

Научно-практический
рецензируемый журнал

СТАТИСТИКА И ЭКОНОМИКА
Том 21. № 6. 2024

Учредитель:
РЭУ им. Г.В. Плеханова

Главный редактор
Виталий Григорьевич Минашкин

Зам. главного редактора
Елена Алексеевна Егорова
Павел Александрович Смелов

Ответственный редактор
Никита Дмитриевич Эпштейн

Технический редактор
Елена Ивановна Аникеева

Журнал издается с 2004 года.
Свидетельство о регистрации СМИ:
ПИ № ФС77-65889
от 27.05.16 г.
ISSN 2500-3925 (Print)

Все права на материалы,
опубликованные
в номере, принадлежат журналу
«Статистика и экономика».
Перепечатка материалов,
опубликованных в журнале, без
разрешения редакции запрещена.
При цитировании материалов ссылка
на журнал «Статистика и экономика»
обязательна.

Мнение редакции может не совпадать
с мнением авторов

Журнал включен ВАКом в перечень
периодических научных изданий.

Тираж журнала
«Статистика и экономика»
1500 экз.

Адрес редакции:
117997, г. Москва,
Стремянный пер., 36, корп. 6, офис 345
Тел.: (499) 237-83-31, (доб. 18-04)
E-mail: Smelov.PA@rea.ru
Адрес сайта: www.statecon.rea.ru

Подписной индекс журнала
в каталоге «Урал-Пресс»: 80246

© ФГБОУ ВО
«РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2024

Подписано в печать 29.12.24.
Формат 60x84 1/8. Цифровая печать.
Печ. л. 9,25. Тираж 1500 экз.
Заказ

Напечатано в ФГБОУ ВО
«РЭУ им. Г.В. Плеханова».
117997, Москва, Стремянный пер., 36

СОДЕРЖАНИЕ

ДИСКУССИОННЫЙ КЛУБ

М.В. Карманов
Статистическое мышление:
проблемы определения и формирования..... 4

СОЦИАЛЬНАЯ СТАТИСТИКА

Р.А. Аршакаян, А.Н. Курбацкий, М.В. Мироненкова
Уровень качества жизни и банковские вложения
населения регионов РФ 8

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В СТАТИСТИЧЕСКОЙ
НАУКЕ И ПРАКТИКЕ

Д.А. Власов, П.А. Карасев, А.В. Синчуков
Возможности игрового моделирования в управлении
ассортиментом продукции..... 18

Д.А. Патласов
Применение пространственного эконометрического
анализа для оценки конвергенции бюджетных доходов
регионов России 30

СТАТИСТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ЭКОНОМИКЕ

Г.А. Звонарёва, Д.С. Бузунов
Особенности моделирования специализированной
вычислительной системы..... 40

В.А. Горелик, Т.В. Золотова
Построение разреженной ковариационной матрицы на
основе анализа статистических данных и использование ее
при выборе оптимального портфеля ценных бумаг..... 50

А.А. Типикин, А.А. Прусаков, Н.А. Тимошенко
Программная реализация критерия
Эппса-Палли в среде моделирования Matlab 57

ЭКОНОМИКА

С.С. Галазова
Транзакционные издержки в цифровых координатах..... 68

Scientific and practical reviewed
journal

STATISTICS AND ECONOMICS
Vol. 21. № 6. 2024

Founder:
Plekhanov Russian University of
Economics

Editor in chief
Vitaliy G. Minashkin

Deputy editor
Elena A. Egorova
Pavel A. Smelov

Executive editor
Nikita D. Epshtein

Technical editor
Elena I. Anikeeva

Journal issues since 2004.
Mass media registration certificate:
ΦC77-65889 or 27.05.16.
ISSN 2500-3925 (Print)

All rights for materials published in the
issue belong to the journal
«Statistics and Economics».

Reprinting of articles published in the
journal, without the permission of the
publisher is prohibited.

When citing a reference to the journal
«Statistics and Economics» is obligatory.

Editorial opinion may be different from
the views of the authors

The journal is included in the list of VAK
periodic scientific publications.
Journal articles are reviewed.
The circulation of the journal
«Statistics and Economics» –
1,500 copies.

Editorial office:
117997, Moscow,
Stremyanny lane. 36, Building 6, office 345
Tel.: (499) 237-83-31 (18-04)
E-mail: Smelov.PA@rea.ru
Web: www.statecon.rea.ru

Subscription index of journal
in catalogue «Ural-Press»: 80246

© Plekhanov Russian University of
Economics, 2023

Signed to print 29.12.24.
Format 60x84 1/8. Digital printing.
Printer's sheet 9.25. 1500 copies.
Order

Printed in Plekhanov Russian University
of Economics,
Stremyanny lane. 36, Moscow, 117997,
Russia

CONTENTS

DISCUSSION CLUB

Mikhail V. Karmanov
Statistical Thinking: Problems of Definition and Formation 4

SOCIAL STATISTICS

Rosa A. Arshakyan, Alexey N. Kurbatsky, Marina V. Mironenkova
Quality of Life and Bank Investments of the Population in the
Regions of the Russian Federation 8

NEW DIRECTIONS IN STATISTICAL SCIENCE
AND PRACTICE

Dmitry A. Vlasov, Petr A. Karasev, Alexander V. Sinchukov
Game Modeling Possibilities in Product Assortment
Management 18

D.A. Patlasov
Application of Spatial Econometric Analysis to Assess the
Convergence of Budget Revenues of Russian Regions 30

STATISTICAL AND MATHEMATICAL METHODS
IN ECONOMICS

Galina A. Zvonareva, Denis S. Buzunov
Peculiarities of Modeling a Specialized Computing System 40

Victor A. Gorelik, Tatiana V. Zolotova
Construction of a Sparse Covariance Matrix Based on
Statistical Data Analysis and Its Use in Choosing an Optimal
Portfolio of Securities 50

Alexey A. Tipikin, Alexander A. Prusakov, Nikolai A. Timoshenko
Software Implementation of the Epps-Pulley Criterion in
Matlab Modeling Environment..... 57

ECONOMICS

Svetlana S. Galazova
Transaction Costs in Digital Coordinates 68

Редакционная коллегия

АСТАШОВА Ирина Викторовна, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры дифференциальных уравнений, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

АРХИПОВА Марина Юрьевна, д.э.н., профессор, факультет экономических наук, Департамент статистики и анализа данных, Высшая школа экономики — национальный исследовательский университет, Москва, Россия

БАКУМЕНКО Людмила Петровна, д.э.н., профессор, заведующая кафедрой прикладной статистики и информатики, Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия

ВОЛКОВА Виолетта Николаевна, д.э.н., профессор, профессор кафедры системного анализа и управления, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

ГЕВОРКЯН Эдуард Аршакирович, д.ф.-м.н., профессор кафедры Высшей математики, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия

ГЛИНКИНА Светлана Павловна, д.э.н., профессор, заведующая кафедрой общей экономической теории Московской школы экономики, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

ЕЛИСЕЕВА Ирина Ильинична, д.э.н., профессор, член-корреспондент РАН, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, заведующая кафедрой статистики и эконометрики, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

ЗАРОВА Елена Викторовна, д.э.н., профессор, начальник отдела обработки и анализа статистической информации, Департамент экономической политики и развития города Москвы, руководитель Центрально-Евразийского представительства Международного статистического института, Москва, Россия

КАРМАНОВ Михаил Владимирович, д.э.н., профессор, профессор кафедры отраслевой и бизнес-статистики, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия

КУЧМАЕВА Оксана Викторовна, д.э.н., профессор, профессор кафедры народонаселения экономического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия.

КЮРКЧАН Александр Гаврилович, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и прикладной математики, Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия

ЛАЙКАМ Константин Эмильевич, д.э.н., заместитель руководителя Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации, Москва, Россия

ЛУЛА Павел, доктор наук, доцент, заведующий кафедрой вычислительных систем, Краковский экономический университет, Краков, Польша

МОТОРИН Руслан Миколайович, д.э.н., профессор кафедры статистики и эконометрики, Киевский национальный торгово-экономический университет, Киев, Украина

МКХИТАРЯН Владимир Сергеевич, д.э.н., профессор, заведующий отделением статистики, анализа данных и демографии, заведующий кафедрой статистических методов, Высшая школа экономики — национальный исследовательский университет, Москва, Россия

САДОВНИКОВА Наталья Алексеевна, д.э.н., профессор, заведующая кафедрой статистики, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия

САЖИН Юрий Владимирович, д.э.н., профессор, заведующий кафедрой статистики, эконометрики и информационных технологий в управлении, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева, Саранск, Россия

УПАДХАЯ Шьям, руководитель статистического отдела ЮНИДО, Организация Объединённых Наций по промышленному развитию, Вена, Австрия

ШУВАЛОВА Елена Борисовна, д.э.н., профессор, начальник управления аттестации научных кадров, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия

Editorial Board

Irina V. ASTASHOVA, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Professor of the Differential Equations Department, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Marina Yu. ARKHIPOVA, Dr. Sci. (Economics), Professor, Faculty of Economic Sciences, Department of Statistics and Data Analysis, Higher School of Economics — National Research University, Moscow, Russia

Lyudmila P. BAKUMENKO, Dr. Sci. (Economics), Professor, Head of Applied Statistics and Informatics Department, Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia

Violetta N. VOLKOVA, Dr. Sci. (Economics), Professor, Professor of System Analysis and Management Department, Saint Petersburg State Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

Eduard A. GEVORKYAN, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor of the Department of Higher Mathematics, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Svetlana P. GLINKINA, Dr. Sci. (Economics), Professor, Head of the General Economic Theory Department, Moscow School of Economics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Irina I. ELISEEVA, Dr. Sci. (Economics), Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Head of Statistics and Econometrics Department, Saint-Petersburg State University of Economics, Saint-Petersburg, Russia

Elena V. ZAROVA, Dr. Sci. (Economics), Professor, Head of the Department of Processing and Analysis of Statistical Information, Department of Economic Policy and Development of Moscow, Chair of ISI Central Eurasia Outreach Committee, Moscow, Russia

Mikhail V. KARMANOV, Dr. Sci. (Economics), Professor, Professor of the Department of Industrial and Business Statistics, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Oksana V. KUCHMAEVA, Dr. Sci. (Economics), Professor, Professor of the Department of population, faculty of Economics, Moscow state University. M. V. Lomonosova, Moscow, Russia

Alexander G. KYURKCHAN, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Head of the Theory of Probability and Applied Mathematics Department, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

Konstantin E. LAYKAM, Dr. Sci. (Economics), Deputy Head, Federal State Statistics Service of the Russian Federation, Moscow, Russia

Pawel LULA, Dr. hab., Associate Professor, Head of the Department of Computational Systems, Cracow University of Economics, Cracow, Poland

Ruslan M. MOTORIN, Dr. Sci. (Economics), Professor of Statistics and Econometrics Department, Kiev National University of Trade and Economics, Kiev, Ukraine

Vladimir S. MKHITARYAN, Dr. Sci. (Economics), Professor, Head of the Department of Statistics, Data Analysis and Demography, Head of the Department of Statistical Methods, Higher School of Economics — National Research University, Moscow, Russia

Natalia A. SADOVNIKOVA, Dr. Sci. (Economics), Professor, Head of Statistics Department, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Yury V. SAZHIN, Dr. Sci. (Economics), Professor, Head of the Department of Statistics, Econometrics and Information Technologies in Management, Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

Shyam UPADHYAYA, Chief, UNIDO Statistics Unit, United Nations Industrial Development Organization, Vienna, Austria

Elena B. SHUVALOVA, Dr. Sci. (Economics), Professor, Head of the Department of Scientific Personnel Certification, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Статистическое мышление: проблемы определения и формирования

Цель статьи заключается в привлечении внимания профессиональной среды к проблемам формирования статистического мышления в России. К сожалению, в настоящее время еще окончательно не проступило четкое понимание научной дефиниции «статистическое мышление», что приносит заметные трудности в процесс выработки механизма и учета особенностей формирования статистического мышления в обществе, особенно среди молодых подрастающих поколений. В работе озвучен вывод о том, что в сложившихся условиях

чрезвычайно важно консолидировать усилия статистического сообщества, направленные на конкретизацию содержания статистического мышления и решение проблем, связанных с расширенным воспроизводством его непосредственных носителей.

Ключевые слова: статистика, статистическое мышление, элементы статистического мышления, проблемы формирования статистического мышления.

Mikhail V. Karmanov

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Statistical Thinking: Problems of Definition and Formation

The purpose of the article is to attract the attention of professional environment to the problems of statistical thinking formation in Russia. Unfortunately, at present there is not yet a clear understanding of the scientific definition of “statistical thinking”, which brings notable difficulties in the process of developing a mechanism and taking into account the peculiarities of the formation of statistical thinking in society, especially among young rising generations.

The paper concludes that in the existing circumstances it is extremely important to consolidate the efforts of the statistical community aimed at concretizing the content of statistical thinking and solving the problems related to the extended reproduction of its direct carriers.

Keywords: statistics, statistical thinking, elements of statistical thinking, problems of formation of statistical thinking.

Статистическое мышление является важнейшей и неотъемлемой частью профессионального мышления современного специалиста практически в любой сфере деятельности, так как процесс управления подавляющим большинством общественных явлений и процессов протекает в условиях случайности и неопределенности [1].

По существу, случайность и неопределенность служат той «средой», где в статистических совокупностях проступают количественные закономерности непрерывного изменения параметров бытия. И поэтому управление его развитием тесно сопряжено с необходимостью системного анализа именно статистических совокупностей, в которых вариабельность присутствует сплошь и рядом [2].

Однако, занимаясь практическим формированием статистического мышления, хочется того или не хочется, но в обязательном порядке придется предельно четко ответить, как минимум, на несколько важных вопросов:

1) Что такое статистическое мышление как понятие?

2) Кто и где должен формировать статистическое мышление и какие преграды стоят в настоящее время на пути этого процесса?

Первый вопрос носит исходный, базисный, краеугольный и архиважный характер, потому что без ответа на него не ясно, что именно надо формировать в головах людей. Кроме того, без внятной идентификации статистического мышления невозможно определить оптимальные пути его формирования, особенно ког-

да дело касается молодых подрастающих поколений, в руках которых будет находиться будущее нашей страны.

Изучение и анализ точек зрения на понятие «статистическое мышление», существующих в специальной литературе, позволяют выявить несколько особенностей.

Прежде всего, на наш взгляд, до сих пор не сложилось сколь-либо однозначного толкования рассматриваемой дефиниции. И об этом красноречиво свидетельствуют следующие подходы.

Адлер Ю.П. и Шпер В.Л. считают, что «статистическое мышление — это основанный на теории вариабельности способ принятия решений о том, надо или не надо вмешиваться в процесс, и, если надо, то на каком уровне и с какой целью» [3].

Максаков А.Б., Осипов А.С., Розенталь Р.М., Бугров И.В. и Кудряшов А.В. утверждают: «Статистическое мышление стало пониматься как некое условное и взаимно признаваемое применение аппарата математической статистики. Ключевые слова здесь: «Мы договорились и будем считать, что события происходят на основе таких-то вероятностных и статистических моделей»» [4].

Клопова О.К. полагает, что «... приоритетное место в формировании профессионального мышления будущих менеджеров по персоналу занимает такая его составляющая как статистическое мышление. При этом именно изучение вероятностно-статистических методов способствует формированию у будущих менеджеров по персоналу статистического мышления, которое позволяет применять приемы строго логического мышления в ситуациях неопределенности, конкретности понятий и четкости терминологии» [1].

Елисеева И.И., Пономаренко А.Н. и Самойлова отмечают, что есть три стадии изучения статистики: статистическая грамотность, статистические навыки и статистическое мышление. При этом «статистическое мышление — понимание того, как: 1) принимать решения, опираясь на эмпирические данные; 2) количественно оценивать, как соотносятся между собой различные факторы, воздействующие на изучаемый процесс» [5].

Содержание представленных выше точек зрения, по нашему мнению, свидетельствует о существовании не только разных, но даже и разноплановых подходов к определению статистического мышления. Это и хорошо, и плохо одновременно. Хорошо потому, что, по большому счету, наука начинается там, где имеет место столкновение разнообразных взглядов и мнений.

Плохо потому, что для формирования чело-либо необходимо точно знать, что именно формируется. В противном случае и механизм, и результаты формирования, например, статистического мышления обязательно дадут противоречивые результаты. В этой связи критически остановимся на сути предлагаемых подходов к определению статистического мышления.

