-00111а, 19-29-01047мк.

Для цитирования: Михелёв В.В., Маторин С.И., Жихарев А.Г. 2020. Нормативная система системно-объектного анализа и моделирования. Экономика. Информатика. 47 (3): 623–637. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-623-637.

Normative system of system-object analysis and modeling

V.V. Mikhelev¹, S.I. Matorin², A.G. Zhikharev¹

¹ Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

² «SoftConnect» CJSC, 19 cor.1 Student St., Belgorod, 308023, Russia

E-mail: keeper121@ya.ru, matorin@softconnect.ru, zhikharev@bsu.edu.ru

Abstract

The article discusses the possibility of creating a formal-semantic normative system of system-object analysis and modeling. The system is considered in the framework of the system-object approach in the form of a design "Union-Function-Object", formalized using descriptive logic. A classification of systems is proposed that uses the classification of communication flows and nodes, which is part of the concept of a system-object approach. A conceptual classification scheme for system components is presented. Its properties are described; on its basis, a method is being developed for specifying the formal alphabet of system connection nodes with a specific objective content. Also presented are the rules for manipulating the resulting alphabetical characters. The possibility and expediency of building a regulatory system with enhanced expressive capabilities are substantiated. An example of the use of the formal semantic alphabet of system elements is considered, which demonstrates the possibility of simplifying the procedure of graphic-analytical modeling of a complex system.

Keywords: system-object approach, formalization, element «Union-Function-Object», ALCHOIQ(D) descriptive logic, normative system, alphabet nodes.

Acknowledgements: the research is financially supported by the projects of the Russian Foundation for Fundamental Research No 18-07-00355a, 18-07-00356a, 19-07-00290a and № 19-07-00111a, 19-29-01047mk.

For citation: Mikhelev V.V., Matorin S.I., Zhikharev A.G. 2020. Normative system of system-object analysis and modeling. Economics. Information technologies. 47 (3): 623–637 (in Russian). DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-3-623-637.

Введение

Системный анализ представляет собой так называемую «нормативную методологию» [Никаноров, 1969]. В развитии этой идеи в работах [Кондаков, 1975; Горский, 1990] вводится понятие *нормативная система* для описания метода системного анализа. Нормативная система представляет построенную *генетическим*, а не *аксиоматическим* способом *формальную систему*. Такая система должна использовать некоторый алфавит и синтаксис, как правила манипулирования им, причём без использования исходных постулируемых утверждений (аксиом). «Генетический способ характеризуется прежде всего тем, что в качестве исходных он рассматривает некоторую совокупность объектов, из которых по определенным правилам строятся затем новые объекты» [Горский, 1990, с. 54]. Примерами формальных систем, построенных генетическим способом, являются теория паттернов Гренандера, исчисление процессов Милнера и теория объектов Абади-Кардели.

Частью любой нормативной системы (как и любой формальной системы/теории) является алфавит. Он включает в себя знаки (символы), используемые для записи по определенным правилам выражений (формул) и осуществления вывода. Считается, что эти знаки рассматриваются формально, без какой бы то ни было содержательной интерпретации. «Интерпретацию знаки формальной системы могут получить (а могут и не получить) уже после создания теории» [Петров, 1977; Маслов, 1986].

«Наука о знаковых системах бескомпромиссно утверждает, что любой знак всегда представляет собой единство означающего и означаемого, формы и содержания» [Степанова, 1983]. Таким образом, знаки алфавита нормативной (формальной) системы, должны иметь содержательную интерпретацию до включения их в какое-либо выражение. При этом применение знаков любой формальной системы всегда предполагает знание и использование их смысла. Например, совершенно очевидно, что выражения « $A \wedge B$ » и « $A \vee B$ » различаются между собой не только по форме значка, стоящего между « A » и « B », но, в первую очередь, по стоящему за этой формой смыслу.

Гильбертовское заблуждение (получившее, к сожалению, широкое распространение [Гильберт, 1979]) относительно отсутствия содержания у знаков нормативной (формальной) системы и является источником причины, по которой традиционная математика не в состоянии описывать весьма содержательные собственно системные свойства и отношения.

Естественный язык является знаковой системой и позволяет понять, как предметно-ориентированное содержание может быть приписано знакам алфавита формальной системы. Например, в языке делового общения, содержащем термины, имеющие понятийное содержание, «исходная совокупность слов составляет иерархическую систему понятий (терминов), т. е. концептуальную классификационную структуру» [Matorin, 1998, 1 и 2]. Такая структура обладает свойством адаптивности к предметной области, так как слова могут и добавляться, и удаляться из нее. Следовательно, есть возможность использовать концептуальную классификационную схему для определения смысла алфавитных символов нормативной системы. С ее помощью может быть решена задача построения нормативной системы, обладающей повышенными выразительными возможностями.

Рассмотрим каким образом может быть построена нормативная система системно-объектного анализа с помощью концептуальной классификационной модели и какими особенностями она будет обладать.

1. Особенности системно-объектного подхода и его формализация средствами дескрипционной логики

В системно-объектном подходе *система* рассматривается как «функциональный объект, функция которого обусловлена функцией объекта более высокого яруса» (т. е. функцией надсистемы), что в целом соответствует пониманию системы, данному в работе [Мельников, 1978]. «Подобное содержательное определение системы уточнено авторами путем представления системы в виде триединой конструкции «Узел-Функция-Объект» (*УФО-элемент*), в которой *узел* – перекресток входных и выходных связей/потокосов системы, *функция* – процесс преобразования входных потокосов в выходных, *объект* – совокупность субстанциальных характеристик системы» [Теория систем ... , 2020]. Такое представление системы позволяет, в свою очередь, используя исчисление объектов Абади-Кардели [Abadi, Cardelli, 1996], считать систему $s = [\mathbf{us}; \mathbf{fs}; \mathbf{Os}]$ специальным объектом данного исчисления, состоящим из полей и методов, который будем называть *узловым объектом* [Жихарев и др., 2015].

«Здесь узел системы $\mathbf{us} \leftrightarrow \mathbf{Ls}^? \cup \mathbf{Ls}^!$ формально представляет собой поля узлового объекта для описания объектов еще одного специального вида, называемых нами *потокосовыми объектами* [Жихарев и др., 2015], которые соответствуют множеству функциональных связей данной системы; $\mathbf{Ls}^?$ – множество входящих интерфейсных потокосовых объектов, которые соответствуют входящим связям системы s ; $\mathbf{Ls}^!$ – множество исходящих интерфейсных потокосовых объектов, которые соответствуют исходящим связям системы s ; $\mathbf{Ls}^? \subset \mathbf{L}$ и $\mathbf{Ls}^! \subset \mathbf{L}$, т. е. относятся к множеству всех связей \mathbf{L} (потокосовых объектов)».

«Функция системы $\mathbf{fs}: \mathbf{Ls}^? \rightarrow \mathbf{Ls}^!$ формально представляет собою метод узлового объекта, т. е. процесс преобразования входящих интерфейсных потокосовых объектов (входящих связей системы) $\mathbf{Ls}^?$ в исходящие интерфейсные потокосовые объекты (исходящие связи системы) $\mathbf{Ls}^!$ ».

«Объект системы $\mathbf{Os} = \mathbf{Os}^? \cup \mathbf{Os}^! \cup \mathbf{Osf}$ формально представляет собой множество полей узлового объекта для описания объектных (субстанциальных) характеристик системы. Множество полей для описания объектных характеристик системы состоит из трех подмножеств: $\mathbf{Os}^?$ – множество полей, которое содержит интерфейсные входные характеристики узлового объекта (т. е. показатели входных связей системы), $\mathbf{Os}^!$ – множество полей, которое содержит интерфейсные выходных характеристики узлового объекта (т. е. показатели выходных связей системы s), \mathbf{Osf} – множество полей, которое содержит передаточные характеристики узлового объекта (показатели внутренних связей системы)».

В рамках системно-объектного подхода рассматриваются не абстрактные связи/отношения \mathbf{L} , а связи/отношения, имеющие определенное предметное содержание. Это обусловлено введением в концепцию системно-объектного подхода *классификации связей*. В данной классификации абстрактный класс «Связь (\mathbf{L})» делится на непересекающиеся подклассы «Материальная связь (\mathbf{m})» и «Информационная связь (\mathbf{i})»; класс материальных связей делится на непересекающиеся подклассы «Вещественная связь (\mathbf{v})» и «Энергетическая связь (\mathbf{e})»; класс информационных связей – на непересекающиеся подклассы «Связь по данным (\mathbf{d})» и «Управляющая связь (\mathbf{c})» [Теория систем ... , 2020]. Данное обстоятельство и позволяет создать нормативную систему системно-объектного анализа с помощью концептуальной классификационной модели, определяющей алфавит связей.

Для формального описания упомянутых выше элементов системно-объектного подхода можно использовать выразительные возможности дескрипционной логики. Дескрипционная логика (ДЛ) является логическим языком описания понятий и связей между ними с помощью индивидов, концептов и ролей [Baader et al., 2003]. Для наших целей можно ввести логику $\text{ALCHOIQ}(\mathbf{D})$ на основе базовой логики ALC , такая логика обладает следующим синтаксисом (записанным в краткой форме):

$$\{\top; \perp; \mathbf{A}; \mathbf{A} \sqsubseteq \mathbf{C}; \neg \mathbf{C}; \mathbf{C} \sqcap \mathbf{B}; \mathbf{C} \sqcup \mathbf{B}; \exists \mathbf{R}. \mathbf{C}; \forall \mathbf{R}. \mathbf{C}; \geq n \mathbf{R}. \mathbf{C}; \{\mathbf{a}\}; \exists [\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n]. \mathbf{P} \}, \quad (1)$$

где \mathbf{A} и \mathbf{C} , \mathbf{B} – атомарные концепты, \mathbf{R} – атомарная роль, \top и \perp – концепты, представляющие истину и ложь; $\{\mathbf{a}\}$ – описание индивида с помощью понятия «номинал» [Baader et al., 2003].

Семантика любой дескрипционной логики задается с помощью понятия интерпретации [Schmidt-Schauss, Smolka, 1991]. Интерпретация есть пара $I = (\Delta, \cdot^I)$, состоящая из непустого множества Δ , называемого областью данной интерпретации, и интерпретирующей функции \cdot^I , которая сопоставляет:

- каждому атомарному концепту $\mathbf{A} \in \mathbf{CN}$ – произвольное множество $\mathbf{A}^I \subseteq \Delta$;
- каждой атомарной роли $\mathbf{R} \in \mathbf{RN}$ – произвольное множество $\mathbf{R}^I \subseteq \Delta \times \Delta$.

$\mathbf{CN} = \{\mathbf{A}_1, \dots, \mathbf{A}_m\}$ и $\mathbf{RN} = \{\mathbf{R}_1, \dots, \mathbf{R}_n\}$ – конечные непустые множества атомарных концептов и атомарных ролей.

Для концептов логики существует несколько базовых правил:

- $\top^I = \Delta$, $\perp^I = \emptyset$, $(\neg \mathbf{C})^I = \Delta \setminus \mathbf{C}^I$;
- $(\mathbf{C} \sqcap \mathbf{D})^I = \mathbf{C}^I \cap \mathbf{D}^I$;
- $(\mathbf{C} \sqcup \mathbf{D})^I = \mathbf{C}^I \cup \mathbf{D}^I$;
- $(\exists \mathbf{R}. \mathbf{C})^I = \{e \in \Delta \mid \text{существует } d \in \Delta \text{ такой, что } \langle e, d \rangle \in \mathbf{R}^I \text{ и } d \in \mathbf{C}^I\}$;
- $(\forall \mathbf{R}. \mathbf{C})^I = \{e \in \Delta \mid \text{для всех } d \in \Delta \text{ таких, что } \langle e, d \rangle \in \mathbf{R}^I, \text{ выполнено } d \in \mathbf{C}^I\}$.

Например, пусть областью интерпретации I будет множество Δ всех биологических особей. Атомарные концепты: *Animal*, *Cat*, *Human*, *Male* – множества всех животных, кошек, людей, особей мужского пола. Концепты обладают атомарными ролями *hasParent* и *hasChild*, показывающими связь концептов. Таким образом, пара $\langle e, d \rangle$ принадлежит отношению *hasChild*, если d является ребенком e , а отношение *hasParent*^{*I*} является обратным к *hasChild*^{*I*}. При такой интерпретации составные концепты обретают следующий смысл. *Male* \sqcap *Cat* – множество котов (мужские особи) или *Male* \sqcap \exists *hasParent*. (*Human* \sqcap \neg *Male*) – множество особей мужского пола, у которых есть родитель, являющийся человеком не мужского пола.

Роли используются для описания двуместных отношений (в базовой ДЛ). Например, «X есть родитель для Y». X и Y – концепты, представляющие произвольные объекты или классы. Концепты используются для описания классов некоторых объектов, например, «Люди», «Животные», «Машины». Индивид представляет собой конкретное понятие предметной области, экземпляр класса, например, «Мария», «Иван», «Москва».

В дополнение, $\geq n \mathbf{R}. \mathbf{C}$ – описывает количественное ограничение на роль концепта [Baader, Sattler, 1999]; $\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n$ – произвольные конкретные атрибуты; \mathbf{P} – n -местный конкретный предикат, где $\mathbf{P} \in \mathbf{PN}$ и \mathbf{PN} – множество предикатных символов определенных на «конкретной области» D [Tessaris, 2001].

Конкретная область (\mathbf{D}) – это пара $\mathbf{D} = (\mathbf{D}, \Phi)$, где \mathbf{D} – непустое множество, а Φ – набор предикатов на множестве \mathbf{D} . Каждый символ $\mathbf{P} \in \mathbf{PN}$ имеет валентность n , а Φ сопоставляет ему n -местное отношение $\mathbf{P}^{\mathbf{D}} \subseteq \mathbf{D}^n$.

Обычно, конкретная область $\mathbf{Order}_{\mathbf{N}} = (\mathbf{N}, \Phi)$ представляет собой множество натуральных чисел \mathbf{N} и семейство предикатов Φ . Φ состоит из двуместных предикатов $<, \leq, =$ (и их отрицания: $\neq, \geq, >$) и одноместных предикатов $<_n, \leq_n, =_n$ (и их отрицания: $\neq_n, >_n, >_n$). Пусть *hasAge* есть конкретный атрибут (со значениями в D), обозначающий возраст человека. Тогда следующий концепт задает множество совершеннолетних людей, то есть возраст которых не менее 18 лет: *Human* \sqcap \exists *hasAge*. \geq_{18} .

Классические ДЛ позволяют описывать общие понятия о концептах и их взаимосвязях с помощью набора терминологических аксиом – TBox. Существует возможность описания знаний об индивидуальных объектах, их связях и свойствах в терминах ДЛ – ABox. Также в ДЛ $\text{ALCHIO}(D)$ введено понятие иерархии ролей, которую также можно представить в виде набора аксиом – RBox.

В терминах ДЛ можно описать концепты, составляющие УФО-элементы [Михелев, 2019]:

Узел, как перекресток множества входов $Ls?$ и выходов $Ls!$:

$$U = Ls? \sqcup Ls!$$

Функция, как преобразование множества входов в множество выходов:

$$F = Ls! \sqcap \exists R. Ls?$$

Выражение $Ls! \sqcap \exists R. Ls?$ обозначает множество выходов $Ls!$, «связанных» ролью R с множеством входов $Ls?$; R – функциональная роль, показывающая соответствие между концептами. Можно ввести роль R – «имеетСоответствие», тогда можно уточнить определение функции:

$$F = Ls! \sqcap \exists \text{имеетСоответствие}. Ls?.$$

Объект: реализует функцию и обладает интерфейсными и субстанциональными характеристиками:

$$O = OS? \sqcup OS! \sqcup OSf.$$

Система s , в терминах ДЛ представляется как совокупность приведённых выше выражений для составляющих УФО-элемента:

$$S = [U; F; O] = [Ls? \sqcup Ls!; Ls! \sqcap \exists \text{имеетСоответствие}. Ls?; OS? \sqcup OS! \sqcup OSf] \quad (2)$$

С помощью ДЛ ALCHIO(D) легко описать упомянутую выше классификацию связей/отношений в виде ТВох:

Иерархия концептов:

Материальная связь (m) \sqsubset Связь (L);

Информационная связь (i) \sqsubset Связь (L);

Вещественная связь (v) \sqsubset Материальная связь (m);

Энергетическая связь (e) \sqsubset Материальная связь (m);

Связь по данным (d) \sqsubset Информационная связь (i);

Управляющая связь (c) \sqsubset Информационная связь (i);

Правила построения концептов (связей):

Связь (L) \equiv Материальная связь (m) \sqcup Информационная связь (i);

Материальная связь (m) \equiv Вещественная связь (v) \sqcup Энергетическая связь (e);

Информационная связь (i) \equiv Связь по данным (d) \sqcup Управляющая связь (c);

Выше представленный набор терминологических аксиом представляет собой классификацию связей по типу сущности на непересекающиеся классы.

2. Алфавит нормативной системы системно-объектного анализа

При использовании для создания алфавита нормативной системы классификационной модели алфавитный набор символов представляет собой совокупность конкретных классов (листьев) классификационной схемы, а также совокупность соответствующих экземпляров этих классов. Заданный таким образом алфавит состоит из символов, однозначно интерпретируемых по своим дефинициям (свойствам) и пользователем, и компьютером за счет фиксации в структуре классификации родо-видовых определений (дефиниций), т. е. ее параметричности, что позволяет рассматривать данный алфавит как **формально-семантический** (и, соответственно, формально-семантической считать саму нормативную систему).