Признание, а самое главное правильное понимание variability, изменчивости, вероятностного характера общественных явлений и процессов, а также доминирования не функциональных, а статистических взаимосвязей [3, 4], несомненно, является важным отправным пунктом в формировании статистического мышления. Однако только этого, скорее всего, недостаточно. Предположим, признание факта, что Земля вращается вокруг Солнца, а не наоборот, видимо, способствует формированию астрономического мышления, но не гарантирует его безусловного возникновения. Точно также и со статистическим мышлением. На наш взгляд, можно сколь угодно долго рассуждать о variability любых признаков бытия, но это далеко не всем желающим позволит даже на йоту приблизиться к практическому зарождению и проявлению статистического мышления.

Аналогичным образом обстоит дело и с признанием необходимости изучения и последующего применения математико-статистических методов исследования в самых различных сферах общественной жизнедеятельности [1, 4]. К большому сожалению, в эпоху цифровизации многие люди пытаются использовать приемы статистического анализа, чтобы разобраться в тенденциях и закономерностях общественного развития, а удастся это почему-то только единицам. Причем очень

часто в угоду модного спроса на аналитику наблюдается не только неоправданное, но и неуместное привлечение математико-статистического инструментария, приводящее к чисто формальным результатам и выводам. По существу, это означает, что, например, если тот или иной человек осваивает и применяет методы медитации, то это еще совсем не означает, что он научился управлять своим сознанием, а самое главное использовать подобные приемы во благо самого себя или всего общества.

Также, по нашему мнению, определенные вопросы вызывает попытка привязки статистического мышления исключительно к управлению или точнее к процессу принятия управленческих (или в более широком смысле любых иных) решений [1, 2, 3, 5]. Можно предположить, что крен в сторону управления или обоснования принимаемых решений несколько сужает и даже обедняет понятие статистического мышления. Ведь ситуационный анализ с использованием количественной информации проводится еще и в целях познания тех или иных особенностей бытия, для уточнения обстановки или более адекватного представления о параметрах реальной действительности и т.п. А, следовательно, вряд ли целесообразно ограничивать статистическое мышление исключительной ориентацией на принятие своевременных и правильных решений. Причем здесь открывается достаточно широкое поле для дальнейших исследований и дискуссий, к примеру, в фарватере попытки ответа на вопрос чем различаются статистическое мышление как инструмент для принятия решений и статистическое мышление как мировоззрение?

Отдельно стоит остановиться на тезисе о том, что в пределах статистического мышления принятие решений

должно осуществляться с опорой на эмпирические данные [5]. Скорее всего, по-другому и невозможно, если мы пытаемся максимально приблизиться к истине. Но, позиция с опорой только на эмпирические данные оставляет за кадром ту часть статистического мышления, которая связана с отбором этих самых эмпирических данных, анализом и пониманием их качества, адекватности, точности, репрезентативности и других параметров. Иными словами, далеко не все эмпирические данные позволяют решать стоящие задачи, и эта проблема встает все острее и острее в век Интернета и тотального распространения фейковой информации.

Если же говорить о количественной оценке соотношения между собой различных факторов, оказывающих воздействие на изучаемый процесс [5, 6], то, с нашей точки зрения, применительно к статистическому мышлению не менее важно понимать, как именно оцениваемые факторы складываются в конечный результат и какие изменения происходят в этом механизме с течением времени, чтобы потом осознать, что нужно делать для того, чтобы полученный результат в большей степени соответствовал потребностям общества.

Второй из вопросов, поставленных в начале данной статьи, ориентирован на попытку разобраться в том, кто и где должен формировать статистическое мышление. На наш взгляд, в полной мере можно согласиться с мнением специалистов, полагающих, что лучше всего это начинать

делать в школе [5, 7]. Школьный ум как губка впитывает идеи, которые с точки зрения молодых подрастающих поколений могут принести чувствительные дивиденды в плане будущего выбора перспективной и востребованной практикой специальности или профессии. При этом статистическое мышление способно гарантировать успешную карьеру везде, где требуется аналитика как инструмент для принятия правильных и грамотных управленческих решений.

Гораздо сложнее ответить на вопрос о том, кто именно должен формировать статистическое мышление [5, 7]. С одной стороны, есть школьные учителя, которые знают, как лучше донести основополагающие знания и идеи до сознания учеников, но сами не всегда до конца разбирающиеся в хитросплетениях статистики и статистического мышления. С другой стороны, есть вузовские преподаватели и преподаватели-практики, которые наоборот осознают роль и место статистики и статистического мышления в современном мире, но не всегда могут в нужном формате донести это до ума школьников. Некоторые предложения на этот счет уже сформулированы [5], но все же представляется, что еще потребуются предпринять некоторые усилия, чтобы синергия совместных действий обрела более реальные и работоспособные очертания.

К тому же следует признать, что на пути этого процесса стоят реальные и достаточно осязаемые трудности. Главная

из них, видимо, заключается в суженном воспроизводстве носителей статистического мышления. К большому сожалению, статистическое образование в современной России пока не может выйти на те рубежи, которые были даже не в советское время, а всего четверть века тому назад. Произошедшие за это время резкое сокращение количества высших учебных заведений, осуществляющих подготовку статистиков, численности выпускников статистических и близких к ним профилей, количества специализированных диссертационных советов и как следствие количества, защищенных кандидатских и докторских диссертаций по статистике, по факту генерируют неблагоприятную среду для успешного решения задач, связанных с более массовым формированием статистического мышления.

В заключение, особо хотелось бы подчеркнуть, что по нашему мнению, в настоящее время термин «статистическое мышление», по крайней мере как его понимают в среде профессиональных статистиков, скорее всего, еще окончательно не устоялся, до конца не идентифицирован и сам находится в стадии формирования. Данное обстоятельство настоятельно требует консолидации интеллектуальных ресурсов статистического сообщества, так как явно отражается на продуктивности любых научно-практических мероприятий, направленных на более широкое распространение статистического мышления в обществе.

Литература

1. Клопова О.К. Статистическое мышление и его роль в формировании профессионального мышления специалиста в области управления человеческими ресурсами // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2008. № 11. С. 94–98.
2. Поддубный А.В. Статистическое мышление как основа для принятия решений в системе

управления качеством подготовки специалистов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2010. № 2. С. 226–233.

3. Адлер Ю.П., Шпер В.Л. Истоки статистического мышления // Методы менеджмента качества. 2003. № 1. С. 34–40.

4. Максаков А.Б., Осипов А.С., Розенталь Р.М., Бугров И.В., Кудряшов А.В. Статистическое мышление и проблемы его развития // Методы менеджмента качества. 2014. № 9. С. 44–52.

5. Елисеева И.И., Пономаренко А.Н., Самойлова М.А. Формирование статистического мышления у школьников: от теории к практике // Вопросы статистики. 2024. № 5. С. 87–95.

6. Шпер В.Л. Статистическое мышление как инструмент системного анализа // Методы менеджмента качества. 2006. № 6. С. 42–48.

7. Гаджагаев Ш.С., Сайпулаева Э.А. Статистическое мышление и школьное математическое образование // В сборнике: Модернизация математического образования в школе и вузе. Материалы 3-й региональной научно-практической конференции. 2019. С. 22–24.

References

1. Klopova O.K. Statistical thinking and its role in the formation of professional thinking of a specialist in the field of human resource management. Vestnik Volzhskogo universiteta im. V.N. Tatishcheva = Bulletin of the Volga University named after V.N. Tatishchev. 2008; 11: 94-98. (In Russ.)

2. Poddubnyy A.V. Statistical thinking as a basis for decision-making in the quality management system of specialists training. Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskiye nauki = Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnical University. Economic sciences. 2010; 2: 226-233. (In Russ.)

3. Adler YU.P., Shper V.L. Origins of statistical thinking. Metody menedzhmenta kachestva = Methods of quality management. 2003; 1: 34–40. (In Russ.)

4. Maksakov A.B., Osipov A.S., Rozental' R.M., Bugrov I.V., Kudryashov A.V. Statistical thinking

and problems of its development. Metody menedzhmenta kachestva = Methods of quality management. 2014; 9: 44-52. (In Russ.)

5. Yeliseyeva I.I., Ponomarenko A.N., Samoylova M.A. Formation of statistical thinking in schoolchildren: from theory to practice. Voprosy statistiki = Questions of statistics. 2024; 5: 87-95. (In Russ.)

6. Shper V.L. Statistical thinking as a tool for systems analysis. Metody menedzhmenta kachestva = Methods of quality management. 2006; 6: 42-48. (In Russ.)

7. Gadzhiagayev SH.S., Saypulayeva E.A. Statistical Thinking and School Mathematical Education. V sbornike: Modernizatsiya matematicheskogo obrazovaniya v shkole i vuze. Materialy 3-y regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii = In the collection: Modernization of Mathematical Education at School and University. Proceedings of the 3rd Regional Scientific and Practical Conference. 2019: 22-24. (In Russ.)

Сведения об авторе

Михаил Владимирович Карманов

Д.э.н., профессор, профессор кафедры статистики

Российский экономический университет

им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

Эл. почта: Karmanov.MV@rea.ru

Information about the author

Mikhail V. Karmanov

Dr. Sci. (Economics), Professor, Professor of the Department of Statistics

Plekhanov Russian University of Economics,

Moscow, Russia

E-mail: Karmanov.MV@rea.ru



Уровень качества жизни и банковские вложения населения регионов РФ

Повышение уровня жизни граждан и улучшение инвестиционного климата — ключевые ориентиры любого государства. **Целью данного исследования** является анализ взаимосвязи качества жизни на прирост банковских вкладов по регионам России.

Материалы и методы. Интегральный индикатор качества жизни (ИИ КЖ) населения регионов РФ с 2011 по 2021 годы был оценен с помощью метода главных компонент на основе блоков переменных, отражающих не только материальные, но и духовно-нравственные сферы жизни общества. Авторы проанализировали наличие корреляции между ИИ КЖ и объемом банковских вкладов. Предполагив, что ИИ КЖ может оказывать значимое влияние на прирост объемов банковских вкладов, были построены и проанализированы модели панельных данных с фиксированными и случайными эффектами. В работе были использованы данные Федеральной службы государственной статистики (Росстат), а также из открытых российских интернет-ресурсов о банковской аналитике.

Результаты. В работе показано, что несмотря на наличие устойчивой корреляции между значением ИИ КЖ и оценкой объема вкладов, качество жизни не оказывает значимого влияния на прирост банковских вложений. Региональная инфляция ожидаемо негативно воздействует на прирост вкладов.

Заключение. Увеличение свободных денежных средств сти-

мулирует население выбирать наиболее надежные способы их сохранения и приумножения, например, банковские вклады. Но повышая качество своей жизни, население может начать рассматривать иные, пусть и менее надежные, но, возможно, более доходные направления инвестирования, такие как недвижимость или ПИФы. Кроме того, на сегодняшний день возмещение по вкладам в банке, в отношении которого наступил страховой случай, выплачивается вкладчику в размере не более 1,4 млн руб., что побуждает агентов рассматривать иные инструменты инвестирования, если располагаемые свободные денежные средства превышают указанную выше сумму. В условиях, когда темпы роста потребительских цен превышают доходность вкладов, их реальная доходность становится отрицательной, а значит, население будет искать альтернативные способы инвестирования. Анализ, учитывающий различные виды инвестирования по регионам страны, является на текущий момент сложной задачей ввиду агрегированности и непрозрачности такого типа данных. Отметим также, что турбулентный период, начиная с 2022 года, характеризующийся резким повышением процентных ставок, требует отдельного рассмотрения.

Ключевые слова: качество жизни, инвестиционная активность, банковские вложения, население, сбережения.

Rosa A. Arshakyan, Alexey N. Kurbatsky, Marina V. Mironenkova

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Quality of Life and Bank Investments of the Population in the Regions of the Russian Federation

Improving the living standards of citizens and improving the investment climate are the key benchmarks of any state.

The purpose of this study is to analyze the relationship between quality of life and the growth of bank deposits in the regions of Russia.

Materials and methods. The integral index of the quality of life of the population of the Russian regions from 2011 to 2021 was assessed using the method of principal components based on blocks of variables reflecting not only material but also spiritual and moral spheres of society. The authors analyzed the presence of correlation between the integral index of the quality of life and the volume of bank deposits. Assuming that the integral index of the quality of life can have a significant impact on the growth of bank deposits, panel data models with fixed and random effects were constructed and analyzed. The data from the Federal State Statistics Service (Rosstat) and from open Russian Internet resources on banking analytics were used in the paper.

Results. The paper shows that despite the presence of a stable correlation between the value of the integral index of the quality of life and the estimate of the volume of deposits, the quality of life does not have a significant impact on the growth of bank investments. Regional inflation is expected to have a negative impact on deposit growth.

Conclusion. The increase in free cash stimulates the population to choose the most reliable ways of their preservation and multiplication, for example, bank deposits. However, improving the quality of their lives, the population may begin to consider other, albeit less reliable, but perhaps more profitable areas of investment, such as real estate or mutual funds. In addition, today the compensation for deposits in a bank, in respect of which an insured event has occurred, is paid to the depositor in the amount not exceeding 1.4 million rubles, which encourages agents to consider other investment instruments, if the available free cash exceeds the above amount. In conditions when the growth rates of consumer prices exceed the return on deposits, their real return becomes negative, which means that the population will look for alternative ways of investment. Analysis that takes into account different types of investment by regions of the country is currently a difficult task due to the aggregation and non-transparency of this type of data. We also note that the turbulent period starting from 2022, characterized by a sharp increase in interest rates, requires separate consideration.

Keywords: quality of life, investment activity, bank investments, population, savings.

Введение

В мае 2024 года вышел указ Президента РФ № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года»; приоритетными ориентирами государства были названы улучшение инвестиционного климата и повышение уровня жизни граждан [1]. Изучение взаимного влияния этих двух категорий и стало амбициозной целью нашего исследования.

На удивление, нет общепринятой трактовки категории «качество жизни», однако в последнее время исследователи всё чаще определяют это понятие как синтетическую латентную категорию, детерминированную одновременно многими показателями: материальное обеспечение жизни населения, ожидаемая продолжительность жизни, качество медицинской и образовательной систем, преступность, климат и т.д. [2]. Обычно разделяют категории «счастье» и «качество жизни»: если первая, как правило, включает в себя субъективную оценку собственного удовлетворения от жизни, то вторая основывается на сочетании объективистского и субъективистского подходов.

Не подвергается сомнению зависимость качества жизни как от уровня материальной обеспеченности граждан, так и ее субъективной оценки. Так, в литературе находится большое количество работ, изучающих связь финансового поведения и инвестиционной стратегии от уровня счастья [3, 4, 5]. Выявить зависимость качества жизни и инвестиционной активности гораздо сложнее, так как возникает проблема мультиколлинеарности: инвестиции являются частью дохода населения, который в свою очередь определяет уровень качества жизни. Этот факт, а также техническое ограниче-

ние информационного обеспечения заставили нас скорректировать идеалистическую цель исследования, сформулированную выше, уменьшив масштаб исходной задумки до реализуемого. Поэтому целью данной работы было выбрано изучение воздействия качества жизни на уровень банковских вкладов граждан РФ.

В состав Российской Федерации входит большое количество регионов, обладающих разными географическими, климатическими и ресурсными условиями, а потому имеющих разную структуру социального и экономического развития. Высокий уровень дифференциации качества жизни на разных территориях одной страны может вызывать социальное напряжение и чувство несправедливости у граждан [6]. Поэтому исследования, посвященные изучению подходов оценивания качества жизни и взаимного влияния условий проживания и качества жизни населения, всегда будут важны и актуальны.

Дифференциация регионального развития оказывает влияние на благосостояние граждан, а значит и на их инвестиционную активность. Имея некоторые сбережения, физические лица могут вкладывать свои свободные денежные средства в банковские депозиты, паевые инвестиционные фонды [7], акции, драгоценные металлы и другие финансовые активы, и инструменты.

Под категорией «благосостояние населения» подразумевается уровень обеспеченности личности/общества разными товарами, услугами, благами, которые удовлетворяют их потребности [8]. С позиции многих экономистов, благосостояние имеет тесную связь с понятием «качество жизни», поскольку от степени благосостояния зависит уровень удовлетворения потребностей людей [9,10].

Статистический и эконометрический подход к изучению качества жизни населения

Изучение благосостояния населения не раз становилось предметом исследований многих экономистов. Так, например, в научной статье С.Н. Найденной и А.В. Белоусова [11] осуществлялась попытка оценки благосостояния населения в различных регионах России при помощи использования традиционного инструментария. Серьезным препятствием для исследователей стало то, что между регионами существует сильная социально-экономическая диспропорция, которая может влиять и на объективность результатов оценки благосостояния населения. В рамках проведенного исследования решены следующие научные задачи:

1. Проведены расчеты интегрального индекса уровня благосостояния населения для регионов России;
2. Определены связи между индексом уровня благосостояния населения и его основными компонентами расчета, чтобы найти точки роста;
3. Проведена оценка влияния исходных показателей на интегральный индекс благосостояния населения на основе метода анализа иерархий, предложенный Т. Саати [12].