Для превращения предложенной иерархии классов связей/отношений в алфавитный набор узлов зададим правила манипулирования символами алфавита связей. Этими правилами в данном случае будут правила создания элементарных (алфавитных) узлов как перекрестков связей, т. е. структурных элементов, способных вступать в определенные отношения, задаваемые с помощью фасетной классификации.

Правила создания узлов на уровне вещественных и энергетических потоков на уровне потоков данных и потоков управления и на уровне смешанных потоков (см. таблицу 1) обусловлены тем, что вещество не может преобразовываться в энергию в чистом виде, данные в управление, а энергия не может преобразоваться в вещество, управление в данные (классы вещественных и энергетических потоков, а также данных и управления не пересекаются).

Таблица 1
Table 1

Алфавитные узлы
Alphabetic nodes

	v!	e!	v?, e?	d!	c!	d?, c?	v!, d!	v!, c!	e!, d!	e!, c!
v?	*									
e?		*								
v?, e?			*							
d?				*						
c?					*					
d?, c?						*				
v?, d?							*			
v?, c?								*		
e?, d?									*	
e?, c?										*

Представленная фасетная классификация узлов (табл. 1) соответствует родовидовой (таксономической) классификации компонент системы (рис. 1), объединяющей классификацию связей и элементов (функциональных узлов), которая является развитием классификации компонент и свойств системы, описанной в работе [Маторин и др., 2016]. Данная родовидовая классификация позволяет сформулировать определения (родовидовые) алфавитным связям и алфавитным функциональным узлам (см. табл. 2 и 3).

Таблица 2
Table 2

Алфавитный набор связей / отношений
Alphabetical set of links / relationships

ЗНАК	ТЕРМИН	РОДОВОЕ ПОНЯТИЕ	ВИДОВОЕ ОТЛИЧИЕ
v	Вещественная связь	Материальная связь (m)	Создающая вещественную структуру системы, определяющуюся отношением порядка на множестве $V - vRv$
e	Энергетическая связь	Материальная связь (m)	Создающая энергетическую структуру системы, определяющуюся отношением порядка на множестве $E - eRe$
d	Связь по данным	Информационная связь (i)	Создающая структуру данных системы, определяющуюся отношением порядка на множестве $D - dRd$
c	Связь по управлению	Информационная связь (i)	Создающая структуру управления системы, определяющуюся отношением порядка на множестве $C - cRc$

Таблица 3
Table 3

Алфавитный набор узлов
Alphabetical set of nodes

ЗНАК	РОДОВОЕ ПОНЯТИЕ	ВИДОВОЕ ОТЛИЧИЕ
V	M	Определяющийся преобразованием Vv
E	M	Определяющийся преобразованием Ee
VE	M	Определяющийся преобразованием $VEve$
D	I	Определяющийся преобразованием Dd
C	I	Определяющийся преобразованием Cc

ЗНАК	РОДОВОЕ ПОНЯТИЕ	ВИДОВОЕ ОТЛИЧИЕ
DC	I	Определяющийся преобразованием <i>DCdc</i>
VD	MI	Определяющийся преобразованием <i>VDvd</i>
VC	MI	Определяющийся преобразованием <i>VCvc</i>
ED	MI	Определяющийся преобразованием <i>EDed</i>
EC	MI	Определяющийся преобразованием <i>ECec</i>

Полученный алфавит узловых элементов можно формально описать средствами упомянутой выше ДЛ в виде ТВох следующим образом:

Иерархия концептов:

V ⊂ M; E ⊂ M; VE ⊂ M

D ⊂ I; C ⊂ I; DC ⊂ I;

VD ⊂ MI; VC ⊂ MI; ED ⊂ MI; EC ⊂ MI.

Правила построения концептов (алфавитный набор узлов):

V ≡ v! ⊂ ЭимеетСоответствие. (**v?**);

E ≡ e! ⊂ ЭимеетСоответствие. (**e?**);

D ≡ d! ⊂ ЭимеетСоответствие. (**d?**);

C ≡ c! ⊂ ЭимеетСоответствие. (**c?**);

VE ≡ (v! ⊂ e!) ⊂ ЭимеетСоответствие. (**v? ⊂ e?**);

VD ≡ (v! ⊂ d!) ⊂ ЭимеетСоответствие. (**v? ⊂ d?**);

VC ≡ (v! ⊂ c!) ⊂ ЭимеетСоответствие. (**v? ⊂ c?**);

ED ≡ (e! ⊂ d!) ⊂ ЭимеетСоответствие. (**e? ⊂ d?**);

EC ≡ (e! ⊂ c!) ⊂ ЭимеетСоответствие. (**e? ⊂ c?**);

DC ≡ (d! ⊂ c!) ⊂ ЭимеетСоответствие. (**d? ⊂ c?**).

3. Правила использования символов введенного алфавита

Использование содержательной классификации связей / отношений позволяет рассматривать не бесчисленное множество видов структурных элементов систем (т. е. Узлов), а весьма ограниченный их набор. При этом правила оперирования этими элементами (т. е. алфавитными символами нормативной системы) должны быть основаны на системных отношениях, рассматриваемых в рамках выбранного системного подхода.

Как известно, системно-объектный подход рассматривает в качестве основного системного отношения вслед за автором работы [Мельников, 1978] «отношение поддержания функциональной способности целого».

Соблюдение данного отношения обеспечивается путем выполнения следующих «правил системной композиции», предложенных в работе [Маторин, 2005] и уточненных нами в рамках данного исследования впервые с помощью дескрипционной логики:

1. «**Присоединения**»: элементы могут быть связаны только в том случае, если выходные и входные потоки одноименные (из классификации связей).

Пусть **S_i** и **S_j** – системы, как элементы «Узел-Функция-Объект», описываемые с помощью ДЛ в виде выражения (2). Тогда данное правило можно описать как показано ниже.

ЭS: S ≡ S_i ⊂ S_j, если системы **S_i** и **S_j** рассматриваются как узлы, принадлежащие к одному классу (типу) узлов **Ls: Ls!_i = Ls?_j**, т. е. ЭимеетПредка. **S_i** = ЭимеетПредка. **S_j**.

2. «**Баланса**»: присоединенные по первому правилу элементы образуют систему, если выходные потоки первого элемента могут быть полностью поглощены как входные потоки присоединяемого элемента.

В соответствии с правилом присоединения: **Ls!_i = Ls?_j**. Т. е. входному потоку **Ls?_j**, как аргументу функции, соответствует выходной функциональный поток **Ls!_i**. Таким образом, для выполнения данного правила область значения функции **F_i** должна входить в область определения функции **F_j**: **ran F_i ⊆ dom F_j**.

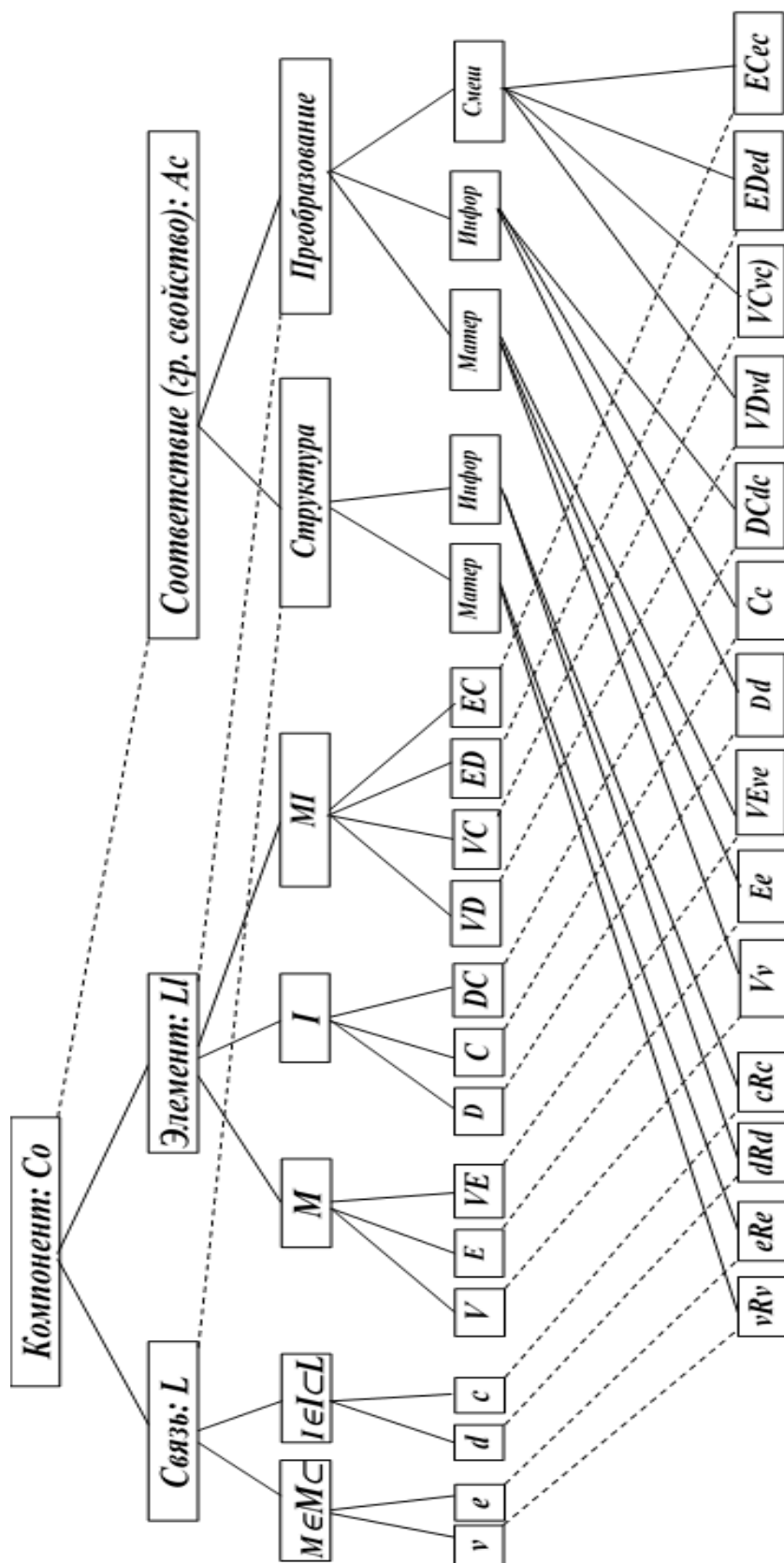


Рис. 1. Классификация связей и элементов
Fig. 1. Classification of relationships and elements

3. **«Реализации»**: присоединенные по первому правилу элементы образуют систему, если их интерфейсы соответствуют друг другу.

В соответствии с приведёнными ранее правилами. $\exists S: S \equiv S_i \sqcup S_j$, если $OS!_{S_i} \leftrightarrow OS?_{S_j}$, т. е. если обеспечено соответствие интерфейсов систем.

4. **«Замкнутости»**: внутренний поток, не связанный так или иначе с «проточными» потоками от входа системы к ее выходу замкнут, т. е. образует цикл.

Пусть $S \equiv [Ls? \sqcup Ls!; Ls! \sqcap \exists R. Ls?; OS? \sqcup OS! \sqcup OSf]$, тогда внутренние потоки, не связанные с $Ls?$ и $Ls!$, образуемые между подсистемами ($\exists S_i \sqsubset S$), замкнуты, исходя из правила баланса для этих систем.

Следующим логичным шагом описания правил использования алфавита является описание операций над системами в соответствии с отмеченными выше правилами. При этом ДЛ позволяет описать эти операции, развивая результаты, представленные в работе [Михелев, 2019].

Пусть даны две системы S_i и S_j , описываемые в соответствии с выражением (2):

$$\begin{aligned} S_i &= [Ls?_i \sqcup Ls!_i; Ls!_i \sqcap \text{ЭимеетСоответствие. } Ls?_i; OS?_i \sqcup OS!_i \sqcup OSf_i] \\ S_j &= [Ls?_j \sqcup Ls!_j; Ls!_j \sqcap \text{ЭимеетСоответствие. } Ls?_j; OS?_j \sqcup OS!_j \sqcup OSf_j] \end{aligned}$$

Представим ниже ряд базовых операций.

Операция соединения систем.

Системы S_i и S_j можно соединить при соблюдении следующих условий: $Ls!_i = Ls?_j$, $ran F_i \subseteq dom F_j$, $OS!_i \leftrightarrow OS?_j$. Данный результат формально можно получить путем объединения потоков/связей системы S_i и потоков/связей системы S_j с последующим вычитанием из этого объединения результата пересечения потоков/связей S_i и S_j . Это позволит удалить из рассмотрения на уровне нового соединенного узлового объекта (системы S_{ij}) внутренние связи, за счет которых и происходит присоединение S_i к входу S_j . Таким образом, объединяя узлы, получим: $U_{ij} = (Ls?_i \sqcup Ls!_i) \sqcup (Ls?_j \sqcup Ls!_j) - (Ls?_i \sqcup Ls!_i) \sqcap (Ls?_j \sqcup Ls!_j) = Ls?_i \sqcup Ls!_j \sqcup Ls?_j \sqcup Ls!_i - Ls?_i \sqcap Ls?_j \sqcup Ls!_i \sqcap Ls?_j \sqcup Ls?_i \sqcap Ls!_j \sqcup Ls!_i \sqcap Ls!_j$.

Сокращая приведённое выражение, получим:

$$\begin{aligned} U_{ij} &= Ls?_i \sqcup Ls?_j \sqcup Ls!_j - Ls?_j = Ls?_i \sqcup Ls!_j; \\ U_{ij} &= Ls?_i \sqcup Ls!_j; \end{aligned}$$

Функционально система S_{ij} преобразует входной поток $Ls?_i$ системы S_i в выходной поток $Ls!_j$ системы S_j . Взаимодействие процессов систем S_i и S_j происходит вследствие того, что процесс S_j использует результаты процесса S_i .

Таким образом, функция:

$$F_{ij} = F_j(F_i(Ls?_i))Ls!_j = Ls!_j \sqcap \text{ЭимеетСоответствие. } Ls?_i.$$

Субстанциально система S_{ij} имеет входной интерфейс $O?_i$ системы S_i и выходной интерфейс $O!_j$ системы S_j . Кроме того, собственно объектные характеристики системы S_{ij} образуются из характеристик $O!_i$ и $O!_j$. Формально это можно получить путем объединения всех объектных характеристик системы S_i и объектных характеристик системы S_j с последующим вычитанием из этого объединения результата пересечения объектных характеристик S_i и S_j . Это позволит удалить из рассмотрения на уровне нового соединенного узлового объекта (системы S_{ij}) внутренние интерфейсные объектные характеристики, за счет которых происходит присоединение S_i к S_j , по аналогии с потоковыми характеристиками (считая соответствующие друг другу характеристики равными).

Таким образом, объект

$$\begin{aligned} O_{ij} &= (OS?_i \sqcup OS!_i \sqcup OSf_i) \sqcup (OS?_j \sqcup OS!_j \sqcup OSf_j) - (OS?_i \sqcup OS!_i \sqcup OSf_i) \sqcap \\ &\sqcap (OS?_j \sqcup OS!_j \sqcup OSf_j) = OS?_i \sqcup OS!_j \sqcup OSf_i \sqcup OSf_j = OS?_i \sqcup OS!_j \sqcup OSf_{ij}. \end{aligned}$$

Тогда операция соединения систем выглядит следующим образом:

$$S_i \bullet S_j = [Ls_i \sqcup Ls_j; Ls_i \sqcup Ls_j \text{ имеет соответствие } Ls_i; OS_i \sqcup OS_j \sqcup OS_{ij}].$$

Операция объединения систем по входу.

Формально объединение систем по входу можно получить путем объединения потоков/связей системы S_i и потоков/связей системы S_j . Данная операция осуществима при соблюдении следующих условий: $Ls_i = Ls_j$, $ran F_{S_i} = ran F_{S_j}$, $OS_i = OS_j$.

Таким образом, узел: $U_{ij} = Ls_i \sqcup Ls_j \sqcup Ls_j \sqcup Ls_i = Ls_i \sqcup Ls_j$.

Функционально система S_{ij} преобразует входной поток Ls_i (он же Ls_j) в выходные потоки Ls_i и Ls_j систем S_i и S_j путем параллельного выполнения процессов этих систем. Таким образом функция:

$$F_{ij} = F_j(F_i(Ls_i))Ls_i Ls_j = (Ls_j \sqcup Ls_i) \text{ имеет соответствие } Ls_i.$$

Объектные характеристики системы образуются из характеристик OS_i и OS_j и получаются путем объединения всех объектных характеристик системы S_i и объектных характеристик системы S_j .

$$O_{ij} = (OS_i \sqcup OS_j \sqcup OS_{ij}) \sqcup (OS_i \sqcup OS_j \sqcup OS_{ij}) = OS_i \sqcup OS_j \sqcup OS_{ij} \sqcup OS_i \sqcup OS_j = OS_i \sqcup OS_j \sqcup OS_{ij}.$$

С учётом вышесказанного, операция объединения по входу может быть записана следующим образом:

$$S_i \bullet \cap S_j = [Ls_i \sqcup Ls_j; (Ls_i \sqcup Ls_j) \text{ имеет соответствие } Ls_i; OS_i \sqcup OS_j \sqcup OS_{ij} \sqcup OS_{ij}].$$

Операция объединения систем по выходу.

Операция выполняется при соблюдении следующих условий: $Ls_i = Ls_j$, $dom F_{S_i} = dom F_{S_j}$, $OS_i = OS_j$. По аналогии с операцией объединения систем по входу операция объединения систем по выходу может быть записана следующим образом:

$$S_i \cap \bullet S_j = [Ls_i \sqcup Ls_j; Ls_i \text{ имеет соответствие } (Ls_i \sqcup Ls_j); OS_i \sqcup OS_j \sqcup OS_{ij} \sqcup OS_{ij}].$$

4. Пример использования нормативной системы при построении графоаналитических моделей

Используя представленную выше нормативную систему, можно строить различные графоаналитические модели. Продемонстрируем возможности предлагаемой нормативной системы на примере простой модели в стандарте функционального моделирования IDEF0 (см. рис 2 и 3).

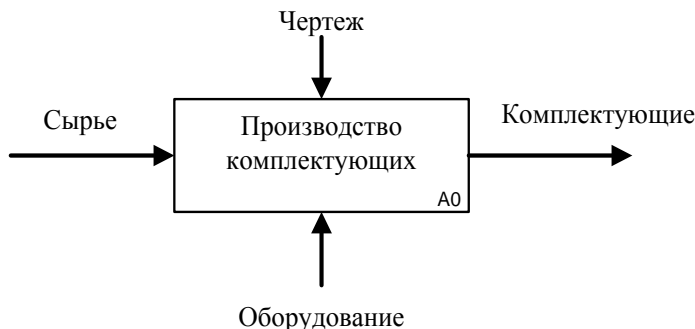


Рис. 2. Контекстная диаграмма производственного процесса
 Fig. 2. Context diagram of the production process

Данную модель, уточняя результаты, представленные в работе [Маторин, 2018], можно представить с помощью нормативной системы системно-объектного моделирования (см. рис. 4 и 5). На рисунке 4 использованы следующие условные обозначения: VC – поток сырья; VK – поток результирующих комплектующих; СЧ – управляющая информация в виде чертежа. Подчеркнем, что в рамках системно-объектного подхода стрелка «механизм» (в данном случае «оборудование») не используется, так как системы, как конструкции «Узел-Функция-Объект», сами по себе имеют объектные характеристики, которые здесь не показаны.

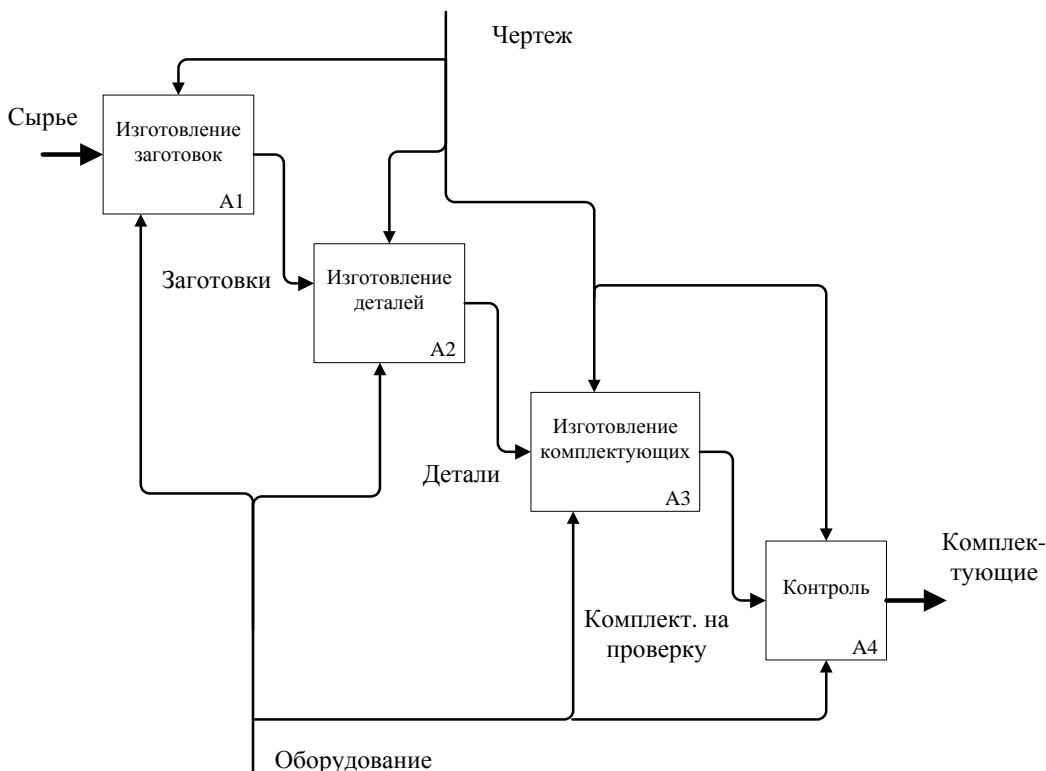


Рис. 3. Диаграмма декомпозиции производственного процесса
 Fig. 3. The diagram of the decomposition of the production process

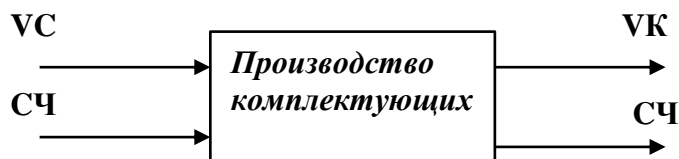


Рис. 4. Контекстная диаграмма производственного процесса как алфавитный элемент VC
 Fig. 4. The context diagram of the production process as an alphabetical element of VC

Данную диаграмму можно представить в виде выражения (2) с пустой объектной составляющей:

$$\text{ПроизводствоКомплектующих} = [VC? \sqcup СЧ? \sqcup VK! \sqcup СЧ!; (VK! \sqcup СЧ!) \sqcap \text{ЭобразуютКомплектующие.} (VC? \sqcup СЧ?);]$$

На рисунке 5 представлена графоаналитическая модель производственного процесса в терминах алфавитных УФО-элементов. Используются следующие условные обозначения: VC, VЗ, VD, VKкон, VK – соответственно вещественные потоки сырья, заготовок, деталей, комплектующих на контроль и результирующих комплектующих; СЧ – управляющая информация в виде чертежа.

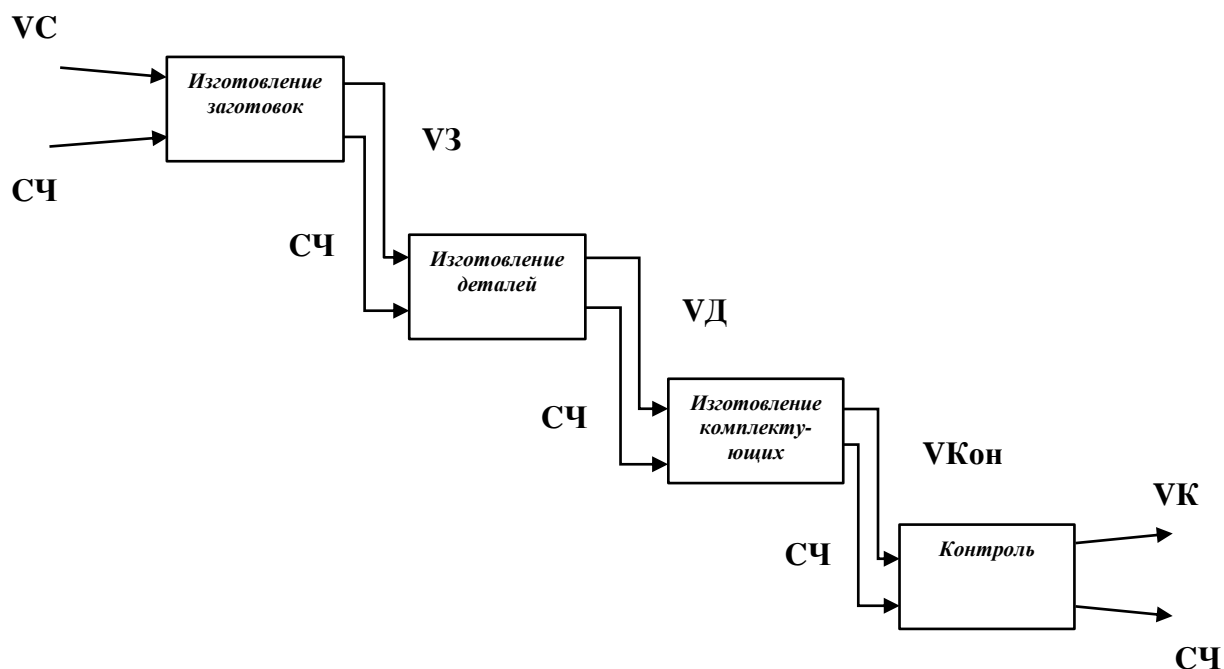


Рис. 5. Диаграмма декомпозиции производственного процесса как набор алфавитных элементов VC

Fig. 5. Diagram of the decomposition of the production process as a set of alphabetical elements VC

Представленные выше функциональные блоки можно описать с помощью ДЛ в виде выражения (2) с пустой объектной частью.

$$\text{ИзготовлениеЗаготовок} = [VC? \sqcup СЧ? \sqcup VЗ! \sqcup СЧ!; (VЗ! \sqcup СЧ!) \sqcap \text{ЭобразуютЗаготовки.}(VC? \sqcup СЧ?);]$$

$$\text{ИзготовлениеДеталей} = [VЗ? \sqcup СЧ? \sqcup VD! \sqcup СЧ!; (VD! \sqcup СЧ!) \sqcap \text{ЭобразуютДетали.}(VЗ? \sqcup СЧ?);]$$

$$\text{ИзготовлениеКомплектующих} = [VD? \sqcup СЧ? \sqcup VKкон! \sqcup СЧ!; (VKкон! \sqcup СЧ!) \sqcap \text{ЭобразуютКомплектующие.}(VD? \sqcup СЧ?);]$$

$$\text{Контроль} = [VKкон? \sqcup СЧ? \sqcup VK! \sqcup СЧ!; (VK! \sqcup СЧ!) \sqcap \text{ЭнаКонтроле.}(VKкон? \sqcup СЧ?);]$$

Следовательно, типовой процесс производства комплектующих может быть представлен с помощью операции соединения алфавитных элементов типа VC (без учета правил баланса и реализации):

$$\text{ПроизводствоКомплектующих} = \text{ИзготовлениеЗаготовок} \bullet \text{ИзготовлениеДеталей} \bullet \text{ИзготовлениеКомплектующих} \bullet \text{Контроль.}$$

Заключение

Предложен способ формирования адаптивного формально-семантического алфавита на основе категориальной иерархии классов связей/отношений, а также правила манипулирования им. Представленный алфавит и сформулированные правила представляют собой формально-семантическую нормативную систему системно-объектного анализа и моделирования. Такая нормативная система может использоваться для построения системно-объектных моделей, например, организационных систем. Это достигается путём декомпозиции таких систем на классы и объекты с помощью предложенного алфавита, что представляет собой этап объектно-ориентированного анализа и проектирования.

Представленные отдельные виды функциональных элементов и связей для различных видов организационных систем обеспечивают имитацию понимания компьютером свойств классов и экземпляров, используемых для построения моделей. Таким образом, использование нормативной системы объективизирует результат построения моделей. Кроме того, предлагаемые алфавитные модельные элементы направляют процесс моделирования, уменьшая разнообразие возможных вариантов.

Для примера, представлена модель типового производственного процесса, полученная с помощью формально-семантической нормативной системы. Представленная нормативная система и ее формализация с помощью дескрипционной логики позволяют формально описывать графоаналитические модели сложных систем с помощью агрегации простых алфавитных элементов, что в перспективе позволяет решить задачу автоматизации системно-объектного графоаналитического моделирования.

Список литературы

1. Гильберт Д., Бернайс П. 1979. Основания математики. Том I. Логические исчисления и формализация арифметики. М.: Наука, 560.
2. Горский Д.П. 1990. О некотором способе введения понятий в «Капитале» Маркса. Сб. труд. междунар. симпози.: Исследования по логике научного познания. М.: Наука, С.53–62.
3. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Зайцева Н.О. 2015. Системно-объектный инструментарий для имитационного моделирования технологических процессов и транспортных потоков. Искусственный интеллект и принятие решений. № 4: 95–103.
4. Кондаков Н.И. 1975. Логический словарь-справочник. М.: Наука, 720.
5. Маслов С.Ю. 1986. Теория дедуктивных систем и ее применение. М.: «Радио и связь», 136.
6. Маторин С.И., Зимовец О.А., Щербинина Н.В., Сульженко Т.С. 2016. Концепция формализованной теории систем, основанной на подходе «Узел-Функция-Объект». Научные ведомости БелГУ. Серия Экономика. Информатика. 16 (237). 39: 159–166.
7. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Игрунов К.К. 2018. Классификация систем как элементов «Узел-Функция-Объект». Научный результат. 3 (3): 15–27.
8. Мельников Г.П. 1978. Системология и языковые аспекты кибернетики. М.: Сов. радио, 368.
9. Михелев В.В., Маторин С.И. 2019. Формализация системно-объектного подхода с использованием дескрипционной логики. Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. 46 (2): 296–304.
10. Никаноров С.П. 1969. Системный анализ: этап развития методологии решения проблем в США. Вступ. статья в кн.: Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. Пер. с англ. М.: Советское радио, 7–45.
11. Петров Ю.А. 1977. Методологические вопросы анализа научного знания. М.: «Высш. школа», 224.
12. Степанов Ю.С. 1983. Семиотика. Под ред. Ю.С. Степанова. М.: Радуга, 640.
13. Теория систем и системный анализ: учебник. 2020. С.И. Маторин, А.Г. Жихарев, О.А. Зимовец и др.; под ред. С.И. Маторина. Москва; Берлин: Директмедиа Паблишинг, 509: Режим доступа: по подписке. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574641> (дата обращения: 12.06.2020).
14. Abadi Martin and Luca Cardelli 1996. A Theory of Objects. New York: Springer-Verlag, 397.
15. Baader F., Calvanese D., McGuinness L., Nardi D. Patel-Schneider P. F. 2003. The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications. Cambridge University Press, 576.
16. Baader F., Sattler U. 1999. Expressive Number Restrictions in Description Logics. Journal of Logic and Computation. 9(3): 319–350.
17. Matorin S.I. 1998. Systems-Theoretic Investigation Of The Structure Of Categories. Automatic Document and Mathematical Linguistics. New York: Allerton Press, Inc. 31 (2): 4–9.
18. Matorin S.I. 1998. Modelling Intelligent Understanding Of The Language Of Business Communication. Automatic Document and Mathematical Linguistics. New York: Allerton Press, Inc. 31 (2): 47–58.
19. Matorin S., Popov S., Matorin V. 2005. Organization Simulation Technology in The Light Of a New “Unit-Function-Object” Approach. Automatic Document and Mathematical Linguistics. New York: Allerton Press, Inc. 39 (1): 1–8.

20. Schmidt-Schauss M., Smolka G. 1991. Attributive concept descriptions with complements. *Artificial Intelligence*. 48 (1): 1–26.
21. Tessaris S. 2001. Questions and answers: Reasoning and querying in Description Logic (PhD Thesis). University of Manchester, 368.

References

1. Gil'bert D., Bernajs P. 1979. Osnovaniya matematiki [Foundations of mathematics]. Tom I. Logicheskie ischisleniya i formalizacija arifmetiki [Logical calculus and formalization of arithmetic.]. M.: Nauka, 560.
2. Gorskiy D.P. 1990. O nekotorykh sposobakh vvedeniya ponjatiy v «Kapitale» Marksa [About some way of introducing concepts in Marx's "Capital"]. Sb. trud. mezhdun. simpoz.: Issledovaniya po logike nauchnogo poznaniya [Research on the logic of scientific knowledge]. M.: Nauka, 53–62.
3. Zhiharev A.G., Matorin S.I., Zajceva N.O. 2015. Sistemno-objektnyj instrumentarij dlja imitacionnogo modelirovaniya tehnologicheskikh processov i transportnyh potokov [System-object tools for simulation of technological processes and traffic flows]. *Iskusstvennyj intellekt i prinjatie reshenij [Artificial Intelligence and Decision Making]*. № 4: 95–103.
4. Kondakov N.I. 1975. Logicheskij slovar'-spravochnik [Logical dictionary-reference]. M.: Nauka, 720.
5. Maslov S.Ju. 1986. Teorija deduktivnykh sistem i ee primenenie [Theory of deductive systems and its application]. M.: «Radio i svjaz'», 136.
6. Matorin S.I., Zimovec O.A., Shherbinina N.V., Sul'zhenko T.S. 2016. Konceptcija formalizovannoj teorii sistem, osnovannoj na podhode «Uzel-Funkcija-Objekt» [The concept of a formalized theory of systems based on the approach "Node-Function-Object"]. *Nauchnye vedomosti BelGU. Serija Jekonomika. Informatika [Scientific statements of BelSU. Series Economics. Informatics]*. 16 (237). 39: 159–166.
7. Matorin S.I., Zhiharev A.G., Igrunov K.K. 2018. Klassifikacija sistem kak jelementov «Uzel-Funkcija-Objekt» [Classification of systems as elements "Unit-Function-Object"]. *Nauchnyj rezul'tat [Scientific result]*. 3 (3): 15–27.
8. Mel'nikov G.P. 1978. Sistemologija i jazykovye aspekty kibernetiki [Systemology and linguistic aspects of cybernetics]. M.: Sov. radio, 368.
9. Mihelev V.V., Matorin S.I. 2019. Formalizacija sistemno-objektnogo podhoda s ispol'zovaniem deskripcionnoj logiki [Formalization of a system-object approach using descriptive logic]. *Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Jekonomika. Informatika [Scientific statements of BelSU. Series Economics. Informatics]*. 46 (2): 296–304.
10. Nikanorov S.P. 1969. Sistemnyj analiz: jetap razvitiya metodologii reshenija problem v SShA [System analysis: the stage of development of a problem solving methodology in the USA]. Vstup. stat'ja v kn.: Optner S.L. Sistemnyj analiz dlja reshenija delovyh i promyshlennyh problem [System analysis to solve business and industrial problems]. Per. s angl. M.: Sovetskoe radio, 7–45.
11. Petrov Ju.A. 1977. Metodologicheskie voprosy analiza nauchnogo znaniya [Methodological issues of the analysis of scientific knowledge]. M.: «Vyssh. shkola», 224.
12. Stepanov Ju.S. 1983. Semiotika [Semiotics]. Pod red. Ju.S. Stepanova. M.: Raduga, 640.
13. Teorija sistem i sistemnyj analiz: uchebnik [Theory of systems and systems analysis: a textbook.] 2020. S.I. Matorin, A.G. Zhiharev, O.A. Zimovec i dr.; pod red. S.I. Matorina. Moskva; Berlin: Direktmedia Publishing, 509: Access mode: by subscription. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574641> (date of the application: 12.06.2020).
14. Abadi Martin and Luca Cardelli 1996. A Theory of Objects. New York: Springer-Verlag, 397.
15. Baader F., Calvanese D., McGuinness L., Nardi D. Patel-Schneider P. F. 2003. The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications. Cambridge University Press, 576.
16. Baader F., Sattler U. 1999. Expressive Number Restrictions in Description Logics. *Journal of Logic and Computation*. 9(3): 319–350.
17. Matorin S.I. 1998. Systems-Theoretic Investigation Of The Structure Of Categories. *Automatic Document and Mathematical Linguistics*. New York: Allerton Press, Inc. 31 (2): 4–9.
18. Matorin S.I. 1998. Modelling Intelligent Understanding Of The Language Of Business Communication. *Automatic Document and Mathematical Linguistics*. New York: Allerton Press, Inc. 31 (2): 47–58.