В результатах научной работы авторами установлено, что наиболее выгодное положение по интегральному индексу благосостояния занимает Хабаровский край, а южные регионы Дальнего Востока характеризуются более комфортными условиями для жизни и предпринимательской деятельности. Полученные выводы могут быть полезными при оценке эффективности и разработке мер по приоритетным направлениям развития регионов Дальнего Востока.

В работе М.С. Павловой, О.Л. Алексеевой и Н.В. Тала-

новой [13] проведено исследование с оценкой причинно-следственной связи между качеством жизни населения, сбережениями и инвестициями. Авторы считают, что благодаря улучшению благосостояния граждан их сбережения могут быть использованы в качестве дополнительных инвестиций, стимулируя развитие финансовых рынков и банковской системы России. В ходе научной работы авторами было установлено, что последовательная политика государства, нацеленная на сохранение финансовой стабильности и содействующая развитию инвестиционной активности граждан, способствует трансформации значительных денежных ресурсов в виде сбережений граждан в активные инвестиции. Это приведет к повышению экономической определенности, которая важна как на государственном, так и на частном уровне.

Стоит также отметить, что меры, принимаемые властями страны и регионов, не всегда достаточно эффективны, и чтобы изменить сложившуюся ситуацию, властям необходимо разрабатывать программы повышения конкурентоспособности регионов, укладываемые в вектор развития, обозначенный правительством России. Так, например, С.А. Айвазян и М.А. Исакин [14] провели исследования, где формулируются и обсуждаются типовые задачи оптимизации региональной социально-экономической политики, решение которых основано на мониторинге интегральных индикаторов качества жизни населения территории (региона, муниципального образования) и на их использовании в практике индикативного планирования и управления. В процессе исследования важную роль занимают конкретные методы эконометрических расчетов и моделирования.

Таблица 1 (Table 1)

Показатели качества жизни Quality of life indexes	
Компоненты	Характеристика
Качество населения	Уровень образования, ожидаемая продолжительность жизни, смертность, брачность и т.д.
Благосостояние населения	Реальные доходы, уровень потребления, уровень здравоохранения и т.д.
Качество социальной сферы	Физическая и имущественная безопасность, криминогенность и т.д.
Качество экологической ниши	Данные о загрязнении воздуха, почвы, воды и т.д.
Природно-климатические условия	Климат, состав и объем природно-сырьевых ресурсов и т.д.

Источник: Айвазян С.А., 2003
Source: Ayvazyan S., 2003

В результатах научной работы авторами было отмечено, что одним из ключевых моментов описанной методологии является определение структуры и состава априорного набора базисных статистических показателей, на основе которого формируются частные и интегральные критерии качества жизни населения.

Для нашего исследования также важно проанализировать работу С.А. Айвазяна «К методологии измерения синтетических категорий качества жизни населения» [15]. Проводя оценку качества жизни населения, автором введены и анализируются такие синтетические категории качества жизни населения, как «качество населения» [16], «уровень благосостояния», «качество социальной сферы». В частности, предлагаются иерархическая система статистических показателей (частных критериев) (табл. 1) и интегральных индикаторов качества жизни населения [17], а также методология построения последних в форме специального вида сверток соответствующих частных критериев.

Для формирования необходимых априорных наборов статистических показателей и частных критериев для различных интегральных свойств качества жизни населения важно учитывать требования, выдвинутые С.А. Айвазяном, среди которых особо актуальны ин-

формационная доступность и информационная достоверность [15].

Опираясь на подход С.А. Айвазяна, мы выделили семь блочных индикаторов для расчета качества жизни населения в регионах РФ. Мы полагаем, что качество жизни является одним из ключевых детерминант инвестиционной активности населения.

Информационная база исследования

Для оценки качества жизни населения были собраны данные по регионам Российской Федерации в период с 2011 года по 2021 год. Источником данных послужил сайт Федеральной службы государственной статистики [18].

Так как качество жизни является синтетической латентной переменной [19], было принято решение сформировать блоки данных. Для поиска основания наполнения блоков данных конкретными переменными мы обратились к работе [20], посвященной формированию базиса индикаторов основных направлений социально-экономического развития. Авторы предлагают в качестве подобного базиса использовать 7 групп, куда войдут показатели, характеризующие эту группу наилучшим образом (табл. 2). Отметим, что в оригинальной работе список

Таблица 2 (Table 2)

Статистические показатели, входящие в блочные индикаторы
Statistical indexes included in block indicators

Группа	Переменная
Производство товаров и услуг, объемы (B1)	ВРП, тыс. руб. в текущих ценах
	Добыча полезных ископаемых, тыс. руб.
	Обрабатывающие производства, тыс. руб.
	Сельское хозяйство, млн. руб.
	Газ, электричество, вода, тыс. руб.
Материальное благосостояние (B2)	Среднедушевые денежные доходы населения, руб.
	Индекс производительности труда, в % к предыдущему году)
	Коэффициент миграционного прироста, на 10 тыс. человек
	Уровень безработицы, %
	Доля населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума
Производство товаров услуг на душу населения (B3)	ВРП на душу населения, тыс. руб. в текущих ценах
	Добыча полезных ископаемых на душу населения, тыс. руб.
	Обрабатывающие производства, тыс. руб.
	Сельское хозяйство на душу населения, млн. руб.
	Газ, электричество, вода на душу населения, тыс. руб.
Качество социальной сферы (B4)	Жилые здания, жилые помещения в нежилых зданиях и жилые дома, шт.
	Протяженность автомобильных дорог общего пользования
	Коэффициент фондов
	Уровень участия в рабочей силе населения в возрасте 15–72 лет
Социальная безопасность, количество преступлений, зарегистрированных в отчетном периоде на тыс. человек (B5)	По ст.131 УК РФ (Изнасилование)
	По ст.158 УК РФ (Кража)
	По ст.111 УК РФ (Умышленное причинение вреда здоровью)
	По ст.105 УК РФ (Убийство)
	По ст.162 УК РФ (Разбой)
Демография (B6)	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении, год
	Суммарный коэффициент рождаемости
	Доля граждан, систематически занимающихся физической культурой и спортом
	Естественный прирост населения, чел.
Здоровье (B7)	Смертность в трудоспособном возрасте, чел.
	Смертность от болезней системы кровообращения на 100 тыс. населения, чел.
	Смертность от новообразований, в том числе от злокачественных на 100 тыс. населения, чел.
	Младенческая смертность (на 1 тыс. родившихся живыми) (промилле (0,1 процента), значение показателя за год)
	Число умерших болезни дыхательных путей расчете на 100000 населения за год (человек, значение показателя за год)
	Число умерших от болезней органов пищеварения в расчете на 100000 населения за год (человек, значение показателя за год)
	Число умерших из-за инфекционных и паразитарных болезней в расчете на 100000 населения за год (человек, значение показателя за год)

Источник: таблица составлена авторами

Source: table compiled by the authors

рассматриваемых параметров был немного шире, однако некоторые переменные не были доступны в течение всего интересующего нас периода.

Кроме того, за исследуемый нами период произошло несколько важных изменений, осложнивших процесс сбора данных. Во-первых, поменялось само количество регионов. Статистические данные за полный календарный год для республики Крым и города федерального значения Севастополь есть только после 2016 года. Так как нас интересует динамика показателей качества жизни, то эти территории решено было не рассматривать для простоты временного сопоставления. Кроме того, Архангельская и Тюменская области участвуют в рассмотрении без автономных округов, а Ненецкий, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа рассматриваются как отдельные субъекты. Во-вторых, с середины 2015 года поменялась классификация видов экономической деятельности ОКВЭД [21]. Поэтому для временного сопоставления данных мы были вынуждены для данных после 2016 года объединить, например, разделы ОКВЭД D («Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха») и E («Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизация отходов, деятельность по ликвидации загрязнений»). Тогда как в данных до 2016 года соответствующий раздел назывался «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды».

Эмпирический анализ

После сбора массива панельных данных, с помощью метода главных компонент [22,23,24] нам удалось оценить качество жизни населения и сформировать рейтинг регионов РФ. Для наглядности от-

Рейтинг регионов РФ по качеству жизни
Rating of Russian regions by quality of life

Год/ Место в рейтинге	1	2	3	81	82	83
2011	Москва	Ханты-Мансийский АО	Московская область	Карачаево-Черкесская Р.	Р. Тыва	Калмыкия
2012	Ненецкий АО	Ямало-Ненецкий АО	Москва	Р. Тыва	Чеченская Р.	Р. Ингушетия
2013	Москва	Санкт-Петербург	Р. Ингушетия	Еврейская АО	Чукотский АО	Ямало-Ненецкий АО
2014	Москва	Санкт-Петербург	Ненецкий АО	Тамбовская область	Калужская область	Р. Адыгея
2015	Москва	Тюменская область	Ханты-Мансийский АО	Чукотский АО	Магаданская область	Тамбовская область
2016	Москва	Р. Ингушетия	Ненецкий АО	Ханты-Мансийский АО	Санкт-Петербург	Чукотский АО
2017	Белгородская область	Москва	Челябинская область	Чукотский АО	Р. Башкортостан	Кабардино-Балкарская Р.
2018	Белгородская область	Москва	Челябинская область	Рязанская область	Костромская область	Кабардино-Балкарская Р.
2019	Москва	Белгородская область	Челябинская область	Тверская область	Мурманская область	Кабардино-Балкарская Р.
2020	Белгородская область	Москва	Тюменская область	Костромская область	Тверская область	Чукотский АО
2021	Москва	Челябинская область	Белгородская область	Ставропольский край	Иркутская область	Р. Северная Осетия

Источник: таблица составлена авторами
Source: table compiled by the authors

разим основные результаты в таблице, где будут отображены 3 лидера и 3 аутсайдера с 2011 по 2021 год (табл.3).

Легко заметить, что Москва стабильно находится в тройке лидеров. Положение остальных регионов в лидерах и аутсайдерах не такое стабильное. Например, интересно отметить, что город Санкт-Петербург с 2011 по 2014 год находился в топ 10 регионов, но в 2015 году он резко упал в топ-10 аутсайдеров и остался в таком положении вплоть до 2021 года включительно. Данный результат можно объяснить тем, что по итогам социально-экономического развития Санкт-Петербурга за январь-декабрь 2015 года [25] многие показатели региона ощутимо снизились, например, реальные денежные доходы населения сократились на 7,4%, индекс промышленного производства на 7,3%, а объем инвестиций в основной капитал на 11%. Подобная динамика наблюдалась

и во внешнеторговом обороте, а также в валовом региональном продукте.

Занимая последние строчки рейтинга в 2011 и 2012 годах, в 2013 и 2016 годах Республика Ингушетия поднялась в топ 5 регионов РФ по уровню качества жизни населения. По словам Юнус-бека Евкурова, главы Ингушетии в 2014 году, республика показала значительные улучшения по объемам строительства, увеличению средней заработной платы, а также по снижению уровня безработицы, что позволило Ингушетии занять лидирующие позиции в рейтинге [26].

Как уже отмечалось ранее, качество жизни является ключевым детерминантом, влияющим на инвестиционный климат в стране. Основными инструментами приумножения своих денежных средств население считает банковские вклады и ПИФы, анализу результативности последних для рынков России и США по-

священы, в частности, статьи [27,28]. В отличие от паевых инвестиционных фондов банковские вклады обладают рядом преимуществ, основным из которых является гарантированный избыточный доход в виде ставки по вкладу. Но наиболее интересными для инвестиций россияне считают акции, драгоценные металлы и валюту [29].

Для того чтобы проанализировать, как качество жизни населения влияет на инвестиционную активность, было принято решение собрать массив данных по количеству банковских вкладов в регионах РФ. Универсальное рейтинговое агентство медиагруппы МИА «Россия сегодня» РИА Рейтинг начиная с 2019 и по 2021 год, публикует рейтинг регионов по размеру банковских вкладов на душу населения [30]. Но так как подобный рейтинг ведется лишь с 2019 года, авторами было принято решение использовать доступ-

ную информацию о более ранних периодах и рассмотреть вклады физических лиц в ПАО Сбербанк, как показатель инвестиционной активности населения. Согласно portalу банковской аналитики [31], вклады в Сбербанк составляют от 0,44 до 0,47 от общей массы вкладов во все банки, а значит можно использовать эти данные для анализа динамики инвестиционной активности населения.

Рассчитав корреляцию между качеством жизни населения и объемом банковских вкладов за каждый из рассматриваемых годов, авторы пришли к следующим результатам (табл. 4).

В течение всех 11 лет можно наблюдать положительную корреляцию, а значит при увеличении качества жизни, увеличивается и размер вкладов в банк, что вполне закономерно. При увеличении уровня жизни, у населения остается больше свободных денежных средств, которые они могут инвестировать, в частности открыть банковский вклад. Отметим, что в 2011, 2013 и 2014 годах корреляция характеризовалась как сильная, в остальные же года она была умеренной. Как общая корреляция, так и частная по каждому году оказались значимы на 1% уровне.

Качество жизни несомненно является одним из ключевых факторов, влияющих на объемы банковских депозитов. Однако, существуют и иные показатели, которые могут оказывать значимое влияние на вложения населения регионов РФ. Поэтому далее построены эконометрические модели на основе панельных данных, где зависимой переменной выступает прирост объемов банковских вкладов (табл. 5). Проверяемая гипотеза состояла в том, что свободные денежные средства, оставшиеся с прошлого периода (года), направляются в банковские вложения.

После проведения статистических тестов, была выяв-

Таблица 4 (Table 4)
Уровень корреляции между качеством жизни населения и объемом банковских вкладов
The level of correlation between the quality of life of the population and the volume of bank deposits

Год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Общая корреляция
Корреляция	0,81	0,31	0,86	0,82	0,64	0,48	0,4	0,4	0,42	0,43	0,48	0,402

Источник: таблица рассчитана авторами
Source: table compiled by the authors

Таблица 5 (Table 5)
Факторы и их обозначение в моделях
Factors and their designation in the models

Показатель	Обозначение в моделях	Единицы измерения
Прирост объемов банковских вкладов	d_Объем_депоз_СБЕРА	млн. руб.
Качество жизни населения	Качество_жизни_населения	-
Ключевая ставка	Ключеваяставка	%
Инфляция в регионах	Инфляция	%
Ставка ОФЗ	СтавкаОФЗ	%

Источник: таблица составлена авторами
Source: table compiled by the authors

Таблица 6 (Table 6)
Сравнение моделей с фиксированными и случайными эффектами
Comparison of fixed and random effects models

Модель с фиксированными эффектами (включая робастные стандартные ошибки)		Модель со случайными эффектами (включая робастные стандартные ошибки)	
Dependent variable	d_Объем_депоз_СБЕРА	Dependent variable	d_Объем_депоз_СБЕРА
Качество_жизни_населения	-15726.36	Качество_жизни_населения	44818.2
Инфляция	-2278.806*	Инфляция	-1746.161*
Const	256300.8**	Const	199519.9*
R2	0.0113	R2	0.0448
F Statistic	4.77***	F Statistic	3.17***

Источник: расчеты авторов
Source: authors' calculations

лена мультиколлинеарность между ключевой ставкой, ставкой ОФЗ, а также инфляцией в регионах. По этой причине для дальнейшего исследования было принято решение оставить только показатель инфляции. Ввиду наличия гетероскедастичности и автокорреляции построены модели с включе-

нием робастных стандартных ошибок.

Рассмотрим результаты моделей с фиксированными и случайными эффектами (табл. 6).

Для определения более адекватной модели был проведен модифицированный тест Хаусмана. Исходя из результа-

тов теста, можно сделать вывод, что модель со случайными эффектами (включая робастные ошибки) оказалась лучше на уровне значимости в 1%.

Важным результатом исследования является тот факт, что качество жизни населения имеет умеренную или сильную корреляцию с объемом вложений в Сбербанк, но при построении модели со случайными эффектами, можно сделать вывод, что на прирост вложений в Сбербанк качество жизни уже не оказывает значимое влияние. Инфляция оказалась значима на 10% уровне, и выглядит закономерным тот факт, что при увеличении инфляции прирост объемов депозитов в Сбербанк уменьшается, так как увеличение инфляции приводит к снижению реальных доходов населения и росту трат [32].