19. Matorin S., Popov S., Matorin V. 2005. Organization Simulation Technology in The Light Of a New “Unit-Function-Object” Approach. *Automatic Document and Mathematical Linguistics*. New York: Allerton Press, Inc. 39 (1): 1–8.
20. Schmidt-Schauss M., Smolka G. 1991. Attributive concept descriptions with complements. *Artificial Intelligence*. 48 (1): 1–26.
21. Tessaris S. 2001. Questions and answers: Reasoning and querying in Description Logic (PhD Thesis). University of Manchester, 368.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жихарев Александр Геннадиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета

Маторин Сергей Игоревич, доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по науке и инновациям ЗАО «СофтКоннект», Белгород, Россия

Михелев Владимир Владимирович, аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander G. Zhikharev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information and Robotic Systems, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Sergey I. Matorin, Doctor of Technical Sciences Professor, Deputy General Director on Science and Innovation CJSC "SoftConnect", Belgorod, Russia

Vladimir V. Mikhelev, Postgraduate Student, Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 004.67

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-638-647

Обработка технико-экономической информации в системе геотехнического мониторинга

Н.В. Дорофеев, Е.С. Панькина, А.В. Греченева, Р.В. Романов

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,
600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, Российская Федерация

E-mail: dorofeev@yandex.ru, pankina@bsu.edu.ru, grecheneva@yandex.ru,
romanov.roman.5@yandex.ru

Аннотация

В данной статье предлагается метод обработки параметров геотехнической системы, предназначенный для повышения эффективности функционирования систем геотехнического мониторинга в условиях риска нарушения геодинамической устойчивости и технико-экономических ограничений при организации мониторинговых работ. Предлагаемый метод позволяет подобрать технические параметры системы мониторинга и выбрать точки мониторинга в геотехнической системе на основе экономических показателей. В качестве критерия отбора выступает критерий минимизации затрат на внедрение системы геотехнического мониторинга относительно возможного ущерба, который выражается в денежном эквиваленте, в случае нарушения устойчивости геотехнической системы или ее анализируемого участка. Затраты на внедрение системы геотехнического мониторинга определяются исходя из её стоимости, постоянных затрат на её обслуживание, а также технических параметров. Среди технических параметров, определяющих затраты на внедрение системы геотехнического мониторинга, выделяются затраты в случае пропуска деструктивных геотехнических процессов, ложного срабатывания системы, затрат на регистрацию одного параметра геотехнической системы в одной точке определенным методом. Для снижения количества контролируемых параметров и точек измерения предлагается проводить измерения в ключевых точках контроля, а выбор контролируемых параметров осуществляется на основе бифуркационного подхода. Практическая проверка разработанного метода обработки параметров геотехнической системы проводилась при обнаружении суффозионных процессов в условиях городской застройки в городе Муроме Владимирской области Российской Федерации. Предлагаемый метод позволил существенно сократить затраты на проведение мониторинговых работ с сохранением точности работы системы мониторинга.

Ключевые слова: геотехническая система, системы мониторинга, технико-экономический анализ, оптимизация, бифуркационные параметры.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации № МД-1800.2020.8.

Для цитирования: Дорофеев Н.В., Панькина Е.С., Греченева А.В., Романов Р.В. 2020. Обработка технико-экономической информации в системе геотехнического мониторинга. Экономика. Информатика. 47 (3): 638–647. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-638-647.

Processing of technical and economic information in the system of geotechnical monitoring

N.V. Dorofeev, E.S. Pankina, A.V. Grecheneva, R.V. Romanov

Vladimir State University,

600000, Vladimir, St. Gorkogo, 87, Russian Federation

E-mail: dorofeev@yandex.ru, pankina@bsu.edu.ru, grecheneva@yandex.ru,
romanov.roman.5@yandex.ru

Abstract

This article proposes a method for processing the parameters of a geotechnical system, designed to increase the efficiency of the functioning of geotechnical monitoring systems under conditions of the risk of violation of geodynamic stability and technical and economic limitations when organizing monitoring works. The

proposed method allows you to select the technical parameters of the monitoring system and select monitoring points in the geotechnical system based on economic indicators. The selection criterion is the criterion of minimizing the cost of introducing a geotechnical monitoring system with respect to possible damage, which is expressed in monetary terms, in case of a violation of the stability of the geotechnical system or its analyzed area. The costs of implementing a geotechnical monitoring system are determined based on its cost, fixed costs of its maintenance, as well as technical parameters. Among the technical parameters that determine the costs of implementing a geotechnical monitoring system, there are costs in the event of missing destructive geotechnical processes, false alarms of the system, costs of registering one parameter of a geotechnical system at one point using a specific method. To reduce the number of monitored parameters and measurement points, it is proposed to carry out measurements at key control points, and the choice of monitored parameters is based on the bifurcation approach. Practical verification of the developed method for processing the parameters of the geotechnical system was carried out when suffusion processes were detected in urban development in the city of Murom, Vladimir region, Russian Federation. The proposed method made it possible to significantly reduce the costs of monitoring work while maintaining the accuracy of the monitoring system.

Keywords: geotechnical system, monitoring systems, technical and economic analysis, optimization, bifurcation parameters.

Acknowledgements: This paper is an output of the science project executed with the support of a grant of the President of the Russian Federation No. MD-1800.2020.8.

For citation: Dorofeev N.V., Pankina E.S., Grecheneva A.V., Romanov R.V. 2020. Processing of technical and economic information in the system of geotechnical monitoring. *Economics. Information technologies*. 47 (3): 638–647 (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-638-647.

Введение

Развитие техносферы сопровождается изменением количества и силы взаимосвязей между компонентами природной и технической среды. Изменения, которые негативно сказываются на устойчивости геотехнических систем, приводят к авариям и катастрофам различного масштаба [Иноземцев, Редков, 2017; Теличенко и др., 2006; Сосунов, 2010]. Системы мониторинга состояния геотехнических систем строятся на двух основных подходах. Один подход заключается в организации наблюдений за изменениями в геологической среде, выделении и прогнозировании начальной стадии развития опасных геодинамических процессов. В этом подходе учитываются гидрологические, геологические, климатические и другие параметры [Квартальнов, Макулов 2017; Осокин и др., 2014]. Другой подход заключается в наблюдении за технико-эксплуатационными параметрами сооружений, выявлении и прогнозировании деструктивных процессов и оценки параметров устойчивости сооружений [Vasilyev et al., 2018; Kostarev et al., 2013; Bondarik, 2012]. Несмотря на достоинства и недостатки обоих подходов на практике, всегда возникает ряд технических, организационных и экономических вопросов. Например, какие параметры геотехнической системы необходимо регистрировать, какими техническими средствами необходимо регистрировать выбранные параметры, каким образом размещать технические средства и осуществлять сбор данных, какое количество датчиков необходимо и в каких местах необходимо измерять, какие затраты будут произведены, в чем будет заключаться выгода и так далее [ГОСТ Р 53778-2010; Улицкий, Шашкин, 1999; Мальцев и др., 2014].

Целью данной работы является повышение эффективности систем геотехнического мониторинга в условиях риска нарушения геодинамической устойчивости и экономических ограничений на организацию мониторинговых работ за счет разработки метода обработки параметров геотехнической системы на основе данных технико-экономического анализа.

Методы и подходы

Экономическая эффективность применения системы геотехнического мониторинга достигается при снижении ущерба от негативного развития процессов в геотехнической системе за счет снижения погрешности измерений и вероятности ложного обнаружения

предкризисных ситуаций в геотехнической системе, повышении вероятности правильного обнаружения предкризисных ситуаций и их прогнозирования на более ранней стадии [Леонов, Шкаруба, 2012]. Таким образом, экономическая эффективность внедрения системы геотехнического мониторинга зависит от метрологического, методологического и алгоритмического обеспечения последней.

Следует отметить, что в случае организации мониторинговых работ на базе системы мониторинга одного типа в различных геотехнических системах экономическая эффективность от внедрения будет отличаться, причем различие может составлять несколько порядков. Это связано с индивидуальными особенностями функционирования геотехнических систем и протекающих в них процессов, которые (индивидуальные особенности) не отражаются или отражаются не в полной мере в функционировании систем геотехнического мониторинга. Как правило, системы геотехнического мониторинга разрабатываются под конкретный объект (геотехническую систему) и обладают низкой адаптивностью к качественным и количественным изменениям в геотехнической системе [Kuzichkin et al., 2018a].

Составление карты экономических ущербов с разделением на зоны значимости и объединением компонентов геотехнической системы по объектам различных уровней (местного, локального, регионального). Для каждой зоны определяется возможный экономический ущерб и значимость данной зоны в функционировании геотехнической системы с учетом возможного социального критерия (1) и (2). Кластеризация на зоны карты осуществляется на основе алгоритма расширяющегося нейронного газа [Sledge, Keller, 2008].

$$C_{GD} = \sum_{i=1}^n C_{iD}, \quad (1)$$

где C_{GD} – общий экономический ущерб в геотехнической системе; C_{iD} – экономический ущерб отдельной зоны геотехнической системы; n – количество зон;

$$C_{iD} = \sum_{j=1}^m (C_j(W_j)P_jr_j + S_j(r_j)), \quad (2)$$

где C_j – значимость j -го компонента в i -й зоне в зависимости от его износа W_j , P_j – стоимость j -го компонента в i -й зоне; r_j – риск (вероятность) разрушения, характеризующее возможную степень разрушения, при этом 0 – отсутствие разрушений, 1 – полное разрушение; S_j – социальный ущерб, выраженный в денежном эквиваленте.

Рассчитанный возможный экономический ущерб, в случае нарушения функционирования каждой зоны, является определяющим критерием при внедрении системы геотехнического мониторинга. Стоимость внедрения системы мониторинга должна быть ниже возможного экономического ущерба, при этом затраты на обслуживание системы геотехнического мониторинга в течение определенного времени задаются исходя из её технических параметров:

$$C_{DG} \geq C_I = C_S + \sum_{t=0}^{\Delta} (C_M + kC_S(1 - e^{-t/T_0})) + \sum_p \sum_b (p_{1 \rightarrow 0} C_p + p_{0 \rightarrow 1} C_{SM}), \quad (3)$$

где C_I – стоимость внедрения системы геотехнического мониторинга; C_S – стоимость системы геотехнического мониторинга; t – время эксплуатации системы мониторинга, Δ – разрешенный период внедрения системы геотехнического мониторинга; C_M – постоянные затраты на обслуживание системы геотехнического мониторинга; k – поправочный коэффициент в диапазоне от 1,1 до 1,4; T_0 – средняя наработка на отказ в системе геотехнического мониторинга; p – неблагоприятный фактор (анализируемые параметры геотехнической системы); b – точки бифуркации для каждого параметра p ; $p_{1 \rightarrow 0}$ – вероятность пропуска системой геодинамического мониторинга перехода параметра p в точку бифуркации b ; C_p – ущерб в случае пропуска неблагоприятного события p ; $p_{0 \rightarrow 1}$ – вероятность ложного срабатывания системы геодинамического мониторинга при обнаружении перехода параметра

p в точку бифуркации b ; C_{SM} – стоимость произведенных работ по устранению неблагоприятного события p в случае ложного срабатывания.

С учетом индивидуальных особенностей геотехнической системы к рассмотрению вопроса о внедрении принимается система геотехнического мониторинга, которая удовлетворяет следующим условиям:

$$\min(C_{cost}), C_{cost} = \{\forall C_I | (C_I \leq C) \cap (\Delta \geq T)\}, \quad (4)$$

где C – допустимые затраты на промежутке времени T .

Сложный характер функционирования геотехнических систем описывается большим количеством разнородных параметров, некоторые из которых являются взаимозависимыми. Для оценки текущего состояния и прогнозирования устойчивости геотехнической системы необходимо контролировать изменение значений этих параметров на большой площади. Для сокращения контролируемых параметров и соответственно снижения стоимости внедрения системы геотехнического мониторинга предлагается определить параметры по степени зависимости друг от друга, степени влияния на устойчивость геотехнической системы и затрат на проведение измерений данных параметров. На основании модульного принципа построения формируется модель геотехнической системы или её отдельные участки [Grecheneva et al., 2018]. На основании данной модульной модели определяются параметры p , по которым оценивается устойчивость геотехнической системы St [Kuzichkin et al., 2018b]. На основании дисперсионного анализа оценивается степень влияния параметров p на устойчивость геотехнической системы St_i . В результате оценки получается вектор

$$St_1 = \{f(p_1), \dots, f(p_n)\}, \quad (5)$$

где $f(p_i)$ – степень влияния i -го параметра на устойчивость геотехнической системы.

По аналогии для всех параметров геотехнической системы составляется матрица P_{ij} зависимости i -го параметра от j -го $f(p_i, p_j)$, такая, что

$$P_{ij} = \begin{cases} f(p_i, p_j), & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases}. \quad (6)$$

На основании матрицы взаимных зависимостей параметров P_{ij} составляются вектора устойчивости геотехнической системы St_i путем последовательной замены степеней влияния вектора St зависимых параметров p на совокупность соответствующих параметров из строки вектора P_{ij} для параметра p . Замена производится до тех пор, пока значения степеней влияния заменяющих параметров, при замене заменяемых, больше установленного порога ε .

Для всех параметров векторов St на основе диаграмм бифуркации по каждому параметру вектора определяются точки бифуркации [Petrochenko, Petrochenko, 2019; Иноземцев и др., 2010; Назаров, 2015], удаленность текущего состояния системы от этих точек, а так же степень значимости параметра. В качестве контроля выбираются параметры того вектора, который удовлетворяет следующим условиям:

$$\min \left(\sum_p \frac{(|b_p - \bar{p}| - D) \Delta S K_{ME} St_i \{p\}}{DS} \right), \quad (7)$$

где p – все элементы (параметры) вектора St_i ; b_p – значение бифуркационного параметра, при этом $b_p = \min(|b_{p_i} - p(t)|)$, b_{p_i} – i -я точка бифуркации для параметра p ; \bar{p} – текущее среднее значение измеряемого параметра p ; D – дисперсия измеряемого параметра p ; ΔS – площадь влияния параметра p ; S – общая площадь анализируемого участка; K – необходимое количество точек измерения параметра p на площади S ; C_{ME} – стоимость внедрения одной точки измерения; $St_i \{p\}$ – степень влияния параметра p на устойчивость геотехнической системы.

Параметр C_{ME} в выражении (7) определяет стоимость измерения параметра конкретным методом, который выбирается исходя из технических и эксплуатационных возможностей применения в конкретной точке измерения. В случае возможности проводить измерения несколькими методами, выбирается метод, на внедрение которого (стоимость устанавливаемого оборудования и работ) требуется меньше затрат.

Уменьшить стоимость внедрения системы геодинамического контроля возможно, применив метод контроля, основанный на мониторинге устойчивости ключевых точек [Dorofeev et al, 2016]. В соответствии с этим методом контроль опасных процессов осуществляется в точках, которые наиболее чувствительны к развитию начальной фазы деструктивных процессов и проявлению их предвестников. Каждая ключевая точка контроля определяет общий тренд изменения параметров на некоторой площади. Повышенная чувствительность этих точек к изменениям в области контроля позволяет фиксировать негативные процессы на более ранних стадиях.

Следует отметить, что в начальный момент времени при проведении мониторинга устойчивости геотехнической системы апостериорные данные и зависимости между параметрами геотехнической системы могут отсутствовать. В этом случае строится робастная модель анализируемых участков геотехнической системы и на её основании определяются критические параметры и точки мониторинга. По мере накопления данных и выявления зависимостей модель уточняется, корректируется функционирование системы геотехнического мониторинга.

Таким образом, предлагаемый метод обработки параметров геотехнической системы базируется на результатах технико-экономического анализа и включает в себя следующие шаги:

1. Оценка рисков и возможных ущербов при нарушении устойчивости геотехнической системы и отдельных ее участков, а также классификации и выделении наиболее значимых зон мониторинга.
2. Формирование перечня измеряемых параметров.
3. Формирование модульной модели геотехнической системы или её анализируемого участка.
4. Оценка степени взаимной зависимости одного параметра от другого и оценка степени влияния каждого параметра на устойчивость геотехнической системы.
5. Определение бифуркационных параметров и оценка значимости параметров в анализе устойчивости геотехнической системы.
6. Выделение ключевых точек контроля и определение контролируемых параметров и методов их регистрации.
7. Оценка стоимости системы геотехнического мониторинга при различных комплектациях (количестве и типах измерительных датчиков)
8. Выбор комплектации системы геотехнического мониторинга по экономическому и техническому критерию.

Результаты практического использования

Для проверки разработанных подходов были обработаны данные обнаружения суффозионного процесса при геотехническом мониторинге, проводимого в условиях городской застройки в городе Муроме Владимирской области Российской Федерации (координаты 55.557282, 42.056503) в период с августа 2017 года по май 2018 года. Площадь наблюдения составляла 150x250 метров. В результате обработки данных были выделены ключевые зоны контроля (желтая и зеленая зоны на рис. 1), которые охватывали наиболее уязвимые участки геотехнической системы, а в качестве контролируемых параметров были выбраны электромагнитные параметры грунтов (электрическое сопротивление и диэлектрическая проницаемость среды). В одной из выделенных зон по результатам мониторинговых работ развивался суффозионный процесс (красная зона), который спровоцировал обрушение свода грунта с образованием провала диаметром 4 метра (рис. 2).

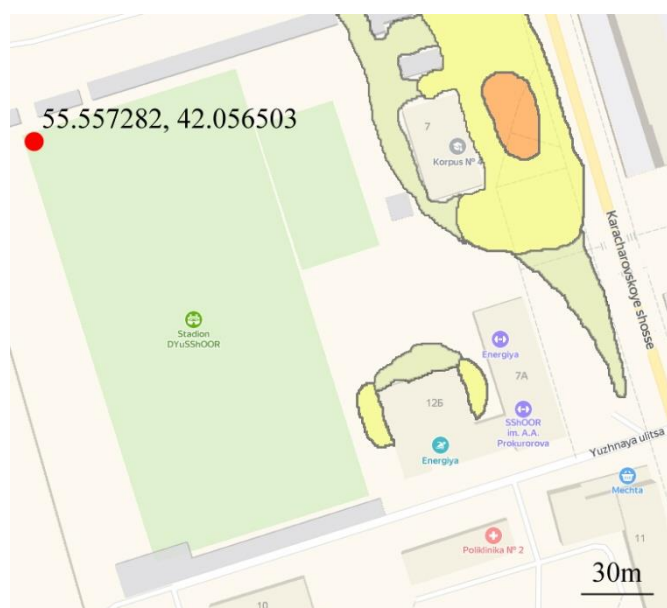


Рис. 1. Выделение ключевых зон контроля
Fig. 1. Allocation of key control areas



Рис. 2. Провал в ключевой зоне контроля
Fig. 2. Failure in a key zone of control

Система мониторинга выбиралась из следующих представленных систем: георадар типа ОКО-2, система на постоянном токе типа Meduza-48 и фазометрическая система S-1. Формируемые затраты с учетом их стоимости, эксплуатации, вероятности обнаружения и прогнозирования, а так же надежности показы на рис. 3. При этом общий экономический ущерб в геотехнической системе оценивался в 85,7 тысяч долларов. Затраты на проведение мониторинговых работ без предложенного метода регистрации параметров геотехнической системы, который не включает выделение ключевых зон и технико-экономический анализ, и проводится на всей анализируемой площади, приведены на рис. 4. Сравнение произведенных затрат на протяжении 5 лет сведено в табл. 1.

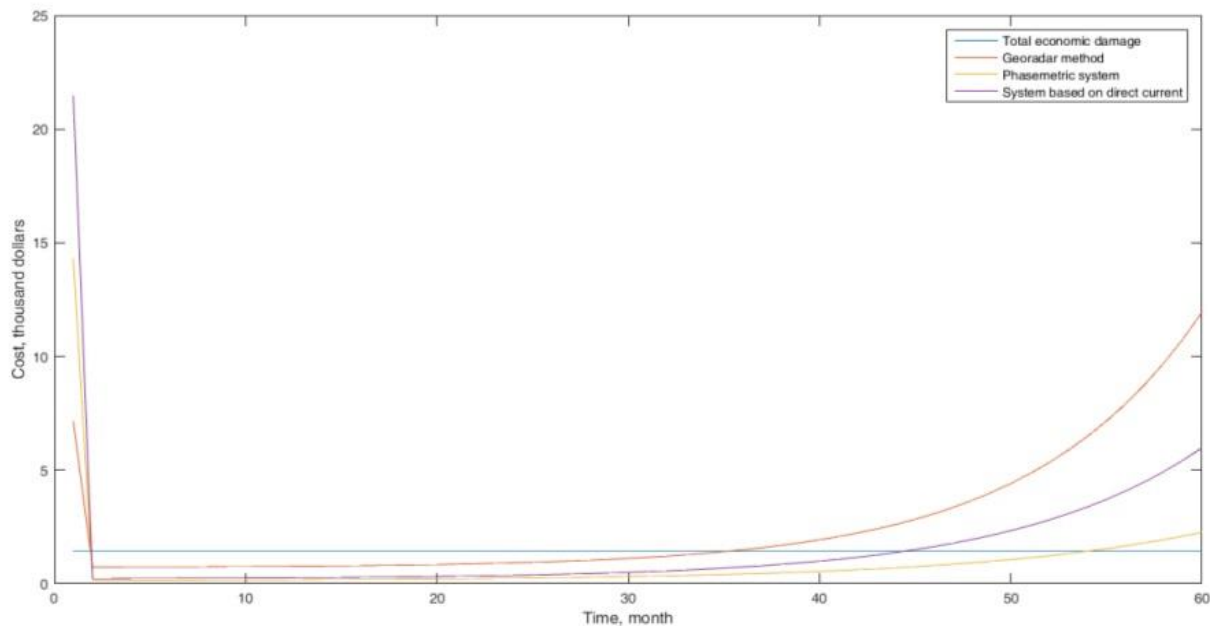


Рис. 3. Сравнение затрат при применении разработанного метода
 Fig. 3. Comparison of costs when applying the developed method

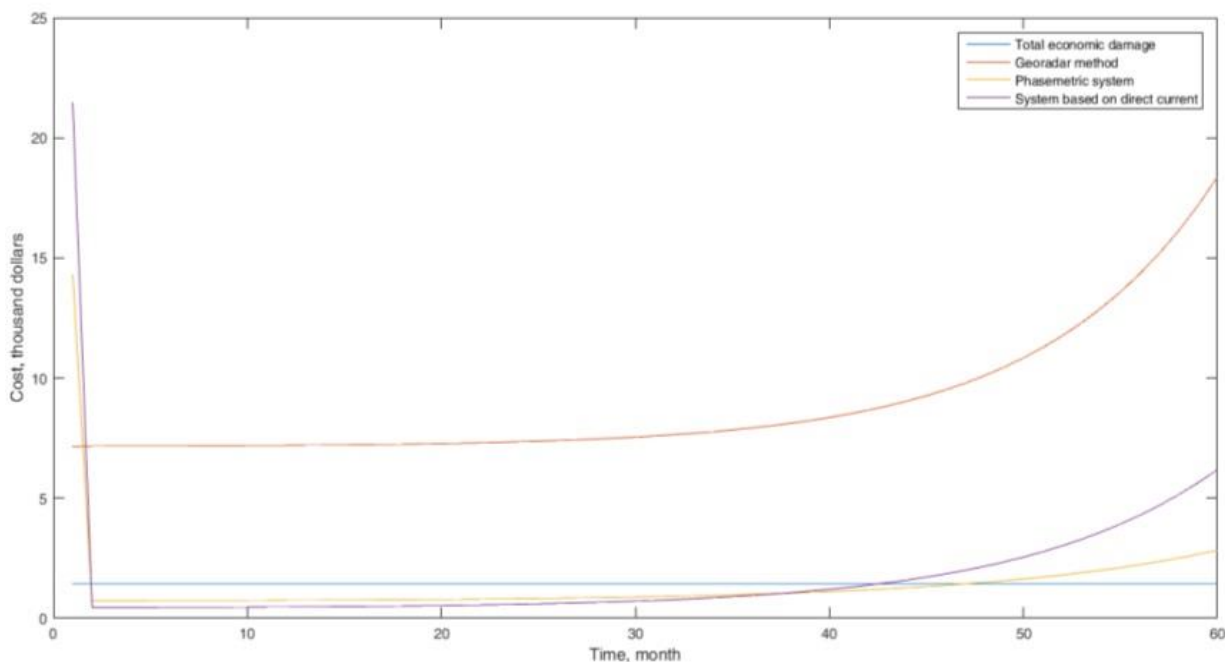


Рис. 4. Сравнение затрат без использования разработанного метода
 Fig. 4. Comparison of costs without using the developed method

Таблица 1
 Table 1

Сравнение затрат при различных методах измерения за 5 лет
 Comparison of costs for different measurement methods over 5 years

Тип системы мониторинга	Без разработанного метода, тыс. долларов	С разработанным методом, тыс. долларов
Георадарное обследование	535,2	155,8
Система на постоянном токе	107,1	94,5
Фазометрическая система	82,8	49,0

Заключение

Нормативными документами в области строительства и эксплуатации сооружений регламентируется регулярное проведение мониторинговых работ наиболее важных участков геотехнической системы. Однако на практике постоянное проведение таких работ для всех зданий приносит большие издержки и часто игнорируется. Как видно из результатов, описанных в данной статье, разработанный метод обработки параметров геотехнической системы позволяет снизить затраты на проведение мониторинговых работ с одновременным сохранением точности прогнозных оценок, что позволит повысить техногенную безопасность. Для дополнительного снижения затрат возможно построение гибкого графика мониторинга на основе данных о периоде развития деструктивных процессов и комбинировании различных методов измерения. Такой подход хорошо согласуется с задачами и целями геотехнического мониторинга.

Список литературы

1. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Дата введения 25.03.2010.
2. Иноземцев В.К., Иноземцева О.В., Стрельникова К.А. 2010. Расчет бифуркационной устойчивости системы «Сооружение-слой основания» с учетом физической нелинейности основания. *Строительство и реконструкция*, 1 (27): 16–22.
3. Иноземцев В.К., Редков В.И. 2017. Геотехнические риски строительства и эксплуатации зданий на территориях с оползневыми процессами. *Вестник Поволжского отделения Руси. Академия архитектуры и строительных наук*, 20: 170–179.
4. Квартальнов С.В., Макулов В.В. 2017. Геотехнический мониторинг зданий и сооружений. *European science*, 5 (27): 43–45.
5. Леонов О.А., Шкаруба Н.Я. 2012. Алгоритм выбора средств измерений для контроля качества по технико-экономическим критериям. *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина*, 2 (53): 89–91.
6. Мальцев А.В., Астафьева Н.С., Булавкина Ю.В. 2014. Значение геомониторинга при новом строительстве и реконструкции. *Землеустройство и кадастры*, 3 (4): 213–218.
7. Назаров Д.И. 2015. Разрушение конструкций горнотехнического здания, энергетический и бифуркационный анализ. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 7: 95–100.
8. Осокин А.И., Татаринцов С.В., Денисова О.О., Макарова Е.В. 2014. Система геотехнического мониторинга как средство обеспечения безопасности строительства. *Жилищное строительство*, 9: 10–18.
9. Сосунов И.В. 2010. Актуальные вопросы предупреждения чрезвычайных ситуаций, Научно-методическое издание, МЧС России, ФГУ, Рез. Институт гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций, 352.
10. Теличенко В.И., Гутенев В.В., Слесарев М.Ю. 2006. Подходы к интерпретации систем управления экологической безопасностью в строительстве. *Экология урбанизированных территорий*, 2: 6–11.
11. Улицкий В.М., Шашкин А.Г. 1999. Геотехническое сопровождение реконструкции городов: (Обследование, расчеты, ведение работ, мониторинг) . М.: Изд-во АСВ, 324.
12. Bondarik G.K. 2012. Geokibernetika – A tool for diagnosing and predicting the state of natural and natural-technical systems, *Geocol., Eng. geology, Hydrogeol., geocryology*, 4: 364–370.
13. Dorofeev N., Kuzichkin O., Eremenko V. 2016. The method of selection of key objects and the construction of forecast function of the destructive geodynamic processes. *Informatics, geoinformatics and remote sensing conference proceedings, sgem 2016. Albena, Bulgaria*, 1: 883–890.
14. Grecheneva A.V., Kuzichkin O.R., Mikhaleva E.S., Dorofeev N.V. 2018. Geotechnical monitoring of the buildings on the basis of analysis of transfer functions and cyclic vibrational technogenic loads, *Jour of Adv Research in Dynamical and Control Systems*, Vol. 10, Iss. 02: 1995–2003.
15. Kostarev S. N., Sereda T. G., Mikhailova M.A. 2013. Development of an automated monitoring and management system for natural-technical waste disposal systems, *Fund. Res.*, 6(2): 273–277.
16. Kuzichkin O.R., Grecheneva A.V., Dorofeev N.V., Mishunin V.V. 2018b. Geotechnical monitoring of the objects based on the method of inclinometric control of own frequencies, *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, Vol. 10. Iss. 13: 616–619.

17. Kuzichkin O.R., Grecheneva A.V., Gakhov R.P., Dorofeev N.V., Baknin M.D., Gakhov B.R. 2018a. Development and research of the geoelectric model of the local zone of geodynamic control, *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, Vol. 10. Iss. 13: 620–62.
18. Petrochenko V. I., Petrochenko A. V. 2019. Optimization of design solutions for flood protection in river basins, *Reclamation*, 2 (88): 26–33.
19. Sledge I. J., Keller J. M. 2008. Growing neural gas for temporal clustering. 19th Int. conf. on Pattern Recognition. Tampa, Florida, USA, 1–8.
20. Vasilyev G.S., Kuzichkin O.R., Romanov R.V., Dorofeev N.V., Grecheneva A.V. 2018. The practice of using a multi-pole electrical installation for monitoring the coastal zone of karst lakes. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2018 Albena, Bulgaria*, Vol. 18. Iss. 1.2: 727–734.

References

1. GOST R 53778-2010. Buildings and constructions. Rules for inspection and monitoring of technical condition. Date of introduction 25.03.2010. (in Russian)
2. Inozemtsev V. K., Inozemtseva O. V., Strelnikova K. A. 2010. Bifurcational stability of a system “Construction based on a foundation layer with non-linearity of its properties”. *Construct. and Reconstruct*, 1 (27): 16–22. (in Russian)
3. Inozemtsev V.K., Redkov V.I. 2017. Geotechnical Risks of Construction and Operation of Buildings in Landslide Areas. *Vestnik Povolzhskogo otdeleniya Rusi. Akademiya arkhitektury i stroitel'nykh nauk*, 20: 170–179. (in Russian)
4. Kvartalnov S.V., Makulov V.V. 2017. Geotechnical monitoring of buildings and structures. *European science*, 5(27): 43–45. (in Russian)
5. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. Selection algorithm of measuring instruments for quality control on technical and economic criteria *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet im. V.P. Goryachkina*, 2 (53): 89–91. (in Russian)
6. Maltsev A. V., Astafyeva N. S., Bulavkina Yu. V. 2014. Value of geomonitoring at new construction and reconstruction. *Zemleustroystvo i kadastry*, 3(4): 213–218. (in Russian)
7. Nazarov D. I. 2015. The crash of structures of mining engineering buildings, the energy and bifurcation analysis, *Mining Inf. and Analytical Bulletin (Sci. and Tech. J.)*, 7: 95–100. (in Russian)
8. Osokin A.I., Tatarinov S.V., Denisova O.O., Makarova E.V. Geotechnical Monitoring System as a Tool for Ensuring the Safety of Construction. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*, 9: 10–18. (in Russian)
9. Sosunov I. V. 2010. Aktual'nyye voprosy preduprezhdeniya chrezvychaynykh situatsiy, *Nauchno-metodicheskoye izdaniye [Topical Issues of Prevention of Emergency Situations, Scientific and Methodological Edition] MCHS Rossii*, M.: FGU, Rez. Institut grazhdanskoy oborony i chrezvychaynykh situatsiy, 352. (in Russian)
10. Telichenko V.I., Goutenev V.V., Slessarev M. Yu. The approaches to the interpretation of the systems of control over the environmental safety in construction. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*, 2: 6–11. (in Russian)
11. Ulitskiy V.M., Shashkin A.G. 1999. Geotekhnicheskoye soprovozhdeniye rekonstruktsii gorodov: (Obsledovaniye, raschety, vedeniye rabot, monitoring). [Geotechnical support of urban reconstruction: (Survey, calculations, work, monitoring)] M.: ASV, 324. (in Russian)
12. Bondarik G. K. 2012. Geokibernetika – A tool for diagnosing and predicting the state of natural and natural-technical systems, *Geoecol., Eng. geology, Hydrogeol., geocryology*, 4: 364–370.
13. Dorofeev N., Kuzichkin O., Eremenko V. 2016. The method of selection of key objects and the construction of forecast function of the destructive geodynamic processes. *Informatics, geoinformatics and remote sensing conference proceedings, sgem 2016. Albena, Bulgaria*, 1: 883–890.
14. Grecheneva A.V., Kuzichkin O.R., Mikhaleva E.S., Dorofeev N.V. 2018. Geotechnical monitoring of the buildings on the basis of analysis of transfer functions and cyclic vibrational technogenic loads, *Jour of Adv Research in Dynamical and Control Systems*, Vol. 10, Iss. 02: 1995–2003.
15. Kostarev S. N., Sereda T. G., Mikhailova M.A. 2013. Development of an automated monitoring and management system for natural-technical waste disposal systems, *Fund. Res.*, 6(2): 273–277.
16. Kuzichkin O.R., Grecheneva A.V., Dorofeev N.V., Mishunin V.V. 2018b. Geotechnical monitoring of the objects based on the method of inclinometric control of own frequencies, *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, Vol. 10. Iss. 13: 616–619.