Обсуждение результатов исследования

Высокая экономическая и социальная дифференциация субъектов РФ оказывает существенное влияние на качество жизни населения, а значит и на их инвестиционную активность. Для устойчивости и эффективности государственного управления органам власти важно иметь объективную

оценку качества жизни населения в том или ином регионе страны, что и было осуществлено нами в рамках данной работы.

После выявления значимой связи между качеством жизни населения и банковскими вложениями была выдвинута гипотеза, предполагающая в качестве зависимой переменной рассматривать прирост банковских вложений. Построенные модели показали, что качество жизни уже не оказывало значимого влияния, в то время как показатель региональной инфляции оказался значимым. Несомненно, увеличение свободных денежных средств стимулирует население выбирать наиболее надежные способы их сохранения и приумножения. Вероятно, население РФ считает, что для таких целей подходят банковские вклады, так как они гарантируют процентный доход, кроме того, они пользуются достаточным доверием среди граждан; не в последнюю очередь это происходит благодаря государственному страхованию вкладов на сумму до 1,4 млн рублей. Превышение суммы накоплений указанного порога может стимулировать граждан рассматривать другие направления инвести-

рования, более рискованные, но, возможно, и более доходные. Важно также отметить, что на наш взгляд, на прирост депозитов значимое влияние могут оказывать иные неучтенные переменные, такие как: ситуация на рынке недвижимости, положение рынка ПФО в условиях санкций и неопределенности и т.д.

Повышение инфляции по результатам наших расчетов оказывает негативное воздействие на прирост банковских вкладов. В условиях, когда темпы роста потребительских цен превышают доходность вкладов, их реальная доходность становится отрицательной, а значит население будет искать альтернативные способы инвестирования, например, в драгоценные металлы или недвижимость. Учет этих видов вложений и установление их связи с уровнем качества жизни населения в региональном аспекте представляется нетривиальной задачей ввиду отсутствия или сильной агрегированности соответствующих данных. Ее решение пролило бы свет на каналы взаимосвязи инвестиционной активности населения с его уровнем качества жизни. Кроме того, текущий турбулентный период с резким повышением ставок требует отдельного рассмотрения.

Литература

1. Указ Президента РФ «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» от 07.05.2024 № 309 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_475991/.
2. Айвазян С.А. Анализ качества и образа жизни населения. Центральный экономико-математический институт РАН. М.: Наука, 2012. 432 с.
3. Delis M.D., Mylonidis N. Trust, happiness, and households' financial decisions // *Journal of Financial Stability*. 2015. № 20. С. 82–92. DOI: 10.1016/j.jfs.2015.08.002.
4. Lane T. How does happiness relate to economic behavior? A review of the literature // *Journal of Behavioral and Experimental Economics*. 2017. № 68. С. 62–78. DOI: 10.1016/j.socec.2017.04.001.
5. Rao Y., Mei L. & Zhu R. Happiness and Stock-Market Participation: Empirical Evidence from China // *Journal of Happiness Studies*. 2016. № 17(1). С. 271–293. DOI: 10.1007/s10902-014-9594-4.
6. Глотов В.И., Бахтизин А.Р., Волкова М.И. Социальная напряженность в субъектах Российской Федерации. Анализ причин и последствий // *Федерализм*. 2019. № (4). С.142–160.
7. Аршакян Р.А., Мироненкова М.В. Анализ факторов, влияющих на избыточную доходность паевых инвестиционных фондов в России за 2015–2022 гг. // *Финансы и управление*. 2023. № 4. С. 33–47. DOI: 10.25136/2409-7802.2023.4.41027.
8. Климонова А. Н. Благосостояние населения как целевой ориентир деятельности государства: сущность, элементы, факторы благосостояния // *Социально-экономические явления и процессы*. 2016. № 12.

9. Айвазян С.А. Эмпирический анализ синтетических категорий качества жизни населения // Экономика и математические методы. 2003. Т. 39. № 3. С. 19–53.
10. Кучиева М.В., Салбиева В. Л. Качество жизни населения: критерии и оценка // Символ науки. 2015. № 11–1.
11. Найден С.Н., Белоусова А.В. Методический инструментарий оценки благосостояния населения: межрегиональное сопоставление // Экономика региона. 2018. Т. 14. № 1. С. 53–68.
12. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.
13. Павлова М.С., Алексеева О.Л., Таланова Н.В. Трансформация сбережений населения в инвестиции как важнейшее направление развития российского финансового рынка // Вестник Российского университета кооперации. 2018. № 1(31). С. 47–50.
14. Айвазян С. А., Исакин М. А. Интегральные индикаторы качества жизни населения региона как критерии эффективности социально-экономической политики, проводимой органами региональной власти // Прикладная эконометрика. 2006. № 1.
15. Айвазян С.А. К методологии измерения синтетических категорий качества жизни населения // Экономика и математические методы (ЭММ). Центральный Экономико-Математический Институт (ЦЭМИ). 2003. № 39(2).
16. Садовникова Ю.Ю., Тимейчук Л.Н. Качество населения как важнейшая составляющая социально-экономического развития территории // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2018. № 4.
17. Bakumenko L.P., Sarycheva T.V., Ignasheva T.A., Mkhitarian V.S. A statistical approach to life quality analysis // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. Т. 6. № 3. С. 79–90.
18. Федеральная служба государственной статистики (Росстат) [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>.
19. Волкова М. И. Сравнение объективистского и субъективистского подходов к измерению синтетических латентных категорий качества жизни населения: результаты эмпирического анализа российских данных // Прикладная эконометрика. 2010. № 3(19).
20. Afanasiev M., Kudrov A. Integrated Indicator of the Living Quality Conditions // Montenegrin Journal of Economics. 2019. Т. 14. № 3. С. 7–21.
21. Приказ Росстандарта «Изменение 1/2015 ОКВЭД2 Общероссийский классификатор видов экономической деятельности ОК 029-2014 (КДЕС Ред. 2)» от 26.05.2015 №423-ст [Электрон. ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_186678/97205f7fe59dfbfd428d026f3f8e0e80b2ffc9f/.
22. Айвазян С. А. Методы эконометрики. М.: Магистр: ИНФРА-М, 2010. 512 с.
23. Мироненков А.А., Курбацкий А.Н., Мироненкова М.В. Измерение качества жизни населения при стохастическом выборе весов взвешенной главной компоненты // Journal of Applied Economic Research. 2024. Т. 23. № 1. С. 82–109.
24. Kurbatskii, A., Mironenkov, A. “Estimating the Quality of Life Using Weighted Principal Components Method” // Montenegrin Journal of Economics. 2023. Т. 19. № 1. С. 7–17.
25. Комитет по экономической политике и стратегическому планированию Санкт-Петербурга «Основные итоги социально-экономического развития Санкт-Петербурга за январь-декабрь 2015 года» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://cedipt.gov.spb.ru/monitoring-pokazatelej/analiz-socialno-ekonomicheskogo-razvitiya/itogi-socialno-ekonomicheskogo-razvitiya-sankt-peterburga/itogi-ser/>.
26. РБК «Пресс-конференция главы Республики Ингушетия Юнус-бека Евкурова» от 15.09.2014 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://amp.rbc.ru/regional/krasnodar/15/09/2014/559294a69a794751dc83aaff/>.
27. Аршакян Р.А. Анализ результативности паевых инвестиционных фондов в 2021–2022 гг. // Финансы и кредит. 2023. Т. 29. № 11. С. 2530–2551.
28. Артамонов Н.В., Курбацкий А.Н. Избыточная доходность взаимных фондов в США // Вестник МГИМО-Университета. 2023. № 16(3). С. 244–262.
29. РБК «Половина россиян заявила о готовности инвестировать более 10 тыс. руб. в месяц» от 20.07.2023 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.rbc.ru/quote/news/article/64b7d7439a79471a35a4636b/>.
30. РИА Новости «Рейтинг регионов по размеру банковских вкладов населения» от 25.11.2019 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://ria.ru/20191125/1561126844.html/>.
31. Портал банковского аналитика «Таблица значений показателя Вклады физических лиц» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://analizbankov.ru/rating.php?PokId=5153&orderby=Sum&DESC=1&months=1&change=absolute/>.
32. Яроменко Н.Н., Вейсова А.Д., Катаев Т.А. Инфляция: причины возникновения и последствия. Анализ ИПЦ, как показателя инфляции. ЕГИ. 2022. № 40(2).

References

1. Ukaz Prezidenta RF "O natsional'nykh tselyakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2036 goda" ot 07.05.2024 № 309 = Decree of the President of the Russian Federation "On the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030 and for the future up to 2036" dated 07.05.2024 No. 309 [Internet]. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_475991/. (In Russ.)
2. Ayvazyan S.A. Analiz kachestva i obraza zhizni naseleniya. Tsentral'nyy ekonomiko-matematicheskii in-titut RAN = Analysis of the quality and way of life of the population. Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences. Moscow: Science; 2012. 432 p. (In Russ.)
3. Delis M.D., Mylonidis N. Trust, happiness, and households' financial decisions. *Journal of Financial Stability*. 2015; 20: 82-92. DOI: 10.1016/j.jfs.2015.08.002.
4. Lane T. How does happiness relate to economic behavior? A review of the literature. *Journal of Behavioral and Experimental Economics*. 2017; 68: 62-78. DOI: 10.1016/j.socec.2017.04.001.
5. Rao Y., Mei L. & Zhu R. Happiness and Stock-Market Participation: Empirical Evidence from China. *Journal of Happiness Studies*. 2016; 17(1); 271-293. DOI: 10.1007/s10902-014-9594-4.
6. Glotov V.I., Bakhtizin A.R., Volkova M.I. Social tension in the subjects of the Russian Federation. Analysis of causes and consequences. *Federalizm = Federalism*. 2019; (4): 142-160. (In Russ.)
7. Arshakyan R.A., Mironenkova M.V. Analysis of factors influencing the excess return of mutual investment funds in Russia for 2015-2022. *Finansy i upravleniye = Finance and Management*. 2023; 4: 33-47. DOI: 10.25136/2409-7802.2023.4.41027. (In Russ.)
8. Klimonova A. N. Welfare of the population as a target guideline for state activities: essence, elements, factors of welfare. *Sotsial'no-ekonomicheskiye yavleniya i protsessy = Socio-economic phenomena and processes*. 2016; 12. (In Russ.)
9. Ayvazyan S.A. Empirical analysis of synthetic categories of the quality of life of the population. *Ekonomika i matematicheskiye metody = Economics and mathematical methods*. 2003; 39; 3: 19-53. (In Russ.)
10. Kuchiyeva M.V., Salbiyeva V. L. Quality of life of the population: criteria and assessment. *Simvol nauki = Symbol of science*. 2015: 11-1. (In Russ.)
11. Nayden S.N., Belousova A.V. Methodological tools for assessing the well-being of the population: interregional comparison. *Ekonomika regiona = Economy of the region*. 2018; 14; 1: 53-68. (In Russ.)
12. Saati T. Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy = Decision making. Hierarchy analysis method. Moscow: Radio and communication; 1993. (In Russ.)
13. Pavlova M.S., Alekseyeva O.L., Talanova N.V. Transformation of population savings into investments as the most important direction of development of the Russian financial market. *Vestnik Rossiyskogo universiteta kooperatsii = Bulletin of the Russian University of Cooperation*. 2018; 1(31): 47-50. (In Russ.)
14. Ayvazyan S.A., Isakin M.A. Integral indicators of the quality of life of the regional population as criteria for the effectiveness of socio-economic policies pursued by regional authorities. *Prikladnaya ekonometrika = Applied Econometrics*. 2006; 1. (In Russ.)
15. Ayvazyan S.A. On the methodology of measuring synthetic categories of the quality of life of the population. *Ekonomika i matematicheskiye metody (EMM). Tsentral'nyy Ekonomiko-Matematicheskii Institut (TSEMI) = Economics and Mathematical Methods (EMM). Central Economics and Mathematics Institute (CEMI)*. 2003; 39(2). (In Russ.)
16. Sadovnikova Yu.Yu., Timeychuk L.N. Quality of the population as the most important component of the socio-economic development of the territory. *Gosudarstvennoye i munitsipal'noye upravleniye. Uchenyye zapiski = State and municipal administration. Scientific notes*. 2018; 4. (In Russ.)
17. Bakumenko L.P., Sarycheva T.V., Ignasheva T.A., Mkhitarian V.S. A statistical approach to life quality analysis. *Mediterranean Journal of Social Sciences = Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2015; 6; 3: 79-90.
18. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki (Rosstat) = Federal State Statistics Service (Rosstat) [Internet]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/>. (In Russ.)
19. Volkova M.I. Comparison of objectivist and subjectivist approaches to measuring synthetic latent categories of quality of life of the population: results of empirical analysis of Russian data. *Prikladnaya ekonometrika = Applied Econometrics*. 2010; 3(19). (In Russ.)
20. Afanasiev M., Kudrov A. Integrated Indicator of the Living Quality Conditions. *Montenegrin Journal of Economics = Montenegrin Journal of Economics*. 2019; 14; 3: 7-21.
21. Prikaz Rosstandarta "Izmeneniye 1/2015 OKVED2 Obshcherossiyskiy klassifikator vidov ekonomicheskoy deyatel'nosti OK 029-2014 (KDES Red. 2)" ot 26.05.2015 №423-st = Order of Rosstandart "Amendment 1/2015 OKVED2 All-Russian Classifier of Economic Activities OK 029-2014 (KDES Rev. 2)" dated 05/26/2015 No. 423-st [Internet]. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_186678/797205f7fe59dfbfd428d026f3f8e0e80b2ffc9f/. (In Russ.)

22. Ayvazyan S.A. Metody ekonometriki = Methods of econometrics. Moscow: Master: INFRA-M; 2010. 512 p. (In Russ.)
23. Mironenkov A.A., Kurbatskiy A.N., Mironenkova M. V. Measuring the quality of life of the population with a stochastic choice of weights of the weighted principal component. Journal of Applied Economic Research = Journal of Applied Economic Research. 2024; 23; 1: 82–109. (In Russ.)
24. Kurbatskii, A., Mironenkov, A. “Estimating the Quality of Life Using Weighted Principal Components Method”. Montenegrin Journal of Economics = Montenegrin Journal of Economics. 2023; 19; 1: 7-17.
25. Komitet po ekonomicheskoy politike i strategicheskemu planirovaniyu Sankt-Peterburga «Osnovnyye itogi sotsial’no-ekonomicheskogo razvitiya Sankt-Peterburga za yanvar’-dekabr’ 2015 goda» = Committee on Economic Policy and Strategic Planning of St. Petersburg “Main Results of Social and Economic Development of St. Petersburg for January-December 2015” [Internet]. Available from: <https://cedipt.gov.spb.ru/monitoring-pokazatelej/analiz-socialno-ekonomicheskogo-razvitiya/itogi-socialno-ekonomicheskogo-razvitiya-sankt-peterburga/itogiser/>. (In Russ.)
26. RBK «Press-konferentsiya glavy Respubliki Ingushetiya Yunus-beka Yevkurova» ot 15.09.2014 = RBC “Press conference of the head of the Republic of Ingushetia Yunus-bek Yevkurov” from 15.09.2014 [Internet]. Available from: <https://amp.rbc.ru/regional/krasnodar/15/09/2014/559294a69a794751dc83aaff/>. (In Russ.)
27. Arshakyan R.A. Analysis of the performance of mutual investment funds in 2021-2022. Finansy i kredit = Finance and Credit. 2023; 29; 11: 2530-2551. (In Russ.)
28. Artamonov N.V., Kurbatskiy A.N. Excess return on mutual funds in the USA. Vestnik MGIMO-Universiteta = Bulletin of MGIMO-University. 2023; 16(3): 244- 262. (In Russ.)
29. RBK «Polovina rossiyan zayavila o gotovnosti investirovat’ boleye 10 tys. rub. v mesyats» ot 20.07.2023 = RBC “Half of Russians declared their readiness to invest more than 10 thousand rubles per month” dated 07/20/2023 [Internet]. Available from: <https://www.rbc.ru/quote/news/article/64b7d7439a79471a35a4636b/>. (In Russ.)
30. RIA Novosti «Reyting regionov po razmeru bankovskikh vkladov naseleniya» ot 25.11.2019 = RIA Novosti “Rating of regions by the size of bank deposits of the population” dated 11/25/2019 [Internet]. Available from: <https://ria.ru/20191125/1561126844.html/>. (In Russ.)
31. Portal bankovskogo analitika «Tablitsa znacheniy pokazatelya Vklady fizicheskikh lits» = Banking analyst portal “Table of values of the indicator Deposits of individuals” [Internet]. Available from: <https://analizbankov.ru/rating.php?PokId=5153&orderby=Sum&DESC=1&months=1&change=absolute/>. (In Russ.)
32. Yaromenko N.N., Veysova A.D., Katayev T.A. Inflyatsiya: prichiny vozniknoveniya i posledstviya. Analiz IPTS, kak pokazatelya inflyatsii. YEGI = Inflation: causes and consequences. Analysis of the CPI as an indicator of inflation. EGI. 2022: 40(2). (In Russ.)