17. Kuzichkin O.R., Grecheneva A.V., Gakhov R.P., Dorofeev N.V., Baknin M.D., Gakhov B.R. 2018a. Development and research of the geoelectric model of the local zone of geodynamic control, *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, Vol. 10. Iss. 13: 620–62.
18. Petrochenko V. I., Petrochenko A. V. 2019. Optimization of design solutions for flood protection in river basins, *Reclamation*, 2 (88): 26–33.
19. Sledge I. J., Keller J. M. 2008. Growing neural gas for temporal clustering. 19th Int. conf. on Pattern Recognition. Tampa, Florida, USA, 1–8.
20. Vasilyev G.S., Kuzichkin O.R., Romanov R.V., Dorofeev N.V., Grecheneva A.V. 2018. The practice of using a multi-pole electrical installation for monitoring the coastal zone of karst lakes. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2018 Albena, Bulgaria*, Vol. 18. Iss. 1.2: 727–734.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Греченева Анастасия Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры управления и контроля в технических системах Владимирского государственного университета им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия

Дорофеев Николай Викторович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой управления и контроля в технических системах Владимирского государственного университета им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия

Панькина Екатерина Сергеевна, научный сотрудник кафедры управления и контроля в технических системах Владимирского государственного университета им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия

Романов Роман Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления и контроля в технических системах Владимирского государственного университета им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anastasia V. Grecheneva, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Management and Control in Technical Systems Vladimir State University, Vladimir, Russia

Nikolay V. Dorofeev, Doctor of Technical Sciences Docent, Head of the Department of Management and Control in Technical Systems Vladimir State University, Vladimir, Russia

Ekaterina S. Pankina, Researcher, Department of Management and Control in Technical Systems Vladimir State University, Vladimir, Russia

Roman V. Romanov, Candidate of Technical Sciences, Docent, Docent of the Department of Management and Control in Technical Systems Vladimir State University, Vladimir, Russia

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 621.39

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-648-660

Исследование решающих правил распознавания объектов в малобазовой поляризационной измерительной системе при субполосной обработке сигналов

И.И. Олейник

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

Аннотация

Показано, что в малобазовых поляризационных измерительных системах параметры принимаемых сигналов определяются характеристиками объекта при отражении от него зондирующих сигналов различных поляризаций. Показана возможность использования субполосного анализа для формирования векторов признаков распознавания. В качестве признаков распознавания предложено использование поляризационно-субполосного вектора, сформированного из принятых, отраженных от объекта сигналов. Разработаны двухальтернативные и многоальтернативные решающие правила распознавания и определены критерии принятия решений. Исследованы особенности построения решающих правил, определяемые рангом поляризационно-субполосной ковариационной матрицы объекта. Предлагается методика классификации объектов на этапе обучения с использованием оценок параметров распределения поляризационно-субполосного вектора.

Ключевые слова: малобазовая система, поляризация, распознавание, решающее правило, оценка, субполосный анализ, вектор, матрица, сигнал, гипотеза, ранг, классификация, ошибка, порог.

Для цитирования: Олейник И.И. 2020. Исследование решающих правил распознавания объектов в малобазовой поляризационной измерительной системе при субполосной обработке сигналов. Экономика. Информатика. 47 (3): 648–660. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-648-660.

Investigation of crucial rules for object recognition in a small basic polarization measuring system for sub-band signal processing

I.I. Oleynik

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

Abstract

It is shown that in small basic polarization measuring systems, the parameters of the received signals are determined by the characteristics of the object, when sounding signals of various polarizations are reflected from it. The possibility of using sub-band analysis to generate recognition feature vectors is shown. The use of a polarization-subband vector formed from received signals reflected from the object is suggested as recognition features. Two alternative and multi-alternative decision recognition rules have been developed and decision criteria have been defined. The features of constructing decision rules determined by the rank of the object's polarization-subband covariance matrix are investigated. We propose a method for classifying objects at the training stage, using estimates of the distribution parameters of the polarization-subband vector.

Keywords: small basic systems, polarization, recognition, decision rule, estimation, subband analysis, vector, matrix, signal, hypothesis, rank, classification, error, threshold.

For citation: Oleynik I.I. 2020. Investigation of crucial rules for object recognition in a small basic polarization measuring system for sub-band signal processing. *Economics. Information technologies.* 47 (3): 648–660 (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-648-660.

Введение

На сегодняшний день обработка информации в многопозиционных радиолокационных измерительных системах выходит на принципиально новый технологический уровень. В таких системах существует возможность сканирования одного и того же объекта несколькими радиолокаторами или несколькими радиолокационными позициями. Данный принцип используется в ММО системах [Черняк, 2011]. Малобазовая радиолокационная система представляет собой систему, для которой антенны всех позиций, как передающих, так и приемных, находятся в пределах средней ширины лепестка диаграммы обратного рассеяния облучаемого объекта [Олейник, 2020]. При этом фронт падающей на антенны системы волны считается плоским в пределах базы (расстояния между приемными пунктами системы).

Принципы формирования, приема и обработки сигналов с поляризационными различиями в таких системах на сегодняшний день изучены недостаточно. Особенно при распознавании радиолокационных объектов в малобазовых поляризационных измерительных системах (МПИС) [Bliss et al., 2003].

Для распознавания объектов в МПИС необходимо решить ряд взаимосвязанных задач: выбор информативных признаков объектов распознавания, выбор способа описания признаков, минимизирующего вычислительные затраты на распознавание, выбор процедуры принятия решений в реальном времени. Спецификой проблемы распознавания объектов является существенная априорная неопределенность относительно количества классов объектов, их признаков и характеристик, что не позволяет использовать традиционные методы распознавания объектов, ориентированные на постобработку данных. Все вышеперечисленное требует разработки оптимальных решающих правил распознавания объектов с учетом всех особенностей построения и функционирования малобазовых поляризационных измерительных систем.

Принципы построения, организация излучения и приема сигналов в малобазовой поляризационной измерительной системе

В общем случае МПИС может иметь различную структуру построения. В частности, могут быть использованы две приемо-передающие позиции, работающие на двух ортогональных поляризациях [Олейник, 2020].

Рассмотрим вариант, при котором МПИС состоит из трех позиций [Олейник, 2020]. Одна позиция состоит из передающего устройства и антенны. При этом антенна может поочередно излучать сигналы двух ортогональных линейных поляризаций (вертикальная и горизонтальная). Вторая и третья позиция, состоящие из антенн и приемных устройств, принимают отраженные от объектов сигналы, причем каждая только на одной линейной поляризации (вертикальной и горизонтальной поляризации).

В качестве антенн могут выступать активные фазированные антенные решетки (АФАР) с определенным сектором электронного сканирования диаграммой направленности (ДН) [Ширман, 1998]. При этом алгоритм сканирования должен обеспечивать излучение и прием сигналов с каждой позиции в одном и том же угловом направлении. Это позволяет одновременно принимать отраженный от одного и того же объекта сигнал на обе приемные позиции.

В результате функционирования такой МПИС производится измерение поляризационного вектора рассеяния (ПВР) объекта [3].

Для обеспечения измерения ПВР необходимо, чтобы были поочередно излучены сигналы двух ортогональных поляризаций. Прием отраженных сигналов необходимо проводить одновременно на обе позиции, для каждого излученного сигнала. В этом случае возможно сформировать ПВР облучаемого объекта для каждого момента времени t [Burdanova et al., 2019; Киселев, 2005]

$$\dot{\mathbf{S}}(t) = (\dot{S}_{gv}(t) \quad \dot{S}_{gg}(t) \quad \dot{S}_{vg}(t) \quad \dot{S}_{vv}(t))^T, \quad (1)$$

где: $\dot{S}(t)$ – комплексные амплитуды на выходе приемных каналов, индекс g обозначает горизонтальную поляризацию, индекс v – вертикальную, первый индекс при S обозначает излучаемую поляризацию, второй – принимаемую (например, $\dot{S}_{vg}(t)$ – был излучен сигнал на вертикальной поляризации, а принят на горизонтальной).

На рис. 1 приведена структура трехпозиционной МПИС с одной передающей и двумя приемными позициями. Символом P_p обозначена передающая позиция. Символом Pr_g – приемная позиция, осуществляющая прием сигналов горизонтальной поляризации, символом Pr_v – приемная позиция, осуществляющая прием сигналов вертикальной поляризации. Символом O обозначен условный фазовый центр. R – расстояние от условного фазового центра до объекта. Символами r_v , r_g и r_p обозначены расстояния от антенн до объекта, для каждой позиции соответственно. В общем случае направление на объект может не совпадать с перпендикуляром к условному фазовому центру и может составлять некий угол α . Расстояния $\Delta r_v = R - r_v$, а $\Delta r_g = R - r_g$. Эти расстояния будут определять разности набега фаз отраженного сигнала относительно условного фазового центра.

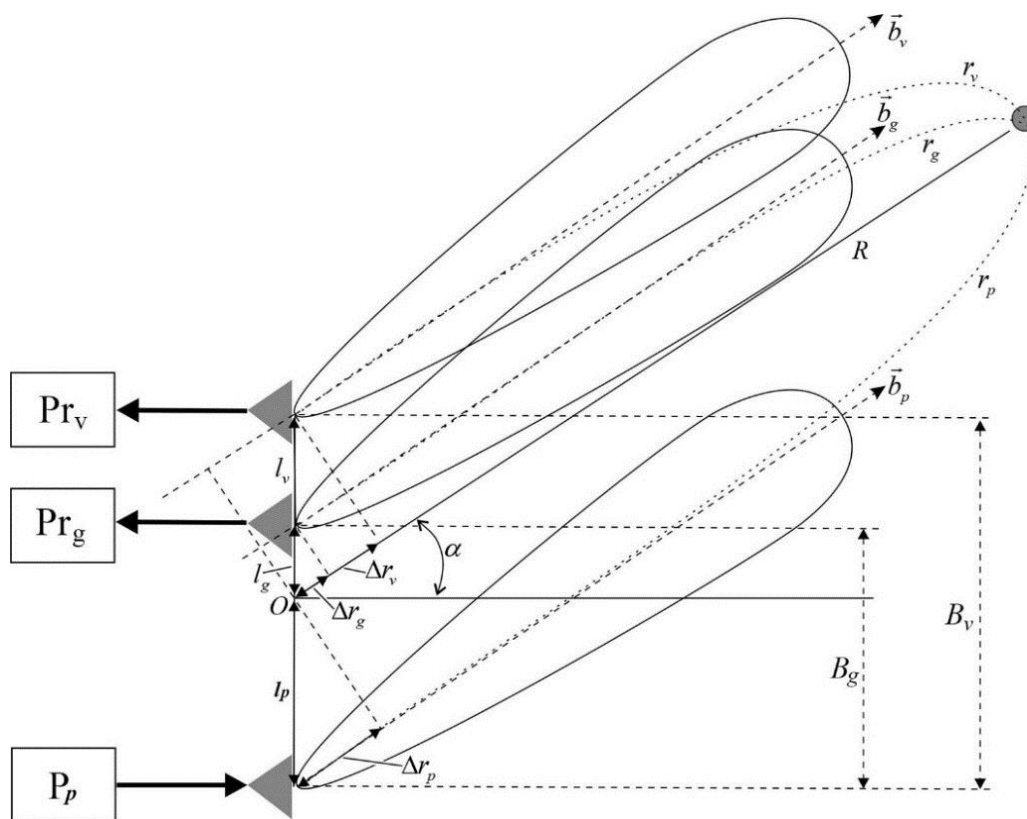


Рис. 1 Малобазовая поляризационная измерительная система
Fig. 1 Small basic polarizing measuring system

В общем случае антенны всех позиций могут иметь различные характеристики направленности, соответственно и коэффициенты усиления (КУ) антенн будут отличаться. База между позициями характеризуется расстоянием B . Таким образом, для МПИС расстояния B_v и B_g должны быть намного меньше R .

Напряжения на выходе приемных каналов можно записать в виде [Олейник, 2020]

$$\dot{S}_{gg}(t) = Z_{gg} \exp(-j\Psi_{gg}) \dot{I}(t) \sigma_{gg} + \dot{S}_{ug}(t), \quad (2)$$

$$\dot{S}_{gv}(t) = Z_{gv} \exp(-j\Psi_{gv}) \dot{I}(t) \sigma_{gv} + \dot{S}_{uv}(t), \quad (3)$$

$$\dot{S}_{vg}(t) = Z_{vg} \exp(-j\Psi_{vg}) \dot{I}(t) \sigma_{vg} + \dot{S}_{ug}(t), \quad (4)$$

$$\dot{S}_{vv}(t) = Z_{vv} \exp(-j\Psi_{vv}) \dot{I}(t) \sigma_{vv} + \dot{S}_{uv}(t). \quad (5)$$

где:

$$Z_{gg} = K_{Pr g} \frac{1}{R^2} \sqrt{G_{A_{Pr g}} \cdot G_{A_p} \cdot P_{A_p}}, \quad Z_{gv} = K_{Pr v} \frac{1}{R^2} \sqrt{G_{A_{Pr v}} \cdot G_{A_p} \cdot P_{A_p}}, \quad (6)$$

$$Z_{vg} = K_{Pr g} \frac{1}{R^2} \sqrt{G_{A_{Pr g}} \cdot G_{A_p} \cdot P_{A_p}}, \quad Z_{vv} = K_{Pr v} \frac{1}{R^2} \sqrt{G_{A_{Pr v}} \cdot G_{A_p} \cdot P_{A_p}}, \quad (7)$$

с учетом введенных допущений $G_{A_{Pr g}} = G_{A_{Pr v}} = G_{A_p}$, $P_{A_{Pr g}} = P_{A_{Pr v}} = P_{A_p}$,

где: $\dot{S}_{ug}(t)$ и $\dot{S}_{uv}(t)$ – напряжение собственных шумов приемных устройств горизонтальной поляризации и вертикальной поляризации соответственно;

$K_{Pr g}$ и $K_{Pr v}$ – коэффициенты усиления приемных устройств горизонтальной поляризации и вертикальной поляризации соответственно;

$G_{A_{Pr g}}$ и $G_{A_{Pr v}}$ – коэффициенты усиления приемных антенн горизонтальной поляризации и вертикальной поляризации соответственно;

P_{A_g} и P_{A_v} – мощности, излучаемые антенной передающего устройства на горизонтальной и вертикальной поляризации соответственно;

G_{A_p} – коэффициент усиления передающей антенны;

$\Psi_{gg} = -k \cdot 2l_g \sin \alpha$, $\Psi_{gv} = -k \cdot \sin \alpha \cdot (l_p - l_v)$, $\Psi_{vg} = -k \cdot \sin \alpha \cdot (l_p - l_g)$, $\Psi_{vv} = -k \cdot 2l_v \sin \alpha$ – набеги фаз отраженных сигналов для приемных антенн вертикальной и горизонтальной поляризации при соответствующих излученных сигналах;

$k = 2\pi / \lambda$ – волновое число; λ – длина волны;

$\dot{I}(t)$ – множитель, описывающий вид сигнала (модуляцию комплексной огибающей);

σ_{gv} – эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) объекта на вертикальной поляризации, при облучении его сигналом горизонтальной поляризации;

σ_{gg} – ЭПР объекта на горизонтальной поляризации при облучении его сигналом горизонтальной поляризации.

σ_{vv} – ЭПР объекта на вертикальной поляризации при облучении его сигналом вертикальной поляризации;

σ_{vg} – ЭПР объекта на горизонтальной поляризации при облучении его сигналом вертикальной поляризации [Ширман, 2007].

Амплитудный множитель, входящий в выражения (6,7), можно представить в виде

$$\frac{1}{R^2} \approx \frac{1}{r_g r_p} \approx \frac{1}{r_p r_v}. \quad (8)$$

При этом $R \approx r_g \approx r_v \approx r_p$. Это допущение оправдано тем, что расстояния составляют километры, а база B – единицы метров (рис. 1).

Проанализировав полученные выражения, можно отметить, что в малобазовой поляризационной измерительной системе энергетические характеристики принимаемых сигналов будут в основном определяться ЭПР объекта на различных поляризациях. Прослеживается непосредственная зависимость от характеристик объекта при отражении от него зондирующих сигналов различных поляризаций. Это свойство является определяющим при разработке решающих правил распознавания объектов.

Субполосное представление сигналов в частотной области и формирование выборки векторов для распознавания

Принятый и оцифрованный сигнал $\dot{S}(t)$ (один из компонент вектора вида (1)), дискретизированный по времени, можно представить в векторном виде [Бакулев, 2004; Ronald et al., 2004]

$$\vec{S} = (s_1, s_2, \dots, s_Q). \tag{9}$$

Компоненты вектора \vec{S} представляют собой значения сигнала (функции времени), которые соответствуют значению аргумента $q\Delta t$

$$s_q = s(q\Delta t), \quad q = 1, \dots, Q, \tag{10}$$

где: Q – количество отсчетов сигнала; q – номер отсчета; Δt – интервал дискретизации по времени.

В общем случае энергии сигнальных компонент сосредоточены в малом количестве достаточно узких интервалов области определений спектров. При таком подходе возможно разбиение частотной оси на ряд частотных интервалов [Жиляков, 2015]

$$\Delta\omega = 4\pi / (Q - 1). \tag{11}$$

В соответствии с соотношением (11) возможно разбиение оси частот на частотные интервалы (субполосы) в следующем виде [Жиляков, 2015]:

$$\omega_k = [-\omega_{1k}, -\omega_{2k}) \cup [\omega_{1k}, \omega_{2k}), \quad k = 0, \dots, K \tag{12}$$

$$\omega_{10} = 0; \quad \omega_{20} = 2\pi / (Q - 1); \quad \omega_{1k} = \omega_{2k-1}; \quad \omega_{2k} - \omega_{1k} = 4\pi / (Q - 1), \tag{13}$$

где: K – число частотных интервалов; k – номер частотного интервала.

В основе субполосного анализа принято использовать понятие части энергии сигнала, попадающей в заданный частотный интервал [Zhilyakov, 2020]

$$P_k(s) = \int_{\omega \in \Omega_k} |S(\omega)|^2 d\omega / 2\pi. \tag{14}$$

Подставив в (14) выражение

$$S(\omega) = \sum_{q=1}^Q s(q) \exp(-j\omega(q-1)) \tag{15}$$

и проведя ряд преобразований, можно получить представление сигнала непосредственно в области оригиналов в виде квадратичной формы [Zhilyakov, 2020]

$$U_k(\vec{s}) = \vec{s}^T \mathbf{A}_k \vec{s}, \tag{16}$$

где: \mathbf{A}_k – субполосная матрица с элементами

$$a_{\gamma\xi}^k = \frac{\sin[\omega_{2k}(\gamma - \xi)] - \sin[\omega_{1k}(\gamma - \xi)]}{\pi(\gamma - \xi)} \quad \text{при } \gamma \neq \xi;$$

$$a_{\gamma\xi}^k = \frac{\omega_{2k} - \omega_{1k}}{\pi} \quad \text{при } \gamma = \xi; \quad \gamma, \xi = 1, \dots, Q.$$

Субполосная матрица \mathbf{A}_k рассчитывается для каждого частотного интервала k . После преобразования (16) вектор (9) фактически преобразовывается в вектор размерностью k , который можно записать в виде [Zalivin et al., 2020]

$$\vec{\mathbf{U}}_{(k)} = (U_{(1)} \quad U_{(2)} \quad \dots \quad U_{(k)})^T, \quad (17)$$

где: U – доля (часть) энергии сигнала в частотном интервале; k – номер частотного интервала; T – знак транспонирования.

Следовательно, компоненты ПВР (1) при субполосном представлении в спектральной области можно записать в виде вектора размерностью $4k$

$$\vec{\mathbf{U}}_{(4k)} = \begin{pmatrix} \vec{U}_{(k)}^{(gg)} \\ \vec{U}_{(k)}^{(gv)} \\ \vec{U}_{(k)}^{(vg)} \\ \vec{U}_{(k)}^{(vv)} \end{pmatrix}, \quad (18)$$

где каждая из компонент также представляет собой вектор размерностью k

$$\vec{U}_{(k)}^{(gg)} = \begin{pmatrix} U_{(1)}^{(gg)} \\ U_{(2)}^{(gg)} \\ \dots \\ U_{(k)}^{(gg)} \end{pmatrix}, \quad \vec{U}_{(k)}^{(gv)} = \begin{pmatrix} U_{(1)}^{(gv)} \\ U_{(2)}^{(gv)} \\ \dots \\ U_{(k)}^{(gv)} \end{pmatrix}, \quad \vec{U}_{(k)}^{(vg)} = \begin{pmatrix} U_{(1)}^{(vg)} \\ U_{(2)}^{(vg)} \\ \dots \\ U_{(k)}^{(vg)} \end{pmatrix}, \quad \vec{U}_{(k)}^{(vv)} = \begin{pmatrix} U_{(1)}^{(vv)} \\ U_{(2)}^{(vv)} \\ \dots \\ U_{(k)}^{(vv)} \end{pmatrix}. \quad (19)$$

Вектор вида (18), в отличие от (1), будет по сути поляризационно-субполосным вектором (ПСВ) объекта.

В случае, если локатор осуществляет несколько зондирований (пачка), по одному и тому же объекту и выполняются требования к когерентности отраженных сигналов (параметры отраженных сигналов неизменны в течение времени когерентности) [Гринкевич, 2015], то принятую пачку сигналов можно представить в виде выборки из n векторов размерностью $4k$

$$\vec{\mathbf{U}}_{n(4k)} = \begin{pmatrix} \vec{U}_{1(k)}^{(gg)} & \vec{U}_{2(k)}^{(gg)} & \dots & \vec{U}_{n(k)}^{(gg)} \\ \vec{U}_{1(k)}^{(gv)} & \vec{U}_{2(k)}^{(gv)} & \dots & \vec{U}_{n(k)}^{(gv)} \\ \vec{U}_{1(k)}^{(vg)} & \vec{U}_{2(k)}^{(vg)} & \dots & \vec{U}_{n(k)}^{(vg)} \\ \vec{U}_{1(k)}^{(vv)} & \vec{U}_{2(k)}^{(vv)} & \dots & \vec{U}_{n(k)}^{(vv)} \end{pmatrix}, \quad (20)$$

где: n – количество импульсов в пачке; $i = 1, \dots, n$ – текущий номер зондирования.

В общем случае выборка (20) является случайными измерениями (является многомерной случайной величиной), поскольку измерения подвержены случайным возмущениям, вероятностный характер которых сказывается на всех стадиях. Это погрешности самого измерителя, неточности регистрации и шумы в каналах при передаче данных измерений, ошибки округления при вычислениях и ряд других параметров. Следовательно, возможно определить многомерное распределение вероятности данных измерений и провести оценку его моментов.

Решающие правила распознавания объектов и особенности их построения

В случае предположения Гауссовости (нормальности) случайных измерений, вероятностное распределение выборки может характеризоваться двумя моментами – первым начальным (математическим ожиданием) и вторым центральным (ковариационной матрицей) [Богачев, 1997]. Элементы ковариационной матрицы (КМ) отражают степень статистической

связи элементов исходного вектора фиксируемых параметров между собой. Вектор математического ожидания (МО) можно записать в виде [Бурданова и др., 2008]

$$\vec{\mathbf{m}}_{(4k)} = \begin{pmatrix} \vec{m}_{(k)}^{(gg)} \\ \vec{m}_{(k)}^{(gv)} \\ \vec{m}_{(k)}^{(vg)} \\ \vec{m}_{(k)}^{(vv)} \end{pmatrix}, \quad (21)$$

где элементы вектора $\vec{\mathbf{m}}_{(4k)}$ вычисляются в соответствии с выражениями

$$\vec{m}_{(k)}^{(gg)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \vec{U}_{i(k)}^{(gg)}, \quad \vec{m}_{(k)}^{(gv)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \vec{U}_{i(k)}^{(gv)}, \quad \vec{m}_{(k)}^{(vg)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \vec{U}_{i(k)}^{(vg)}, \quad \vec{m}_{(k)}^{(vv)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \vec{U}_{i(k)}^{(vv)}, \quad (22)$$

где: нижний символ (k) обозначает размерность вектора (количество частотных интервалов или субполос); верхний символ (например (gg)) обозначает вид поляризации излученной и принятой поляризации, соответственно выражению (1).

Размерность вектора МО (21) будет, соответственно, $4k$.

Ковариационную матрицу можно записать в виде выражения [Бурданова и др., 2007]

$$\mathbf{M}_{(4k \times 4k)} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\vec{U}_{i(4k)} - \vec{\mathbf{m}}_{(4k)}) (\vec{U}_{i(4k)} - \vec{\mathbf{m}}_{(4k)})^T. \quad (23)$$

Размерность такой матрицы будет равна $4k \times 4k$, а сама матрица имеет блочную структуру. Следовательно, блоки матрицы можно представить в соответствии с выражениями

$$\begin{aligned} M_{(k \times k)}^{(gg:gg)} &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\vec{U}_{i(k)}^{(gg)} - \vec{m}_{(k)}^{(gg)}) (\vec{U}_{i(k)}^{(gg)} - \vec{m}_{(k)}^{(gg)})^T \\ M_{(k \times k)}^{(gg:gv)} &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\vec{U}_{i(k)}^{(gg)} - \vec{m}_{(k)}^{(gg)}) (\vec{U}_{i(k)}^{(gv)} - \vec{m}_{(k)}^{(gv)})^T \\ M_{(k \times k)}^{(gg:vg)} &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\vec{U}_{i(k)}^{(gg)} - \vec{m}_{(k)}^{(gg)}) (\vec{U}_{i(k)}^{(vg)} - \vec{m}_{(k)}^{(vg)})^T \\ M_{(k \times k)}^{(gg:gv)} &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\vec{U}_{i(k)}^{(gg)} - \vec{m}_{(k)}^{(gg)}) (\vec{U}_{i(k)}^{(gv)} - \vec{m}_{(k)}^{(gv)})^T \\ &\dots \\ M_{(k \times k)}^{(vv:vv)} &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\vec{U}_{i(k)}^{(vv)} - \vec{m}_{(k)}^{(vv)}) (\vec{U}_{i(k)}^{(vv)} - \vec{m}_{(k)}^{(vv)})^T \end{aligned}$$

Таким образом, ковариационную матрицу (23) можно представить в виде

$$\mathbf{M}_{(4k \times 4k)} = \begin{pmatrix} M_{(k \times k)}^{(gg:gg)} & M_{(k \times k)}^{(gg:gv)} & M_{(k \times k)}^{(gg:vg)} & M_{(k \times k)}^{(gg:vv)} \\ M_{(k \times k)}^{(gv:gg)} & M_{(k \times k)}^{(gv:gv)} & M_{(k \times k)}^{(gv:vg)} & M_{(k \times k)}^{(gv:vv)} \\ M_{(k \times k)}^{(vg:gg)} & M_{(k \times k)}^{(vg:gv)} & M_{(k \times k)}^{(vg:vg)} & M_{(k \times k)}^{(vg:vv)} \\ M_{(k \times k)}^{(vv:gg)} & M_{(k \times k)}^{(vv:gv)} & M_{(k \times k)}^{(vv:vg)} & M_{(k \times k)}^{(vv:vv)} \end{pmatrix}. \quad (24)$$

Блоки матрицы будут иметь размерность $k \times k$, а сама матрица $4k \times 4k$. Данную матрицу, в общем случае, можно считать поляризационно-субполосной ковариационной матрицей (ПСКМ) объекта.

При Гауссовом распределении выборки, плотность вероятности i -го вектора выборки может быть записана в виде выражения [Бурданова и др., 2008; Богачев, 1997]

$$P(\vec{U}_{i(4k)}) = \frac{1}{2\pi \det \mathbf{M}_{(4k \times 4k)}} \exp \left[-\frac{1}{2} (\vec{U}_{i(4k)} - \vec{\mathbf{m}}_{(4k)})^T \mathbf{M}_{(4k \times 4k)}^{-1} (\vec{U}_{i(4k)} - \vec{\mathbf{m}}_{(4k)}) \right]. \quad (25)$$

Свойство нормальности признаков сильно упрощает вид решающей функции, так как решающая функция оказывается линейной комбинацией наблюдений, и ее распределение вновь будет нормальным. Все виды решающих правил основаны на формировании отношения правдоподобия и его сравнении с определенным порогом, значение которого определяется выбранным критерием качества [Фомин и др., 1986].

При статистическом обнаружении и распознавании плотности вероятности распределения признаков априори неизвестны, поэтому в решающие правила подставляются не сами плотности вероятности, а их оценки, получаемые в процессе обучения. Соответственно, в решающем правиле с порогом сравнивается не само отношение правдоподобия, а его оценка, полученная в ходе обучения [Фомин, 1986].

В этом случае задачей параметрического обучения будет оценивание параметров (вектора средних (МО) и ПСКМ) нормальных плотностей вероятностей, используемых в решающем правиле. Поэтому в дальнейшем будем использовать не моменты распределения, а их оценки.

Блочная и симметричная структура ПСКМ позволяет сделать вывод, что она может оказаться вырожденной (сингулярной). Для преодоления сингулярности ПСКМ возможно использовать достаточно хорошо разработанный метод анализа главных компонент [Pearson, 1901], заключающийся в том, что подбирается базис, в котором ковариационная матрица не будет сингулярной [Айвазян и др., 1989].

Для этого, в качестве η -мерного базиса $E(\bar{\mathbf{U}})$ выбираются все η нормированные собственных векторов $\bar{\mathbf{b}}_j^0 (j = \overline{1, \eta})$, соответствующих ненулевым собственным значениям l_n ПСКМ. При этом ранг ПСКМ $\text{rg} \mathbf{M} = \eta$. В общем случае должны выполняться условия $\eta \leq 4k$. Тогда матрица перехода \mathbf{B} размера $4k \times \eta$ будет состоять из векторов $\bar{\mathbf{b}}_j^0$, расположенных столбцами [Либенсон и др., 1976]. Матрица \mathbf{B} должна удовлетворять условию $\mathbf{B}^T \mathbf{B} = \mathbf{I}$, где \mathbf{I} – единичная матрица размерности $\eta \times \eta$. Выражения для пересчета исходного вектора и оценок моментов распределения можем записать в виде [Либенсон и др., 1976; Мокеев и др., 2013]

$$\bar{\mathbf{Y}}_{(\eta)} = \mathbf{B}_{(4k \times \eta)} \bar{\mathbf{U}}_{(4k)}, \bar{\boldsymbol{\mu}}_{(\eta)} = \mathbf{B}_{(4k \times \eta)} \bar{\mathbf{m}}_{(4k)}, \mathbf{T}_{(\eta \times \eta)} = \mathbf{B}_{(\eta \times 4k)}^T \mathbf{M}_{(4k \times 4k)} \mathbf{B}_{(4k \times \eta)}, \quad (26)$$

где: $\bar{\mathbf{Y}}_{(\eta)}$ – ПСВ в новом базисе размерностью η , полученный из исходного, путем пересчета; $\bar{\boldsymbol{\mu}}_{(\eta)}$ (оценка вектора МО) и ПСКМ $\mathbf{T}_{(\eta \times \eta)}$ – пересчитанные в базис размерности η .

Плотность вероятности (25) в новом базисе можно записать в виде [Zalivin et al., 2020]

$$P(\bar{\mathbf{Y}}_{i(\eta)}) = \frac{1}{2\pi \det \mathbf{T}_{(\eta \times \eta)}} \exp \left[-\frac{1}{2} (\bar{\mathbf{Y}}_{i(\eta)} - \bar{\boldsymbol{\mu}}_{(\eta)})^T \mathbf{T}_{(\eta \times \eta)}^{-1} (\bar{\mathbf{Y}}_{i(\eta)} - \bar{\boldsymbol{\mu}}_{(\eta)}) \right]. \quad (27)$$

В общем случае возможны различные варианты построения решающих правил. Может быть двухальтернативный вариант, или многоальтернативный вариант. Вид решающего правила будет определяться решаемой задачей. Соответственно и критерии принятия решений могут быть различны.

Рассмотрим несколько примеров построения решающих правил и определим их особенности.

Вариант двухальтернативного решающего правила.

Гипотеза H_1 – принятый сигнал и представленный в виде (20), получен при отражении от объекта 1. Гипотеза H_0 – принятый сигнал получен при отражении от другого объекта. Решающее правило в данном случае формируется в виде отношения правдоподобия и сравнения его с порогом [Фукунага, 1979]. После логарифмирования решающее правило может быть записано в виде [Zalivin et al., 2020]

$$\ln L = \frac{n}{2} \ln \frac{\det \mathbf{T}_{1(\eta)}}{\det \mathbf{T}_{0(\eta)}} + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n ((\bar{\mathbf{Y}}_{i(\eta)} - \bar{\boldsymbol{\mu}}_{1(\eta)})^T \cdot (\mathbf{T}_{1(\eta \times \eta)})^{-1} \cdot (\bar{\mathbf{Y}}_{i(\eta)} - \bar{\boldsymbol{\mu}}_{1(\eta)}) -$$

$$-(\vec{Y}_{i(\eta)} - \vec{\mu}_{0(\eta)})^T \cdot (\mathbf{T}_{0(\eta \times \eta)})^{-1} \cdot (\vec{Y}_{i(\eta)} - \vec{\mu}_{0(\eta)}) > \ln C. \quad (28)$$

Оценки вектора МО $\vec{\mu}_{1(\eta)}$ и ПСКМ $\mathbf{T}_{1(\eta \times \eta)}$ должны быть получены с использованием обучающей выборки вида (20), полученной априори, по заранее известному объекту 1 (индекс 1 означает объект 1). На вход решающего правила подается контрольная выборка, получаемая в текущих измерениях по априори неизвестному объекту. Оценки вектора МО $\vec{\mu}_{0(\eta)}$ и ПСКМ $\mathbf{T}_{0(\eta \times \eta)}$ формируются по контрольной выборке. Индекс 0 означает неизвестный объект (другой объект для гипотезы H_0).

Порог принятия решения можно определить в соответствии с критерием Неймана-Пирсона [Фукунага, 1979], задав вероятность ошибки первого рода α (ложная тревога). Чем меньше заданная α , тем выше порог. При превышении порога принимается гипотеза H_1 – контрольная выборка получена по объекту 1. Гипотеза H_0 принимается во всех остальных случаях.

Основная особенность данного решающего правила заключается в том, что ранги ПСКМ для обоих гипотез должны быть одинаковыми (равны η). Соответственно и размерности выборок так же одинаковы и равны η [Либенсон и др., 1976]. Эта особенность позволяет использовать одну и ту же матрицу \mathbf{B} для пересчета всех выборок и всех оценок, используемых в решающем правиле (28). Причем эта матрица может быть получена априори на этапе обучения [Дикуль и др., 2007].