Сведения об авторах

Роза Араиковна Аршакян

Аспирант, кафедра эконометрики и математических методов экономики
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
Эл. почта: r.roza.arshakyan@mail.ru

Алексей Николаевич Курбацкий

Доцент, кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой эконометрики и математических методов экономики
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия
Эл. почта: kurbatskii@my.msu.ru

Марина Владимировна Мironenkova

Старший преподаватель, кафедра эконометрики и математических методов экономики
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
Эл. почта: mironenkova.marina@gmail.com

Information about the authors

Rosa A. Arshakyan

Postgraduate Student, Department of Econometrics and Mathematical Methods of Economics
Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia
E-mail: r.roza.arshakyan@mail.ru

Alexey N. Kurbatsky

Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Head of the Department of Econometrics and Mathematical Methods of Economics
Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia
E-mail: kurbatskii@my.msu.ru

Marina V. Mironenkova

Senior Lecturer, Department of Econometrics and Mathematical Methods of Economics
Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia
E-mail: mironenkova.marina@gmail.com



Возможности игрового моделирования в управлении ассортиментом продукции

Растущая в условиях санкционного давления конкуренция среди отечественных производителей требует особого внимания к вопросам оптимизации ассортимента. Производители в меняющихся условиях вынуждены постоянно следить за продажами, анализировать данные и оптимизировать ассортимент, исключая неэффективные виды продукции и добавляя новые виды, пользующие спросом на рынке сбыта.

Цель исследования: выявить возможности теории игр в управлении ассортиментом продукции, представить рекомендации по её использованию в процессе формирования ассортиментной политики. Актуальность темы исследования обусловлена потребностью производителей в совершенствовании механизмов управления ассортиментом производимой продукции.

В процессе исследования использованы **следующие материалы и методы игрового моделирования:** конструирование множества игроков, конструирование множеств стратегий игроков, количественная оценка элементов платёжной матрицы, приёмы снижения степени неопределённости, методы выбора оптимальных стратегий в условиях полной и частичной неопределённости, а также обобщение опыта использования игровых моделей при анализе различных экономических ситуаций.

Акцентируется внимание на игровом моделировании, дополняющем математическо-статистические методы, традиционно используемые для формирования ассортиментной политики: методы математического программирования — задача оптимизации ассортимента при наличии ограничений на ресурсы, например бюджет и запасы сырья, используемого в процессе производства; методы многокритериального выбора — задачи учета нескольких критериев при принятии решений по ассортименту продукции, например качество продукции, цена продукции, спрос на продукцию и др.; методы статистического анализа (задача анализа имеющихся данных о продажах и выявления трендов — регрессионный анализ для прогнозирования спроса на производимую продукцию, выявления зависимостей между различными факторами, такими как спрос на продукцию и цены, маркетинговые усилия, сезонность и др.; кластерный анализ для

сегментации товаров и клиентов на основе ранее выделенных характеристик, например, предпочтения покупателей и возраст, а также ассоциативный анализ для выявления зависимостей между товарами — определение групп товаров, которые могут быть представлены вместе в ассортименте); методы анализа временных рядов и имитационного моделирования (задача прогнозирования спроса на продукцию, основанного на имеющихся данных о продажах; задача фиктивной реализации различных сценариев управления ассортиментом и количественной оценки их последствий).

Результаты: построены игровые модели управления ассортиментом продукции базового уровня (учёт наличия вида продукции в формируемом ассортименте) и продвинутого уровня (учёт не только наличия вида продукции в формируемом ассортименте, но и его количества), предложен подход к количественной оценке последствий принимаемых решений об изменении ассортимента выпускаемой продукции. Установлена чувствительность оптимальной стратегии формирования ассортимента продукции к динамике отношения ЛПР к риску и уровня доверия к информации.

Заключение. Научная новизна исследования состоит в разработке подхода к управлению ассортиментом производимой продукции, основу которого составляет обоснование оптимальности игровой стратегии. Практическая значимость исследования заключается в расширении применения прикладных и исследовательских возможностей игрового моделирования на вопросы управления ассортиментом производимой продукции, а также совершенствовании инструментария анализа ассортиментной политики предприятия (аспекты ширины и глубины ассортимента). Выявлено и обосновано 8 факторов стратегической ассортиментной политики.

Ключевые слова: теория игр, игровое моделирование, управление ассортиментом продукции, ассортиментная политика, оптимальная стратегия, метод Гурвица, метод минимакса, метод максимакса, метод Лапласа, отношение к риску.

Dmitry A. Vlasov¹, Petr A. Karasev¹, Alexander V. Sinchukov²

¹ Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

² Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Game Modeling Possibilities in Product Assortment Management

Growing competition among domestic manufacturers under the pressure of sanctions requires special attention to the issues of product range optimization. In changing conditions, manufacturers are forced to constantly monitor sales, analyze data and optimize the product range, excluding ineffective types of products and adding new types that are in demand in the sales market.

Purpose of research: to identify the possibilities of game theory in managing the product range, to provide recommendations for its use in the process of forming an assortment policy. The relevance of the research topic is due to the need of manufacturers to improve the mechanisms for managing the range of manufactured products.

The following materials and methods of game modeling were used in the study: designing a set of players, designing a set of player strategies, quantitative assessment of the elements of the payoff matrix, techniques for reducing the degree of uncertainty, methods for choosing optimal strategies under conditions of complete and partial uncertainty, as well as generalizing the experience of using game models in the analysis of various economic situations.

The focus is on game modeling that complements the mathematical and statistical methods traditionally used to formulate an assortment policy: mathematical programming methods — the task of optimizing an assortment given resource constraints, such as budget and stocks

of raw materials used in the production process; multi-criteria choice methods – the task of taking into account several criteria when making decisions on the product assortment, such as product quality, product price, product demand, etc.; statistical analysis methods (the task of analyzing available sales data and identifying trends – regression analysis to forecast demand for manufactured products, identify relationships between various factors, such as product demand and prices, marketing efforts, seasonality, etc.; cluster analysis to segment products and customers based on previously identified characteristics, such as customer preferences and age, as well as associative analysis to identify relationships between products – determining product groups that can be presented together in the assortment); methods of time series analysis and simulation modeling (the task of forecasting demand for products based on available sales data; the task of fictitious implementation of various assortment management scenarios and quantitative assessment of their consequences).

Results. Game models of product assortment management of the basic level (taking into account the presence of a product type in the formed assortment) and advanced level (taking into account not only the presence of a product type in the formed assortment, but also its

quantity) were constructed, an approach to quantitative assessment of the consequences of decisions made to change the assortment of manufactured products was proposed. The sensitivity of the optimal strategy for forming the product assortment to the dynamics of the decision maker's attitude to risk and the level of trust in information was established.

Conclusion. The scientific novelty of the study consists in developing an approach to managing the assortment of manufactured products, the basis of which is the justification of the optimality of the game strategy. The practical significance of the study lies in expanding the application of applied and research capabilities of game modeling to issues of managing the assortment of manufactured products, as well as improving the tools for analyzing the enterprise's assortment policy (aspects of the width and depth of the assortment). Eight factors of the strategic assortment policy were identified and substantiated.

Keywords: game theory, game modeling, product range management, assortment policy, optimal strategy, Hurwitz method, minimax method, maximax method, Laplace method, risk attitude.

Введение

В современных условиях производители заинтересованы в повышении качества принимаемых решений, касающихся вопросов управления ассортиментом продукции. Это невозможно без учета спроса на производимую продукцию, тенденций развития отрасли, специфики конкурентного окружения и других факторов, влияющих на объемы продаж продукции. Под управлением ассортиментом продукции принято понимать ряд действий по повышению рациональности предложения аудитории. Предприятия заинтересованы в развитии механизмов определения видов и разновидностей товарных групп, которые наиболее предпочтительны в их нише. Заметим, что, как правило, предприятия стремятся обеспечить большую релевантность ассортимента выпускаемой продукции интересам аудитории покупателей. *Проблемой исследования* выступает усиление роли приёмов и методов теории игр в принятии решений в области ассортиментной политики, а также повышение качества принимаемых решений посредством уточнения и учёта отношения ЛПР к риску. Проведенное исследование связано с решением важной *практиче-*

ской задачи вооружения менеджмента предприятий новым инструментарием формирования ассортиментной политики, основу которого составляет теория игр.

К настоящему времени накоплен значительный опыт применения теории игр для исследования различных экономических ситуаций. Так, в публикациях [1; 2] рассмотрены различные прикладные задачи экономической тематики, решение которых требует применения методов теории игр и учёта склонности игрока к риску. Ранее в публикации автора [3] рассмотрены основные подходы в области теории игр, учёт которых при организации профессиональной подготовки будущих экономистов способствует развитию их модельных представлений об экономических ситуациях. В публикации [4] ставится вопрос о выборе математических методов для решения исследуемой проблемы. Автором представлены критерии отбора математических методов с учётом особенностей анализируемой проблемы, при этом особое внимание уделяется возможностям методов теории игр, генетическим алгоритмам и методам на базе нейронных сетей.

В статье [5] методы теории игр использованы для описа-

ния взаимодействия предприятий в системе стратегического планирования. Мы согласны с авторами, что стратегическое планирование выступает основополагающим принципом эффективного функционирования любого современного предприятия и большим потенциалом в его реализации обладает теория игр. В публикации [6] игровое моделирование применяется для выработки финансовых стратегий предприятия. Авторы отмечают, что включение теории игр в инструментарий анализа финансовых стратегий способствует снижению неопределённости. В статье [7] различные варианты конфликта интересов сопоставляются с различными вариантами игровых моделей. Несмотря на удачное сопоставление, представленное в данной статье, рекомендации по построению игровых моделей требуют доработки.

Общие вопросы использования теории игр в жизни и бизнесе раскрыты в работе [8]. Авторы указывают на широкие приложения теории игр, однако не акцентируют внимание на специфику построения и исследования игровых моделей. Проблемы в области построения и реализации ассортиментной политики удачно представлены в иссле-

довании [9]. Мы согласны с автором, что ассортиментная политика должна регулировать деятельность руководителя и специалистов организации и включать в себя принципы, методики, реализация которых способна привести к моделированию оптимального ассортимента производимой продукции.

В статье [10] рассмотрен оптимизационный подход к реализации наращивания производства продукции. Отметим, что предложенная автором модель оптимизации характеристик производственного процесса путем решения задачи линейного программирования, коэффициенты которых зависят от параметров, позволяющих адаптировать модель к условиям проблемной ситуации, может быть доработана с учётом предварительного определения динамики входящих параметров. Работа [11] содержит общие рекомендации по анализу ассортимента и структуры продукции. Результаты, представленные авторами, могут быть использованы в процессе моделирования стратегий ассортиментной политики. Вопросы анализа рисков в торговле раскрыты в публикациях [12, 13]. Мы согласны с авторами, утверждающими, что повышение качества анализа рискованных ситуаций в торговле связано с совершенствованием методов количественного анализа и математического моделирования.

Анализ исследований показывает, что математико-статистические методы, поддерживающие принятие решений в управлении ассортиментом продукции, могут рассматриваться важным инструментом, использование которого позволяет решать задачи оптимизации товарного предложения и повышения эффективности бизнеса. К математическо-статистическим методам, традиционно используемых для формирова-

ния ассортиментной политики, следует отнести:

методы математического программирования (задача оптимизации ассортимента при наличии ограничений на ресурсы, например бюджет и запасы сырья, используемого в процессе производства);

методы многокритериального выбора (задачи учета нескольких критериев при принятии решений по ассортименту продукции, например качество продукции, цена продукции, спрос на продукцию и др.);

методы статистического анализа (задача анализа имеющихся данные о продажах и выявления трендов — регрессионный анализ для прогнозирования спроса на производимую продукцию, выявления зависимостей между различными факторами, такими как спрос на продукцию и цены, маркетинговые усилия, сезонность и др.; кластерный анализ для сегментации товаров и клиентов на основе ранее выделенных характеристик, например, предпочтения покупателей и возраст, а также и ассоциативного анализа для выявления зависимостей между товарами — определении групп товаров, которые могут быть представлены вместе в ассортименте);

методы анализа временных рядов (задача прогнозирования спроса на продукцию, основанного на имеющихся данных о продажах, в том числе методы скользящих средних, экспоненциального сглаживания и ARIMA);

методы имитационного моделирования (задача фиктивной реализации различных сценариев управления ассортиментом и количественной оценки их последствий).

Таким образом, формирование эффективного ассортимента продукции требует привлечения различных подходов, в том числе количественного анализа и математического

моделирования, направленного на повышение конкурентоспособности и максимизации прибыли, получаемой от хозяйственно-экономической деятельности. Несмотря на достаточное количество работ по теории игр и работ по управлению ассортиментом продукции, возможности теории игр к оптимизации ассортимента продукции к настоящему времени оставались без внимания. В рамках данной статьи будет построена игровая модель управления ассортиментом продукции и на её основе продемонстрированы возможности игрового моделирования в управлении ассортиментом продукции.

Методология

Цель исследования: выявить возможности игрового моделирования в управлении ассортиментом продукции, представить рекомендации по использованию игрового моделирования в управлении ассортиментом продукции. В процессе исследования изучен передовой опыт построения игровых моделей, предназначенных для анализа альтернативных экономических стратегий. *Проблема исследования* вытекает из противоречия между потенциалом теоретико-игрового моделирования и традиционной практикой принятия решений в области ассортиментной политики. Исследование направлено на усиление роли приёмов и методов теории игр в принятии решения в области ассортиментной политики, а также повышение качества принимаемых решений посредством уточнения и учёта отношения ЛПР к риску. *Актуальность исследования* заключается в раскрытии потенциала игр с природой для эффективного управления ассортиментом продукции, учёта динамики потребностей клиентов и тенденций рынка сбыта.

Результаты

Для раскрытия возможностей игрового моделирования в управлении ассортиментом продукции построена и исследована игровая модель, описывающая взаимодействие двух игроков: первым игроком является производитель продукции, вторым игроком («природой») является спрос на производимую продукцию с учётом её ассортимента. Для простоты реализации игрового моделирования ассортимент производимой продукции ограничен её тремя видами. Варианты стратегий игроков определяются различными вариантами комбинирования ассортимента выпускаемой продукции с учётом данных, предоставленным менеджментом ООО «Корпорация Хлебница» и результатов интервьюирования сотрудников пекарни-булочной, используемые для оценки параметров игровых моделей (таблица 1 и таблица 2). Заметим, что ранее в работе авторов было реализовано игровое моделирование производственных стратегий пекарни-булочной [14], однако вопрос формирования ассортимента продукции не рассматривался.

В таблице 1 перечислим все возможные элементы множества стратегий игрока – производителя и множества состояний природы. Единица интерпретируется как производство одной партии продукции, нуль – исключение данного вида продукции из ассортимента.

В рамках данного исследования мы рассматриваем только совпадающие элементы множеств стратегии игрока и состояний природы, что в не полной мере соответствует экономической действительности. Указанное ограничение введено с целью упрощения построения игровой модели и может быть исключено путём расширения множества стра-

Множества стратегий игрока – производителя и состояний природы
Sets of strategies of the player-producer and states of nature

Элемент множества A	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
Элемент множества Π	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6	Π_7	Π_8
Первый вид продукции	0	1	0	0	1	0	1	1
Второй вид продукции	0	0	1	0	1	1	0	1
Третий вид продукции	0	0	0	1	0	1	1	1

Таблица 2 (Table 2)

Данные для формирования платёжной матрицы
Data for the formation of the payoff matrix

Параметры	Виды продукции		
	1	2	3
Прибыль (д. е.)	40	67	109,5
Издержки (д. е.)	23	45	62

Таблица 3 (Table 3)

Платёжная матрица игры G_1
Payoff matrix of the game G_1

	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6	Π_7	Π_8
A_1	0	0	0	0	0	0	0	0
A_2	-23	40	-23	-23	40	-23	40	40
A_3	-45	-45	67	-45	67	67	-45	67
A_4	-62	-62	-62	109,5	-62	109,5	109,5	109,5
A_5	-68	-5	44	-68	107	44	-5	107
A_6	-107	-107	5	64,5	5	176,5	64,5	176,5
A_7	-85	-22	-85	86,5	-22	86,5	149,5	104,5
A_8	-130	-67	-18	41,5	45	153,5	104,5	216,5

тегий игрока и множества состояний природы. Например, природа может реализовать состояние $P = \{2; 3; 0\}$, в то время как игрок выберет стратегию $A = \{5; 1; 3\}$. В таком случае составляющие стратегий интерпретируются как количества партий продукции каждого вида, производимые предприятием за определенный период. Очевидно, что приведённые стратегии не совпадают. Заметим, что в процессе конструирования множества стратегий игрока целесообразно учитывать не только возможные состояния природы, но и имеющиеся производственные мощности.

После описания множеств игроков и их стратегий, была получена платёжная матрица, задающая исходы всех вариантов развития игрового взаимодействия. Для её построения использованы данные, представленные в таблице 2.

Каждый элемент платежной матрицы (таблица 3) представляет собой полезность – последствия выбранной стратегии по формированию ассортимента продукции. Заметим, что с учётом множеств стратегий игроков, платежная матрица игры G_1 содержит 64 элемента.

На следующем этапе исследования возможностей игрового моделирования в управлении ассортиментом продукции построенная игровая модель G_1 была исследована различными методами, нашедшими широкое применение в анализе игр с природой. Основой задачей анализа игры является нахождение равновесных состояний [15, 16]. Результаты расчёта показателей эффективности для определения равновесных состояний по различным методам, используемым для анализа игровой модели в рамках данного исследования, представлены в таблице 4.

Таблица 4 (Table 4)

Расчёт показателей эффективности по различным методам анализа игровой модели G_1
Calculation of performance indexes by different methods of analyzing the game model G_1

Стратегии	Методы определения оптимальных стратегий						
	Метод максимина	Метод максимакса	Метод Лапласа	Метод Гурвица			
				Показатель пессимизма			
				0,1	0,5	0,6	0,9
A_1	0	0	0	0	0	0	0
A_2	-23	40	8,5	33,7	8,5	2,2	-16,7
A_3	-45	67	11	55,8	11	-0,2	-33,8
A_4	-62	109,5	23,75	92,35	23,75	6,6	-44,85
A_5	-68	107	19,5	89,5	19,5	2	-50,5
A_6	-107	176,5	34,75	148,15	34,75	6,4	-78,65
A_7	-85	149,5	26,625	126,05	32,25	8,8	-61,55
A_8	-130	216,5	43,25	181,85	43,25	8,6	-95,35
Максимальное значение показателя эффективности	0	216,5	43,25	181,85	43,25	8,8	0
Оптимальная стратегия	A_1	A_8	A_8	A_8	A_8	A_7	A_1

Метод максимина, также нашедший применение в рамках исследования, является одним из методов, применяемых для анализа игр с природой. В его основе – выбор альтернативы на основе максиминного подхода [17]. Важно отметить, что применение этого метода может привести к росту упущенных возможностей. Действительно, игрок сознательно отказывается от получения более высокой полезности, пытаясь исключить риск. Реализация метода максимина свидетельствует о том, что оптимальной является стратегия A_1 , реализация которой предполагает полный отказ от производства продукции. Применение данного метода может быть оправдано крайне пессимистичным настроем игрока-производителя, стремящегося не увеличить прибыль, а полностью исключить риск.

Используемый в рамках данного исследования метод максимакса является одним из методов принятия решений в условиях неопределенности, применяемых для анализа игр с природой [18]. Реализация метода максимакса приводит к тому, что оптимальной следует признать стратегию A_8 , содержательный смысл которой

заключается в максимальном расширении ассортимента выпускаемой продукции. Максимальная стратегия A_8 соответствует крайне оптимистичному настроению игрока-производителя, сознательно допускающего риск. Обратим внимание что, ориентируясь на получение максимального выигрыша, равного 216,5 д.е. (в случае, если природа реализует самое благоприятное состояние P_8), в действительности игрок может получить самый значительный проигрыш из возможных, равный –130. Выявленная особенность говорит о необходимости чёткого обоснования выбора метода максимакса.

Метод Лапласа – один из методов теории игр, используемый в условиях отсутствия информации о вероятностях реализации природой своих состояний. Этот метод основывается на принципе равновероятности и предполагает, что все возможные исходы развития игровой ситуации равновероятны, т.е. реализуются с одинаковой вероятностью. Суть метода Лапласа заключается в том, что принимающий решение назначает вероятность каждому исходу исходя из предположения равновероятности. После этого вычисля-

ется среднее значение полезности для каждой альтернативы. Альтернатива с самым высоким средним значением показателя эффективности считается наилучшей. В смысле метода Лапласа стратегия A_8 также является оптимальной, так как именно ей соответствует максимальное среднее значение выигрыша, равное 43,25 д.е.

Метод Гурвица – один из методов теории игр, применяемый в условиях неопределенности. Его использование помогает выбрать наилучшее решение с учётом степени пессимизма ЛПР. Преимущество метода Гурвица заключается в том, что он позволяет находить компромисс между потенциальными высокой полезностью (крайний оптимизм) и потенциально низкой полезностью (крайний пессимизм) и выбирать наилучшую альтернативу с учётом обоих факторов.

Обратимся к результатам, полученным на основе применения метода Гурвица, сглаживающего недостатки рассмотренных ранее методов. Для анализа выберем четыре значения уровня пессимизма: $\lambda_1 = 0,1$; $\lambda_2 = 0,5$; $\lambda_3 = 0,6$ и $\lambda_4 = 0,9$. Обратим внимание, что представленные значения уровня пессимизма игро-

ка-производителя образуют возрастающую последовательность: 0,1 — относительно крайне низкий уровень пессимизма, 0,5 — средний уровень пессимизма, 0,9 — относительно крайне высокой уровень пессимизма. В рамках проведенного исследования удалось проследить динамику оптимальности стратегий при изменении уровня пессимизма. Так, при $\lambda_1 = 0,1$ и $\lambda_2 = 0,5$ оптимальной является стратегия A_8 . Если $\lambda_3 = 0,6$, то оптимальной следует признать A_7 , реализация которой предполагает отказ от производства продукции второго вида. При крайне высокой уровне пессимизм $\lambda_4 = 0,9$ оптимальной является стратегия A_1 .

Построение игровой модели управления ассортиментом продукции в базовой модификации подразумевает учёт фактора «Ширина ассортимента» — основной задачей выступает определение количества — товарных категорий. Так, игрок-производитель может предлагать только один тип продукции или множество различных категорий продукции. Для простоты построения и анализа игровой модели управления ассортиментом продукции количество возможных стратегий игрока ограничено восемью чистыми стратегиями (три категории продукции).

Реализованный переход в процессе исследования к игровой модели управления ассортиментом продукции в продвинутой модификации (игра G_2) подразумевает одновременный учёт двух факторов «Ширина ассортимента» и «Глубина ассортимента» — основной задачей является не только определение количества товарных категорий, но и определение числа вариаций продукции внутри каждой категории (вариации могут подразумевать производство продукции различных размеров, цветов, моделей и др.) Указан-

Расширение множеств стратегий игрока и природы
Expansion of the sets of player and nature strategies

Элемент множества A	A_9	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}
Элемент множества Π	Π_9	Π_{10}	Π_{11}	Π_{12}	Π_{13}	Π_{14}	Π_{15}	Π_{16}
Первый вид продукции	2	2	2	2	3	3	3	3
Второй вид продукции	0	1	0	1	0	1	0	1
Третий вид продукции	0	0	1	1	0	0	1	1

Платежная матрица игры G_2
Payoff matrix of the game G_2

	Π_1	Π_2	...	Π_9	...	Π_{15}	Π_{16}
A_1	0	0	...	0	...	0	0
A_2	-23	40	...	40	...	40	40
A_3	-45	-45	...	-23	...	-45	67
A_4	-62	-62	...	-62	...	109,5	109,5
A_5	-68	-5	...	40	...	40	107
A_6	-107	-107	...	-107	...	5	176,5
A_7	-85	-22	...	-22	...	149,5	149,5
A_8	-130	-67	...	-67	...	104,5	216,5
A_9	-46	17	...	80	...	80	80
A_{10}	-91	-28	...	35	...	35	147
A_{11}	-108	-45	...	18	...	189,5	189,5
A_{12}	-153	-90	...	-27	...	144,5	256,5
A_{13}	-69	-6	...	57	...	120	120
A_{14}	-114	-51	...	12	...	75	187
A_{15}	-131	-68	...	-5	...	229,5	229,5
A_{16}	-176	-113	...	-50	...	184,5	296,5

ный подход позволил учесть, что игрок-производитель может предлагать к сбыту различные число вариаций продукции. Для простоты построения и анализа игровой модели G_2 (игровая модель с учётом двух факторов — «Ширина ассортимента» и «Глубина ассортимента») количество возможных стратегий игрока, первоначально состоящее из восьми чистых стратегий расширено новыми восемью чистыми стратегиями — отличающимися от ранее рассмотренных динамикой количества партий продукции первой категории, производимой игроком (одна, две или три партии продукции).

Заметим, что во множестве возможных стратегий игры G_2 представлены как стратегии сужения ассортимента (упрощение выбора для потребителей путем сокращения менее востребованной продукции,

повышение качества оставшейся продукции), так и стратегии расширения ассортимента (введение новых товаров или услуг для удовлетворения потребностей клиентов, разработка смежных продуктов для создания комплексного предложения).

Раскроем смысл полученных результатов. Стратегия A_1 , реализация которой предполагает отказ от производства продукции в рассматриваемый период, оптимальна по методу максимина. Стратегия A_1 — стратегия производства трёх партий продукции первого вида и по одной партии продукции второго и третьего видов, оптимальна по методу максимакса, а также по методу Гурвица при низком и среднем уровне пессимизма. При его повышении оптимальной становится стратегия A_2 , подразумевающая производство одной партии продукции первого

Таблица 7 (Table 7)

Расчёт показателей эффективности стратегий игры G_2 в условиях полной неопределенности
Calculation of performance indexes of game G_2 strategies under conditions of complete uncertainty

Стратегии	Методы определения оптимальных стратегий						
	Метод максимина	Метод максимакса	Метод Лапласа	Метод Гурвица			
				Показатель пессимизма			
				0,1	0,5	0,6	0,9
A_1	0	0	0	0	0	0	0
A_2	-23	40	35,2727	40	40	40	40
A_3	-45	67	20,0000	55,8	11	-0,2	-33,8
A_4	-62	109,5	34,5455	92,35	23,75	6,6	-44,85
A_5	-68	107	67,6364	89,5	19,5	2	-50,5
A_6	-107	176,5	45,1364	148,15	34,75	6,4	-78,65
A_7	-85	149,5	65,7273	126,05	32,25	8,8	-61,55
A_8	-130	216,5	85,8182	181,85	43,25	8,6	-95,35
A_9	-46	80	47,6364	67,4	17	4,4	-33,4
A_{10}	-91	147	67,7273	123,2	28	4,2	-67,2
A_{11}	-108	189,5	87,8182	159,75	40,75	11	-78,25
A_{12}	-153	256,5	98,1818	215,55	51,75	10,8	-112,05
A_{13}	-69	120	37,0909	101,1	25,5	6,6	-50,1
A_{14}	-114	187	53,0909	156,9	36,5	6,4	-83,9
A_{15}	-131	229,5	71,6364	193,45	49,25	13,2	-94,95
A_{16}	-176	296,5	87,6364	249,25	60,25	13	-128,75
Максимальное значение показателя эффективности	0	296,5	98,1818	249,25	60,25	40	40
Оптимальная стратегия	A_1	A_{16}	A_{12}	A_{16}	A_{16}	A_2	A_2

Таблица 8 (Table 8)

Данные для снижения степени неопределенности
Data to reduce uncertainty

Состояния природы	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
Количество дней	4	7	3	10	11	18	20	29
Частота	0,0162	0,0283	0,0121	0,0405	0,0445	0,0729	0,0810	0,1174
Состояния природы	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{15}	P_{16}
Количество дней	14	18	12	23	22	15	21	20
Частота	0,0567	0,0729	0,0486	0,0931	0,0891	0,0607	0,0850	0,0810

вида, отказ от производства продукции второго и третьего видов. Согласно методу Лапласа оптимальной следует признать A_{12} – стратегию производства двух партий продукции первого вида и по одной партии продукции второго и третьего видов.

В таблице 8 представлены данные для построения распределения вероятностей состояний природы, работа с которыми позволила снизить степень неопределенности. В процессе исследования рассмотрены 247 рабочих дней и 16 наблюдаемых состояний природы. Отметим, что при условии равновероятных реализаций состояния природы вероятность составляет 15,4375. Применение различных методов определения оптимальных стратегий в условиях частичной неопределенности для игры G_2 представлены в таблице 9.

Раскроем смысл полученных результатов. Во-первых, A_{12} – стратегия производства двух партий продукции первого вида и по одной партии продукции второго и третьего видов, является оптимальной по методу Байеса и по методу Ходжа-Лемана при условии низкого значения показателя недоверия к информации. Стратегия A_{10} , реализация которой подразумевает производство двух партий продукции первого вида и одной партии продукции второго вида, отказ от производства продукции третьего вида является оптимальной при средне-низких значениях показателя недоверия к информации. Стратегии A_2 – производство одной партии продукции первого вида, отказ от производства продукции второго и третьего видов и A_1 – отказ от производства продукции в рассматриваемый период оптимальны по методу Ходжа-Лемана при условии средних и высоких значений показателя недоверия к информации соответственно.

Таблица 9 (Table 9)

Расчёт показателей эффективности стратегий в условиях частичной неопределённости
Calculation of performance indexes of strategies under partial uncertainty

Стратегии	Методы определения оптимальных стратегий				
	Метод Байеса	Метод Ходжа-Лемана			
		Показатель недоверия к информации			
		0,1	0,3	0,5	0,9
A_1	0,0000	0	0	0	0
A_2	31,0729	25,6656	14,8510	4,0364	-17,5927
A_3	19,4372	12,9935	0,1061	-12,7814	-38,5563
A_4	44,2328	33,6095	12,3630	-8,8836	-51,3767
A_5	60,7652	47,8887	22,1356	-3,6174	-55,1235
A_6	56,2955	39,9660	7,3069	-25,3522	-90,6704
A_7	70,0223	54,5200	23,5156	-7,4889	-69,4978
A_8	92,4271	70,1844	25,6990	-18,7864	-107,7573
A_9	45,0567	35,9510	17,7397	-0,4717	-36,8943
A_{10}	66,1862	50,4676	19,0304	-12,4069	-75,2814
A_{11}	94,8117	74,5306	33,9682	-6,5941	-87,7188
A_{12}	106,4109	80,4698	28,5877	-23,2945	-127,0589
A_{13}	41,9514	30,8563	8,6660	-13,5243	-57,9049
A_{14}	59,0729	41,7656	7,1510	-27,4636	-96,6927
A_{15}	86,1842	64,4658	21,0289	-22,4079	-109,2816
A_{16}	103,3057	75,3751	19,5140	-36,3472	-148,0694
Максимальное значение показателя эффективности	106,4109	80,4698	33,9682	4,0364	0,0000
Оптимальная стратегия	A_{12}	A_{12}	A_{10}	A_2	A_1

Обсуждение

Несмотря на то, что возможности игрового моделирования в управлении ассортиментом продукции раскрыты в данной статье впервые, представляется возможным установить связь проведенного исследования со смежными исследованиями, касающимися игрового моделирования или подходов в области не только ассортиментной политики, но и в целом в сфере принятия различных маркетинговых решений [19]. Указанная связь может быть выражена в виде пяти наиболее важных направлений совершенствования управления ассортиментом продукции, связанных с применением количественных методов и математического моделирования (в том числе теоретико-игрового моделирования).

Направление 1. Конструирование стратегий расширения ассортимента производимой продукции путём внедрения новых товаров, а также увеличения количества предлагаемых вариантов.

Направление 2. Оптимизация стратегий предоставления ассортиментного перечня товаров с учётом анализа продаж и спроса (эконометрические методы).

Направление 3. Выявление специфики конкурентного окружения, в том числе интересов конкурентов-производителей (методы теории игр и теории принятия решений).

Направление 4. Формализация критериев для определения наиболее востребованных товаров и исключения из ассортимента менее популярных позиций (методы теории кри-

териев, многокритериальная оптимизация).

Направление 5. Обоснование плана диверсификации ассортимента производимой продукции путём создания новых продуктовых линий или реализации стратегий для расширения рынка сбыта (методы оптимизации).