Вариант многоальтернативного решающего правила.

Используется при возникновении задачи, когда необходимо принять решение о принадлежности входной (контрольной) выборки векторов к одному из классов объектов. Возникает задача многоальтернативного выбора. Решающее правило в многоальтернативном случае можно записать в следующем виде: контрольная выборка вида (20) принадлежит классу x_r , $1 \leq r \leq K$, для которого функция правдоподобия максимальна [Фомин и др., 1986]

$$P_r = \prod_{i=1}^n p_r(\vec{Y}_{i(\eta)}) = \max \left\{ \prod_{i=1}^n p_k(\vec{Y}_{i(\eta)}) \right\}, \quad \text{для } 1 \leq k \leq K \quad (29)$$

где: $p_k(\vec{Y}_{i(\eta)})$ – плотность вероятности, в общем случае, η -мерного нормального закона $N(\vec{Y}_{i(\eta)}, \vec{\mu}_{k(\eta)}, \mathbf{T}_{k(\eta \times \eta)})$; K – общее количество классов; k – номер класса.

Решение о принадлежности контрольной выборки векторов $\vec{Y}_{i(\eta)} \in x_r$ принимается в том случае, когда одновременно выполняются $K - 1$ неравенств

$$P_r \geq P_k, \quad k = 1, 2, \dots, r - 1, r + 1, \dots, K.$$

Переходя к логарифмам отношений правдоподобия, решающее правило в многоальтернативном случае записывается в виде: $\vec{Y}_{i(\eta)} \in x_r$, если выполнены условия [Фомин и др., 1986; Дикуль и др., 2007]

$$G_{rk} = G_r - G_k = \ln P_r - \ln P_k = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [(\vec{Y}_{i(\eta)} - \vec{\mu}_{k(\eta)})^T (\mathbf{T}_{k(\eta \times \eta)})^{-1} (\vec{Y}_{i(\eta)} - \vec{\mu}_{k(\eta)}) - (\vec{Y}_{i(\eta)} - \vec{\mu}_{r(\eta)})^T (\mathbf{T}_{r(\eta \times \eta)})^{-1} (\vec{Y}_{i(\eta)} - \vec{\mu}_{r(\eta)})] + \frac{n}{2} \ln \frac{\det \mathbf{T}_{k(\eta \times \eta)}}{\det \mathbf{T}_{r(\eta \times \eta)}} > 0. \quad (30)$$

Приведенное многоальтернативное решающее правило (30) имеет ряд особенностей.

Первая особенность.

В данном случае, в качестве критерия принятия решения использован критерий максимального правдоподобия, поскольку вероятности появления классов и платы за ошибки априори неизвестны [Фомин и др., 1986; Дикуль и др., 2007]. Ошибки формулируются отлично от предыдущего варианта.

Ошибкой первого рода назовем отнесение выборки не к тому классу, к которому она на самом деле принадлежит (т. е. отнесение выборки к какому-либо классу x_k , отличному от x_l). Ошибкой второго рода назовем отнесение выборки к какому-либо определенному классу, когда в действительности она ему не принадлежит. Следовательно, вероятность ошибки первого рода можно записать в виде [Фомин и др., 1986]:

$$\alpha_r = P\left\{\bigcup_{k=1}^K [G_k - G_r > 0 | x_r]\right\} = 1 - P\left\{\bigcap_{\substack{k=1 \\ k \neq r}}^K [G_k - G_r \leq 0 | x_r]\right\} = 1 - P\left\{\bigcap_{\substack{k=1 \\ k \neq r}}^K [G_r - G_k > 0 | x_r]\right\}, \quad (31)$$

а вероятность ошибки второго рода представляется в виде [Фомин и др., 1986]:

$$\beta_r = \frac{1}{K-1} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^K \beta_{rk}, \quad \beta_{rk} = P\left\{\bigcap_{\substack{q=1 \\ q \neq l}}^K [G_r - G_q \leq 0 | x_k]\right\}, \quad q = 1, 2, \dots, K. \quad (32)$$

Вторая особенность.

Для корректного построения решающего правила (30) должно выполняться требование к одинаковой размерности η векторов контрольной выборки $\bar{Y}_{i(\eta)}$, оценок векторов средних (МО) $\bar{\mu}_{k(\eta)}$ и ПСКМ $\mathbf{T}_{k(\eta \times \eta)}$ для всех классов. При этом на этапе обучения появляется возможность провести предварительную классификацию на подклассы по рангам исходных матриц ПСКМ $\text{rg}\mathbf{M}$, которые будут определять размерность пространства признаков распознавания. В качестве признаков распознавания в данном случае выступает исходный вектор $\bar{U}_{(4k)}$ вида (18), который включает в себе все свойства объекта, как поляризационные, так и частотные (спектральные). После классификации по рангам на подклассы на этапе обучения возможно провести классификацию объектов в подклассах с использованием расстояния Махаланобиса [Фукунага, 1979]. В общем случае расстояние Махаланобиса может быть определено как мера различия между двумя случайными векторами с одинаковыми распределениями. При этом должны использоваться оценки моментов распределения, пересчитанные с применением матрицы перехода $\mathbf{V}_{(4k \times \eta)}$ (26). В данном случае значение η будет определять ранг исходных ПСКМ и являться номером подкласса.

Для примера (для классов r и k) выражение для расстояния Махаланобиса можно записать в виде

$$d_{rk}^2 = (\bar{Y}_{k(\eta)} - \bar{Y}_{r(\eta)}) (\mathbf{T}_{k(\eta \times \eta)})^{-1} (\bar{Y}_{k(\eta)} - \bar{Y}_{r(\eta)})^T. \quad (33)$$

При этом должно выполняться требование – расстояние между классами должно быть больше размера классов [Либенсон и др., 1976]. Матрица перехода $\mathbf{V}_{(4k \times \eta)}$ может быть получена на этапе обучения для каждого подкласса [Диккуль и др., 2007].

Заключение

В результате проведенных исследований был получен ряд новых научных результатов.

В малобазовых поляризационных измерительных системах характеристики принимаемых сигналов будут в основном определяться ЭПР объекта на различных поляризациях. Прослеживается непосредственная зависимость параметров сигналов от характеристик объекта, при отражении от него зондирующих сигналов различных поляризаций. Это свойство будет особенно проявляться при использовании сверхширокополосных сигналов с различными видами модуляции, например, для линейной частотной модуляции (ЛЧМ) [Ширман, 1998]. В зависимости от диапазона волн могут проявляться резонансные свойства отражений от объекта [Zalivin et al., 2020], что в свою

очередь позволяет использовать субполосный анализ для формирования векторов признаков распознавания.

В качестве признаков распознавания может выступать поляризационно-субполосный вектор, сформированный из принятых, отраженных от объекта, сигналов. В предположении нормальности случайных измерений вероятностное распределение выборки ПСВ характеризуется двумя моментами – первым начальным (вектором математического ожидания) и вторым центральным, в качестве которого выступает ПСКМ. Это позволяет использовать Байесовский подход к построению решающих правил распознавания различных объектов, как в двухальтернативном, так и в многоальтернативном случаях. Причем возможно использование различных критериев принятия решения. В двухальтернативном случае предложено использование критерия Неймана – Пирсона с заданием величины вероятности ошибки первого рода. Во многоальтернативном случае предпочтительно использование критерия максимального правдоподобия, поскольку априори неизвестны вероятности появления классов и платы за ошибки.

Разработанные решающие правила распознавания имеют ряд особенностей. Они определяются видом ПСКМ. Она может оказаться вырожденной (сингулярной). Для преодоления сингулярности ПСКМ предлагается использовать метод анализа главных компонент, заключающийся в том, что подбирается базис, в котором ковариационная матрица не будет сингулярной. Такой подход позволяет определить базис на этапе обучения и проводить предварительную классификацию объектов (на подклассы) по рангам ПСКМ объектов. Классификация в подклассах проводится на этапе обучения с использованием оценок параметров распределения (вектора средних и ПСКМ объектов) на основе вычисления расстояния Махаланобиса.

Таким образом, показана возможность использовать при распознавании объектов всю совокупность признаков, заключенных в сформированном ПСВ, без предварительной оценки информативности каждого признака.

Список литературы

1. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. 1989. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. Москва. Финансы и статистика: 607.
2. Бакулев П.А. 2004. Радиолокационные системы. М. Радиотехника: 320.
3. Богачев В. И. 1997. Гауссовские меры. Москва. Наука. ФИЗМАТЛИТ: 352.
4. Бурданова Е.В., Денисов А.П., Жилияков Е.Г., Олейник И.И., Синани А.И. 2008. Техническая реализация алгоритмов обнаружения целей на фоне помех в локационных системах с поляризационным зондированием. М. Вопросы радиоэлектроники. Серия: Электронная вычислительная техника, 2: 78–85.
5. Бурданова Е.В., Муромцев В.В., Олейник И.И., Храбростин Д.Б. 2007. Особенности разработки и реализации алгоритмов обработки и отображения информации в обзорной РЛС с полным поляризационным зондированием. Санкт-Петербург. Материалы XXIV Симпозиума: Радиолокационное исследование Природных сред, 6: 98–106.
6. Бурданова Е.В., Денисов А.П., Дикуль О.Д., Новоченко Ю.П., Олейник И.И. 2008. Использование статистических моделей для оценок характеристик радиолокационных систем с поляризационной обработкой информации при принятии решения о наличии объектов на фоне подстилающей поверхности. М. Вопросы радиоэлектроники. Серия: Радиолокационная техника, 2: 56–64.
7. Гринкевич А.В. 2015. Радиолокация. Минск. БГУИР: 190.
8. Дикуль О.Д., Новоченко Ю.П., Олейник И.И. 2007. Многоальтернативные решения в задачах выбора класса принадлежности радиолокационных объектов для систем с поляризационным зондированием. Научные ведомости БелГУ. Серия «информатика, прикладная математика, управление». 7 (38). 4: 56–62.
9. Жилияков Е.Г. 2015. Оптимальные субполосные методы анализа и синтеза сигналов конечной длительности. Автоматика и телемеханика. 4: 51–66.
10. Киселев А.З. 2005. Теория радиолокационного обнаружения на основе использования векторов рассеяния целей. СПб. Наука: 295.

11. Либенсон М.Н., Хесин А.Я., Янсон Б.А. 1975. Автоматизация распознавания телевизионных изображений. Москва. Энергия: 160.
12. Мокеев В.В., Соломахо К.Л. 2013. Об использовании метода главных компонент для анализа деятельности предприятия. Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 7 (3): 41–46.
13. Олейник И.И. 2020. Анализ характеристик малобазовой поляризационной измерительной системы на основе представления сигналов. Актуальные вопросы науки и техники. Самара. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 7. НИ: ИЦРОН: 28–34.
14. Олейник И.И. 2020. Представление сигналов при обработке информации в малобазовой поляризационной измерительной системе. Экономика. Информатика. 47 (2): 422–431.
15. Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. 1986. Статистическая теория распознавания образов. Москва. Радио и связь: 264.
16. Фукунага К. 1979. Введение в статистическую теорию распознавания образов. Москва. Наука: 368.
17. Черняк В.С. 2011. О новых и старых идеях в радиолокации: ММО РЛС. Успехи современной радиоэлектроники, 2: 5–20.
18. Ширман Я.Д. 1998. Справочник по радиоэлектронным системам. М. МАКВИС: 422.
19. Ширман Я.Д. 2007. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория: справочник. М. Радиотехника: 512.
20. Allen R.L., Mills D.W. 2004. Signal analysis. Time, frequency, scale, and structure. Ieee Press. Wiley-interscience. A John Wiley & Sons: 246.
21. Burdanova E.V., Zhilyakov E.G., Mamatov A.V., Nemtsev A.N., Oleynik I.I. 2019. Decisive rule experimental studies to detect objects on the background of the earth surface using polarization differences of radar signals. COMPUSOFT. An International Journal of Advanced Computer Technology, 8(6): 3166–3170.
22. Bliss D.W., Forsythe K.W. 2003. Multiple-input multiple-output (MIMO) radar and imaging: Degrees of freedom and resolution. Records 37th Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, USA, 1: 54–59.
23. Pearson K. 1901. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. Philosophical magazine. 2: 559–572.
24. Zalivin A.N., Oleynik I.I., Pirogenko Y.A. 2020. Decision rule for recognizing small objects based on subband processing of radar signals. Science. Education. Practice: materials of the International University Science Forum (Canada, Toronto). April 22. Infinity Publishing: 197–207.
25. Zhilyakov E.G., Belov S.P., Oleinik I.I., Babarinov S.L., Trubitsyna D.I. 2020. Generalized sub band analysis and signal synthesis. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics. 9 (1): 78–86.

References

1. Ayvazyan S.A., Bukhshtaber V.M., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. 1989. Applied statistics. Classification and dimension reduction. Moscow. Finance and statistics: 607 (in Russian).
2. Bakulev P.A. 2004. Radar systems: textbook for universities. M. Radio engineering: 320 (in Russian).
3. Bogachev V.I. 1997. Gaussian measure. Moscow. The science. FIZMATLIT: 352.
4. Burdanova E.V., Denisov A.P., Zhilyakov E.G., Oleynik I.I., Sinani A.I. 2008. Technical implementation of algorithms for detecting targets against the background of interference in location systems with polarizing sensing. Series: Electronic computing. 2: 78–85 (in Russian).
5. Burdanova E.V., Muromtsev V.V., Oleynik I.I., Khrabrostin D.B. 2007. Features of development and implementation of algorithms for processing and displaying information in a survey radar with full polarization sensing. Saint-Petersburg. Materials of the XXIV Symposium: Radar research of Natural environments. Issue 6: 98–106 (in Russian).
6. Burdanova E.V., Denisov A.P., Dikul O.D., Novachenko Yu.P., Oleynik I.I. 2008. Using statistical models for evaluating the characteristics of radar systems with polarizing information processing when making a decision about the presence of objects on the background of the underlying surface. Series: Radar equipment. Vol. 2: 56–64 (in Russian).
7. Grinkevich A.V. 2015. Radar. Minsk. BGUIR: 190 (in Russian).
8. Dikul O.D., Novachenko Yu.P., Oleinik I.I. 2007. Multi-alternative solutions to the problems of selecting the class of ownership of radar objects for systems with polarizing sensing. Scientific sheets of BelSU. Series "computer science, applied mathematics, management". 7 (38). 4: 56–62 (in Russian).

9. Zhilyakov E.G. 2015. Optimal subband methods for analyzing and synthesizing signals of finite duration. Automation and telemechanics. no 4: 51–66 (in Russian).
10. Kiselev A.Z. 2005. Theory of radar detection based on the use of target scattering vectors. SPB. Science: 295 (in Russian).
11. Libenson M.N., Khesin A.Ya., Yanson B.A. 1975. Automation of recognition of television images. Moscow. Energy: 160 (in Russian).
12. Mokeev V.V., Solomakho K.L. 2013. On the use of the principal components method for analyzing the company's activities. Bulletin of YuUrGU. Series "Economics and management". 7 (3): 41–46 (in Russian).
13. Oleynik I.I. 2020. Analysis of the characteristics of a small basic polarizing measuring system based on signal representation. Current issues of science and technology. Samara. Collection of scientific papers on the results of the international scientific and practical conference. № 7. NN: ITSRON: 28–34.
14. Oleynik I.I. 2020. Representation of signals when processing information in a low-phase polarization measuring system. Economy. Computer science. 47 (2): 422–431 (in Russian).
15. Fomin Ya.A., Tarlovsky G. R. 1986. Statistical theory of pattern recognition. Moscow. Radio and communications: 264 (in Russian).
16. Fukunaga K. 1979. Introduction to the statistical theory of pattern recognition. Moscow. Science: 368 (in Russian).
17. Chernykh V.S. 2011. About new and old ideas in radar: MIMO RLS. Achievements of modern radio electronics, 2: 5–20 (in Russian).
18. Shirman Y.D. 1998. Electronic Systems Reference Book. M. МАКВИС: 422 (in Russian).
19. Shirman Y.D. 2007. Radio-electronic systems: Fundamentals of construction and theory: Handbook. M. radio engineering: 512 (in Russian).
20. Allen R.L., Mills D.W. 2004. Signal analysis. Time, frequency, scale, and structure. Ieee Press. Wiley-interscience. A John Wiley & Sons: 246.
21. Burdanova E.V., Zhilyakov E.G., Mamatov A.V., Nemtsev A.N., Oleynik I.I. 2019. Decisive rule experimental studies to detect objects on the background of the earth surface using polarization differences of radar signals. COMPUSOFT. An International Journal of Advanced Computer Technology, 8(6): 3166–3170.
22. Bliss D.W., Forsythe K.W. 2003. Multiple-input multiple-output (MIMO) radar and imaging: Degrees of freedom and resolution. Records 37th Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, USA, 1: 54–59.
23. Pearson K. 1901. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. Philosophical magazine. 2: 559–572.
24. Zalivin A.N., Oleynik I.I., Pirogenko Y.A. 2020. Decision rule for recognizing small objects based on subband processing of radar signals. Science. Education. Practice: materials of the International University Science Forum (Canada, Toronto). April 22. Infinity Publishing: 197–207.
25. Zhilyakov E.G., Belov S.P., Oleinik I.I., Babarinov S.L., Trubitsyna D.I. 2020. Generalized sub band analysis and signal synthesis. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics. 9 (1): 78–86.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Олейник Иван Иванович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivan I. Oleynik, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies Belgorod National Research University, Belgorod, Russia