Выводы

Внедрение новых технологий игрового моделирования может помочь предприятиям-производителям, выступающим с точки зрения теории игр игроками, привлечь новых потребителей, а также удерживать старых потребителей. Для повышения качества игрового моделирования управлением ассортиментом продукции целесообразно отслеживать тенденции рынка и оперативно вносить изменения в ассортимент. Основное внимание в процессе формирования ассортиментной политики предприятия должно быть уделено динамике потребностей и предпочтений потребителей. Необходимо предусмотреть анализ их поведения, своевременно выявить их предпочтения и покупательскую мотивацию. Эти действия позволят предприятию предложить продукцию, которая будет в большей степени соответствовать ожиданиям потребителей. Феномен взаимодействия может быть исследован на основе игрового моделирования – построения и анализа моделей теории игр – специального раздела экономической кибернетики, рассматривающего вопросы принятия оптимальных решений с учётом взаимодействия экономических агентов.

Теоретико-игровые методы управления ассортиментом продукции являются востребованным инструментом анализа и оптимизации товарного предложения. Построение и анализ игровых моделей (в виде антагонистических

игры, игр с природой, кооперативных игр и др.) повышают степень обоснованности решений на основе данных, учитывая разнообразие взаимодействия экономических агентов — производителей, поставщиков сырья, потребителей и т. д. В этом смысле результаты исследования коррелируют с задачами, решаемыми в исследовании управления аграрным сектором экономики с использованием статистических методов и моделей [20].

Развитие системы управления ассортиментом продукции требует совершенствования используемых в настоящее время инструментов и методов. Востребованным инструментом анализа ассортиментной политики может выступать теория игр. Игровые модели, специально создаваемые для учёта феномена взаимодействия экономических агентов и фактора неопределённости, могут в процессе формирования ассортимента продукции важно учитывать существенные потребности: потребности потребителей, потребности рынка, потребности бизнеса, а также потребности в инновациях. Представим рекомендации, разработанные по итогам проведенного исследования, учёт которых способствует раскрытию потенциала игрового моделирования в управлении ассортиментом продукции. Проведенное исследование дополнит труд авторов, занимающихся изучением проблем инноваций маркетингового управления ассортиментом [21], а также послужит основной эффективной коллаборации ведущих ученых-маркетологов страны со специалистами по математическим методам в продолжении анализа проблемы эффективного управления ассортиментом в современных турбулентных экономических условиях [22].

Рекомендация 1. «Учёт множества состояний природы».

В процессе конструирования возможных состояний природы важно предусмотреть проведение анализа спроса на производимую продукцию и выявить особенности конкурентной среды. Для обоснования наиболее перспективного вида производимой продукции следует рекомендовать формализовать динамику спроса с выявлением его сегментов, а также количественно оценить запросы потребителей и изучить стратегии, доступные для реализации конкурентам.

Рекомендация 2. «Учёт множества стратегий игрока-производителя». Для определения множества стратегий ассортимента производимой продукции важно учесть динамику спроса, определить основные направления развития продукции с учётом имеющихся ресурсов и технологий. Содержание стратегий ассортимента могут учитывать как сезонные факторы, так и тенденции рынка сбыта.

Рекомендация 3. «Учёт фактора неопределённости». Уменьшить степень неопределённости в процессе управления ассортиментом производимой продукции можно учитывая предпочтения потребителей. Применение математического моделирования, в том числе теории игр, способствует обеспечению эффективного предложения товаров и удовлетворению потребностей потребителей. Классическим приёмом снижения неопределённости является определение вероятностей реализации природой своих состояний. Кроме того, выявленные ранее особенности конкурентной среды могут определять выбор метода нахождения оптимальной стратегии.

Формирование политики в области ассортимента продукции должно учитывать стратегическое взаимодействие экономических агентов, использующих различ-

ные стратегии для управления собственной продукцией на рынке сбыта. Ассортиментная политика подразумевает обеспечение возможности выбора, повышение разнообразия и качества, а также обеспечение необходимого количества продукции, которую производитель предлагает потребителям. Среди основных факторов стратегической ассортиментной политики укажем следующие.

Фактор 1. «Ширина ассортимента» (определение количества товарных категорий).

Фактор 2. «Глубина ассортимента» (определение числа вариаций продуктов внутри каждой категории).

Кроме учтённых в рамках проведенного исследования приведенных выше двух факторов представляются значимыми следующие факторы.

Фактор 3. «Сбалансированность ассортимента предлагаемой для реализации продукции».

Фактор 4. «Управление жизненным циклом продукции».

Фактор 5. «Анализ рынка и потребностей клиентов».

Фактор 6. «Учет конкурентной среды».

Фактор 7. «Ценовая политика».

Фактор 8. «Инновации».

В качестве перспектив исследования укажем построение игровой модели управления ассортиментом продукции продвинутого уровня, в рамках которой реализован учёт сезонного обновления ассортимента (адаптация ассортимента к сезонным или праздничным потребностям потребителей для увеличения продаж и удовлетворения спроса). Научный поиск может быть продолжен в направлении учёта в игровой модели механизмов контроля качества производимой продукции и анализа партнёрских отношений производителя с поставщиками как с целью повышения качества, так и улучшения ценовой политики.

Литература

1. Сигал А.В., Бакуменко М.А., Ремесник Е.С. Рискология. М.: ИНФРА-М, 2024. 463 с.
2. Сигал А.В. Теория игр и ее экономические приложения. М.: ИНФРА-М, 2024. 418 с.
3. Власов Д.А. Введение в теорию игр. М.: ИНФРА-М, 2023. 222 с.
4. Степанов Л.В., Кольцов А.С., Десятов Д.Б. Особенности математических методов и условия их применения // Вестник Воронежского института ФСИН России. 2021. № 2. С. 101–105.
5. Михель Е.А., Зайцев А.А., Дмитриев Н.Д. Теоретико-игровой инструментарий взаимодействия предприятий в системе стратегического планирования // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 2(2). С. 218–231.
6. Зайцев А.А., Михель Е.А., Дмитриев Н.Д. Использование теоретико-игрового подхода для формирования финансовой стратегии взаимодействия предприятий // Бизнес. Образование. Право. 2020. № 3(52). С. 81–87.
7. Белозеров С.А., Соколовская Е.В. Теоретико-игровой подход к моделированию конфликта интересов: экономические санкции // Terra Economicus. 2022. Т. 20. № 1. С. 65–80.
8. Смирнов В.Д., Колокольчиков А.В. Теория игр в жизни и бизнесе // Вестник науки и образования. 2020. № 12(90). С. 30–32.
9. Залилова З.А. Анализ методик эффективного управления ассортиментом продукции // Российский электронный научный журнал. 2022. № 2(44). С. 93–104.
10. Ларин С.Н., Соколов Н.А. Оптимизация стратегий наращивания производства инновационной продукции гражданского назначения // Экономика и предпринимательство. 2020. № 3(116). С. 1003–1010.
11. Болотнова Е.А., Олейник А.Н., Матвеева А.А., Никитенко С.В. Анализ ассортимента и структуры продукции // Вестник Академии знаний. 2023. № 1(54). С. 64–68.
12. Фомин Г.П., Максимов Д.А., Сухорукова И.В. Многокритериальные методы анализа показателей продукции в управлении рисками // Экономика и управление: проблемы, решения. 2022. Т. 2. № 11(131). С. 231–238.
13. Фомин Г.П., Сухорукова И.В., Алеши-

на И.Ф. Идентификация, индикаторы и реестры рисков в торговле // Естественно-гуманитарные исследования. 2022. № 40(2). С. 287–292.

14. Власов Д.А., Синчуков А.В. Игровое моделирование производственных стратегий пекарни-булочной в условиях полной неопределенности // Инновации и инвестиции. 2024. № 7. С. 512–517.

15. Argenzian Rossella & Gilboa Itzhak. Similarity Nash Equilibria in Statistical Games // American Economic Journal: Microeconomics. 2023. № 15. С. 354–386. 10.1257/mic.20220049.

16. Mackey E & Elliot Mark. An Application of Game Theory to Understanding Statistical Disclosure Events. 2023.

17. Ozpeynirci Ozgur & Özpeynirci Selin & Mousseau Vincent. A decomposition based minimax regret approach for inverse multiple criteria sorting problem. 2022. № 4OR. DOI: 10.1007/s10288-022-00505-5.

18. Naeve Jörg & Naeve Jorg. Maximax, leximax, and the demanding criterion // Mathematical Social Sciences. 2000. № 40. С. 313–325. DOI: 10.1016/S0165-4896(99)00052-9.

19. Баяк О.А., Денежкина И.Е., Задаев С.А. Применение многокритериальной оптимизации для принятия маркетинговых решений // Научные труды Вольного экономического общества России. 2014. Т. 188. С. 13–17.

20. Дарда Е.С., Степанов С.С. Анализ дифференциации производства основных видов продукции животноводства по различным группам производителей в системе управления аграрным сектором экономики России // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 2. С. 421.

21. Козлова О.А., Нечаева Е.В. Инновации в системе маркетингового управления товарным ассортиментом предприятия // Маркетинг и маркетинговые исследования. 2011. № 4. С. 310–318.

22. Просвиркин Б.Л., Бекетов А.Н. Управление товарным ассортиментом как важнейший элемент маркетинга торгового предприятия (некоторые аспекты зарубежного опыта и теории проблемы) // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2013. № 2(56). С. 72–80.

References

1. Ukaz Prezidenta RF “O natsional’nykh tselyakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2036 goda” ot 07.05.2024 № 309 = Decree of the President of the Russian Federation “On the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030 and for the future up to 2036” dated 07.05.2024 No. 309 [Internet]. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_475991/. (In Russ.)

2. Ayvazyan S.A. Analiz kachestva i obraza zhizni naseleniya. Tsentral’nyy ekonomiko-matematicheskii inctitut RAN = Analysis of the quality and way of life of the population. Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences. Moscow: Science; 2012. 432 p. (In Russ.)

3. Delis M.D., Mylonidis N. Trust, happiness, and households’ financial decisions. Journal of Financial Stability. 2015; 20: 82–92. DOI: 10.1016/j.jfs.2015.08.002.

4. Lane T. How does happiness relate to economic behavior? A review of the literature. *Journal of Behavioral and Experimental Economics*. 2017; 68: 62-78. DOI: 10.1016/j.socec.2017.04.001.
5. Rao Y., Mei L. & Zhu R. Happiness and Stock-Market Participation: Empirical Evidence from China. *Journal of Happiness Studies*. 2016; 17(1); 271-293. DOI: 10.1007/s10902-014-9594-4.
6. Glotov V.I., Bakhtizin A.R., Volkova M.I. Social tension in the subjects of the Russian Federation. Analysis of causes and consequences. *Federalizm = Federalism*. 2019; (4): 142-160. (In Russ.)
7. Arshakyan R.A., Mironenkova M.V. Analysis of factors influencing the excess return of mutual investment funds in Russia for 2015-2022. *Finansy i upravleniye = Finance and Management*. 2023; 4: 33-47. DOI: 10.25136/2409-7802.2023.4.41027. (In Russ.)
8. Klimonova A. N. Welfare of the population as a target guideline for state activities: essence, elements, factors of welfare. *Sotsial'no-ekonomicheskiye yavleniya i protsessy = Socio-economic phenomena and processes*. 2016: 12. (In Russ.)
9. Ayvazyan S.A. Empirical analysis of synthetic categories of the quality of life of the population. *Ekonomika i matematicheskiye metody = Economics and mathematical methods*. 2003; 39; 3: 19-53. (In Russ.)
10. Kuchiyeva M.V., Salbiyeva V. L. Quality of life of the population: criteria and assessment. *Simvol nauki = Symbol of science*. 2015: 11-1. (In Russ.)
11. Nayden S.N., Belousova A.V. Methodological tools for assessing the well-being of the population: interregional comparison. *Ekonomika regiona = Economy of the region*. 2018; 14; 1: 53-68. (In Russ.)
12. Saati T. Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy = Decision making. Hierarchy analysis method. Moscow: Radio and communication; 1993. (In Russ.)
13. Pavlova M.S., Alekseyeva O.L., Talanova N.V. Transformation of population savings into investments as the most important direction of development of the Russian financial market. *Vestnik Rossiyskogo universiteta kooperatsii = Bulletin of the Russian University of Cooperation*. 2018; 1(31): 47-50. (In Russ.)
14. Ayvazyan S.A., Isakin M.A. Integral indicators of the quality of life of the regional population as criteria for the effectiveness of socio-economic policies pursued by regional authorities. *Prikladnaya ekonometrika = Applied Econometrics*. 2006: 1. (In Russ.)
15. Ayvazyan S.A. On the methodology of measuring synthetic categories of the quality of life of the population. *Ekonomika i matematicheskiye metody (EMM). Tsentral'nyy Ekonomiko-Matematicheskiiy Institut (TSEMI) = Economics and Mathematical Methods (EMM). Central Economics and Mathematics Institute (CEMI)*. 2003: 39(2). (In Russ.)
16. Sadovnikova Yu.Yu., Timeychuk L.N. Quality of the population as the most important component of the socio-economic development of the territory. *Gosudarstvennoye i munitsipal'noye upravleniye. Uchenyye zapiski = State and municipal administration. Scientific notes*. 2018: 4. (In Russ.)
17. Bakumenko L.P., Sarycheva T.V., Ignasheva T.A., Mkhitarian V.S. A statistical approach to life quality analysis. *Mediterranean Journal of Social Sciences = Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2015; 6; 3: 79-90.
18. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki (Rosstat) = Federal State Statistics Service (Rosstat) [Internet]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/>. (In Russ.)
19. Volkova M.I. Comparison of objectivist and subjectivist approaches to measuring synthetic latent categories of quality of life of the population: results of empirical analysis of Russian data. *Prikladnaya ekonometrika = Applied Econometrics*. 2010: 3(19). (In Russ.)
20. Afanasiev M., Kudrov A. Integrated Indicator of the Living Quality Conditions. *Montenegrin Journal of Economics = Montenegrin Journal of Economics*. 2019; 14; 3: 7-21.
21. Prikaz Rosstandarta "Izmeneniye 1/2015 OKVED2 Obshcherossiyskiy klassifikator vidov ekonomicheskoy deyatel'nosti OK 029-2014 (KDES Red. 2)" ot 26.05.2015 №423-st = Order of Rosstandart "Amendment 1/2015 OKVED2 All-Russian Classifier of Economic Activities OK 029-2014 (KDES Rev. 2)" dated 05/26/2015 No. 423-st [Internet]. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_186678/797205f7fe59dfbfd428d026f3f8e0e80b2ffc9f/. (In Russ.)

Сведения об авторах

Дмитрий Анатольевич Власов

К.п.н., доцент, доцент кафедры математических методов в экономике

*Российский экономический университет
им. Г.В. Плеханова,
Москва, Россия*

Петр Александрович Карасев

К.э.н., доцент кафедры высшей математики

*Российский экономический университет
им. Г.В. Плеханова,
Москва, Россия*

Александр Валерьевич Синчуков

К.п.н., доцент кафедры математики

*Финансовый университет при Правительстве
Российской Федерации,
Москва, Россия*

Information about the authors

Dmitry Anatolyevich Vlasov

*Cand. Sci. (Pedagogical), Associate Professor,
Associate Professor of Mathematical Methods in
Economics,*

*Plekhanov Russian University of Economics,
Moscow, Russia*

Peter Alexandrovich Karasev

*Cand. Sci. (Economics), Associate Professor of the
Department of Higher Mathematics*

*Plekhanov Russian University of Economics,
Moscow, Russia*

Alexander Valerievich Sinchukov

*Cand. Sci. (Pedagogical), Associate Professor of the
Department of Mathematics*

*Financial University under the Government of the
Russian Federation, Moscow, Russia*



Применение пространственного эконометрического анализа для оценки конвергенции бюджетных доходов регионов России

Цель исследования. В рамках настоящего исследования внимание сосредоточено на оценке конвергенции с использованием бюджетных доходов регионов России на душу населения в качестве ключевого показателя. В настоящее время исследования в области экономического роста и макроэкономики остаются в центре внимания научного сообщества и государственных органов, так как они играют ключевую роль в формировании стратегий развития регионов и стран в целом. В этом контексте одним из существенных аспектов является оценка конвергенции, то есть процесса сближения экономических показателей между различными регионами.

Материалы и методы. В исследовании рассматриваются ключевые методы и модели пространственного эконометрического анализа, такие как безусловная конвергенция, глобальные индексы Морана и др. Большое внимание уделяется интерпретации и формированию экономически обоснованных выводов по полученным результатам эконометрического моделирования.

Результаты. Настоящая статья посвящена применению пространственного эконометрического анализа в контексте исследования дифференциации экономического развития регионов России. Пространственный регрессионный анализ представляет собой инструмент для изучения взаимосвязей между различными экономическими переменными в различных географических областях, учитывая при этом различные зависимости и пространственную автокорреляцию.

Заключение. Результаты исследования имеют эмпирическую значимость для принятия политических и экономических решений на региональном и национальном уровнях. Статья предоставляет важный вклад в методологию эконометрического анализа в макроэкономике, расширяя понимание взаимосвязей между экономическими переменными в различных географических областях.

Ключевые слова: пространственный регрессионный анализ, прикладная макроэкономика, экономический рост.

Dmitry A. Patlasov

Perm State National Research University, Perm, Russia

Application of Spatial Econometric Analysis to Assess the Convergence of Budget Revenues of Russian Regions

Purpose of the study. Within the framework of this study, attention is focused on the assessment of convergence using the budget revenues of the regions of Russia per capita as a key index. Currently, research in the field of economic growth and macroeconomics remains in the center of attention of the scientific community and government agencies, as they play a key role in shaping the development strategies of regions and countries as a whole. In this context, one of the essential aspects is the assessment of convergence, that is, the process of convergence of economic indexes between different regions.

Materials and methods. The study examines key methods and models of spatial econometric analysis, such as unconditional convergence, global Moran indexes, etc. Much attention is paid to the interpretation and formation of economically sound conclusions based on the results of econometric modeling.

Results. This article is devoted to the application of spatial econometric analysis in the context of the study of differentiation of economic development of Russian regions. Spatial regression analysis is a tool for studying the relationships between various economic variables in various geographical areas, while considering various dependencies and spatial autocorrelation.

Conclusion. The results of the study have empirical significance for political and economic decision-making at the regional and national levels. The article provides an important contribution to the methodology of econometric analysis in macroeconomics, expanding the understanding of the relationships between economic variables in various geographical areas.

Keywords: spatial regression analysis, applied macroeconomics, economic growth.

Введение

Анализ конвергенции позволяет понять, происходит ли сближение доходов и экономических показателей между регионами, что имеет важное значение для оценки социально-экономической устойчивости и развития страны.

Данный исследовательский подход не только способствует более глубокому пониманию процессов, происходящих в экономике регионов, но и может служить основой для разработки более эффективных стратегий государственного управления и регионального развития. Анализ бюджетных доходов населения в различных регионах позволяет выявить тенденции и закономерности, которые могут содействовать более устойчивому и сбалансированному развитию российской экономики.

Вопросом анализа и модернизации модели экономического роста Солоу занимались многие отечественные и зарубежные ученые. Регрессионный анализ с помощью модели конвергенции находит отражение, например, в исследовании локализации и диверсификации отраслей Российской экономики, результат исследования отражает, что концентрация крупных отраслей в экономиках субъектов РФ создают позитивные внешние эффекты для развития малых и микропредприятий, положительно влияя на их финансовую устойчивость (Зюзин А.В., Демидова О.А., Долгопятова Т.Г., 2023). Также в другой работе исследуется межрегиональное неравенство, по результатам исследования наблюдается, что перераспределительные инициативы федерального бюджета не оказывали значительного влияния на экономическое и социальное неравенство в РФ, оценка была произведена с помощью β - и σ -конвергенции (Коломак Е.А., 2010). Также в исследовании сходимости

между субъектами РФ отмечается, что в большей части российских регионов расстояние между средним значением ВРП на душу населения и стационарным состоянием может сократиться в 1,5 раза через 20–25 лет и в 2 раза – примерно через 40 лет. Дифференциация экономического развития регионов в отдаленной перспективе будет оставаться достаточно большой, распределение ВРП на душу населения концентрируется в области ниже среднего значения (Лавровский Б.Л., Шильцин Е.А., 2009). В рамках исследования выборочных федеральных округов России с помощью модели конвергенции применительно к Центральному федеральному округу отражает наличие межрегиональной дифференциации, при этом в динамике ее уровень меняется и увеличивается диапазон между наибольшими и наименьшими значениями (Положенцева Ю.С., Вертакова Ю.В., Самохвалова М.С., 2018).

Среди важных факторов или компенсационных эффектов сходимости регионов РФ отмечается следующее: перераспределительные, инфляционные (стоимость жизни) и эрозийные доходы (внутрирегиональное неравенство) (Малкина М.Ю., 2017). При детальном рассмотрении зависимости бюджетных различий регионов РФ стоит заметить, уровень межрегиональных различий в бюджетной сфере значительно увеличивается на стадии сбора налогов, вследствие выявленной экономической прогрессивности налогообложения в региональном разрезе. Однако связь между уровнем налоговой нагрузки в регионах и ВРП на душу населения со временем ослабевает. Снижается уровень межрегиональных различий в бюджетной сфере так как федеральный бюджет в основном равномерно распределяет налоги между регионами. Сближение регионов

по показателю бюджетной обеспеченности после 2007 г. существенно замедлилось так как снизилась доля выравнивающих трансфертов и увеличились региональные субсидии на финансирование инвестиционных проектов, которые нередко получают вполне обеспеченные регионы (Малкина М.Ю., 2016).

Регрессионный анализ межбюджетных трансфертов по модели условной конвергенции на основе неоклассической теории роста и модели эффектов региональной фискальной структуры на экономический рост являются инструментом выравнивания бюджетной обеспеченности регионов, но не вносят положительного вклада в сокращение межрегиональной дифференциации среднедушевых ВРП. Значимо на региональный рост влияют собственные источники доходов территориальных бюджетов (Исаев А. Г., 2016).

Немаловажно отметить, что внедрение системы консолидированных групп налогоплательщиков в 2011 г. отрицательно сказалось на доходах региональных бюджетов. В особенности это повлияло на регионы, основными налогоплательщиками которых были крупные металлургические и нефтегазовые компании (Ильин В.А., Поварова А.И., 2017).

В качестве дополнения и модификации модели конвергенции наблюдается использование индекса Тейла в пространственном анализе. Данный метод анализа применяется для оценки процессов перемещения ресурсов из периферии в центр, из регионов добывающих в регионы обрабатывающие. Наблюдается перемещение ресурсов с востока на запад, из «периферии» в «центр» и из добывающих в обрабатывающие регионы. Темпы данных процессов не очень высокие, и можно говорить, скорее, об эволюции

онной динамике. Однако при существующем уровне межрегиональных различий продолжение данных тенденций создаст проблемы связности и интегрированности пространства страны (Коломак Е.А., 2019). Таким образом, был представлен литературный обзор по теме исследования.

Основную часть доходов консолидированного бюджета субъектов Российской Федерации составляют налоги. Поэтому, в рамках данного исследования в качестве анализируемых показателей были выбраны налоговые доходы в бюджетную систему регионов России, и, в частности, налоговые доходы региональных бюджетов от таких видов экономической деятельности, как добыча полезных ископаемых и обрабатывающая промышленность.

В итоговую выборку были включены значения вышеперечисленных показателей по 83 регионам России в период с 2010 по 2023 гг. Статистика данных была взята с сайта государственной информационной системы «ЕМИСС».

Анализ конвергенции необходимо начать с приведения рассматриваемых показателей к сопоставимым единицам. Для достижения этой цели были сформированы скорректированные ряды налоговых доходов регионов России, на-

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	82
Model	.000091127	1	.000091127	F(1, 80)	=	0.10
Residual	.071199177	80	.00088999	Prob > F	=	0.7498
				R-squared	=	0.0013
				Adj R-squared	=	-0.0112
Total	.071290303	81	.000880127	Root MSE	=	.02983

yg	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]
xg	.0011488	.0035902	0.32	0.750	-.0059959 .0082936
_cons	.0899619	.012745	7.06	0.000	.0645985 .1153252

Рис. 1. Оценки регрессионной модели
Fig. 1. Estimates of the regression model

логовые поступления субъектов РФ от добычи полезных ископаемых и от деятельности обрабатывающих производств на душу населения. Данные о численности постоянного населения были также взяты с сайта «ЕМИСС».

Результаты исследования

Анализ конвергенции по показателю: Налоговые доходы субъектов РФ на душу населения, тыс. руб./чел.

Оценка безусловной β -конвергенции и ее скорости

Результаты оценивания модели безусловной конвергенции субъектов России по показателю: налоговые доходы региональных бюджетов на душу населения в период с 2010 по 2023 гг. представлены на рисунке 1. Для подтверждения

гипотезы о наличии безусловной β -конвергенции построенное регрессионное уравнение должно быть статистически значимым. Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что коэффициент β незначим на уровне значимости 0,05, поскольку $P > |t| = 0,75$, что меньше заданного уровня значимости. Это отвергает гипотезу о наличии безусловной β -конвергенции изучаемого показателя.

Индексы Морана устойчиво положительны и значимы. Однако, наибольшие значения были получены при использовании матрицы расстояний, что позволяет сделать вывод о том, что распределение налоговых доходов субъектов РФ, в большей мере, объясняется расстоянием между административными центрами регионов.

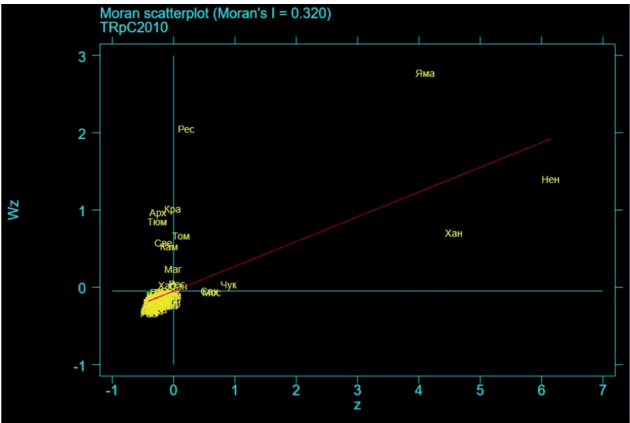


Рис. 2. Пространственная диаграмма рассеивания локального индекса Морана в 2010 г.
Fig. 2. Spatial dispersion diagram of the local Moran index in 2010

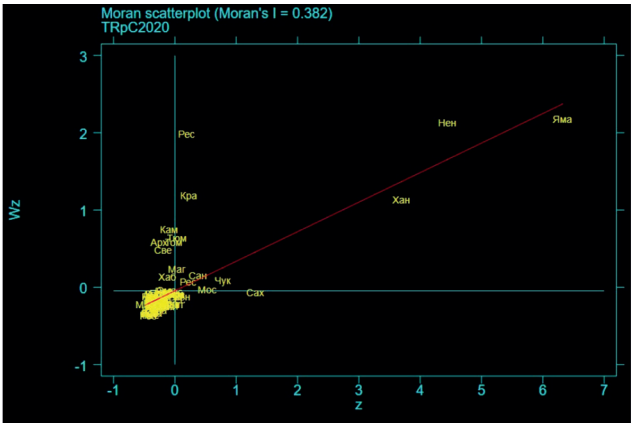


Рис. 3. Пространственная диаграмма рассеивания локального индекса Морана в 2023 г.
Fig. 3. Spatial dispersion diagram of the local Moran index in 2023



Рис. 4. Кластеры регионов РФ, выявленные на основе глобального индекса Морана (налоговые доходы на душу населения, тыс. руб/чел)

Fig. 4. Clusters of Russian regions identified on the basis of the global Moran index (tax revenues per capita, thousand rubles/person)

Далее, были рассчитан локальный индекс Морана на основе матрицы соседства для 2010 и 2023 годов (рисунки 2, 3). Анализируя диаграммы рассеивания, можно сказать, что наблюдается клубная конвергенция. Построенные диаграммы позволяют разбить все регионы РФ на 4 группы по координатным четвертям. Наибольшее количество регионов попало в третью координатную четверть (LL), это говорит о том, что субъекты с низкими значениями изучаемого признака находятся в окружении субъектов также с низкими значениями изучаемого признака. Регионами-аутсайдерами и в 2010, и в 2023 годы являются Ямало-Ненецкий, Ханты-Мансийский и Ненецкий автономные округа.

Оценка условной β -конвергенции и ее скорость по каждой из четырех групп регионов, полученных путем деления регионов России согласно пространственной диаграмме рассеяния.

Как уже отмечалось выше, пространственная диаграмма рассеивания позволяет разбить

все субъекты России на 4 квадранта (рисунок 4), где:

- первая координатная четверть (HH) отражает кластеризацию субъектов с высокими значениями изучаемого признака в окружении субъектов с высокими значениями изучаемого признака;
- вторая координатная четверть (LL) отражает кластеризацию субъектов с низкими значениями изучаемого признака в окружении субъектов с низкими значениями изучаемого признака;
- третья координатная четверть (LH) отражает кластеризацию субъектов с низкими значениями изучаемого признака в окружении субъектов с

высокими значениями изучаемого признака;

- четвертая координатная четверть (HL) отражает кластеризацию субъектов с высокими значениями изучаемого признака в окружении субъектов с низкими значениями изучаемого признака.

Результаты оценивания модели условной конвергенции субъектов России по каждой из четырех групп представлены на рисунке 5.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что налоговые доходы региональных бюджетов от добычи полезных ископаемых на душу населения имеют тенденцию к сближению только среди регионов,

Variable	hh	ll	lh	hl
xg	-.02276168*	.00045258	-.02926683*	-.03152063
_cons	.22298992***	.08756997***	.19706406**	.25531235
N	10	61	5	6
r2	.50861559	.00008951	.82568014	.34163389
r2_a	.44719254	-.01685812	.76757353	.17704236

Legend: * p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001

Рис. 5. Оценки регрессионной модели

Fig. 5. Estimates of the regression model

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	79
Model	.068470957	1	.068470957	F(1, 77)	=	4.62
Residual	1.14048374	77	.014811477	Prob > F	=	0.0347
				R-squared	=	0.0566
				Adj R-squared	=	0.0444
Total	1.2089547	78	.015499419	Root MSE	=	.1217

yg	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
xg	-.0109153	.0050767	-2.15	0.035	-.0210243	-.0008063
_cons	.1027468	.013693	7.50	0.000	.0754806	.1300131

Рис. 6. Оценки регрессионной модели
Fig. 6. Estimates of the regression model

которые имеют высокие значения изучаемого признака, и находятся в окружении субъектов либо с высокими значениями изучаемого признака (high-high, 5%), либо в окружении регионов с низкими значениями показателя (low-high, 5%).

Во первую координатную четверть (НН) попали 10 регионов РФ. Отрицательный знак при коэффициенте β ($\beta = -0,02276$) свидетельствует о наличии условной β -конвергенции изучаемого показателя. Скорость конвергенции составила 0,0203 или 2,3% в год. Это означает, что при сохранении сложившейся за период с 2010 по 2023 гг. тенденции к сближению налоговых доходов регионов от добычи ПИ, межрегиональные различия уровня данного показателя по группе сократятся вдвое через $hl = 70/\lambda = 70/0,0203 \approx 3446$ года.

В третью координатную четверть (НЛ) попали 5 регионов РФ. В данной группе также коэффициент β ($\beta = -0,02927$) с отрицательным знаком, что подтверждает наличие условной β -конвергенции изучаемого показателя. Скорость конвергенции составила 0,0254 или 2,54% в год. Это означает, что при сохранении сложившейся за период с 2010 по 2023 гг. тенденции к сближению налоговых доходов регионов от добычи ПИ, межрегиональные различия уровня данного показателя по группе сокра-

тятся вдвое через $hl = 70/\lambda = 70/0,0254 \approx 2759$ лет.

Таким образом, статистически значимая условная β -конвергенция налоговых доходов регионов России наблюдается в квадрантах НН и ЛН, однако скорость сближения в данных плоскостях крайне низкая.

Анализ конвергенции по показателю: Налоговые доходы региональных бюджетов от добычи полезных ископаемых на душу населения, тыс. руб/чел.

Оценка безусловной β -конвергенции и ее скорости.

Результаты оценивания модели безусловной конвергенции субъектов России по показателю: налоговые доходы региональных бюджетов от добычи полезных ископаемых на душу населения в период с 2010 по 2023 гг. представлены на рисунке 6. Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что коэффициент β значим на уровне значимости 0,05, поскольку $P > |t| = 0,035$, что меньше заданного уровня значимости. Это позволяет принять гипотезу о наличии безусловной β -конвергенции изучаемого показателя.

Используя полученный статистически значимый коэффициент, мы посчитали скорость β -конвергенции, которая составила 0,0717 или 7,17% в год. Это означает, что при сохранении сложившейся за период с 2010 по 2023 гг. тенденции к

сближению налоговых доходов от добычи полезных ископаемых, межрегиональные различия уровня данного показателя сократятся вдвое через $hl = 70/\lambda = 70/0,0717 \approx 976$ лет. Таким образом, модель безусловной β -конвергенции несмотря на ее формальную статистическую значимость характеризуется весьма низкой скоростью процесса сходимости.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что индексы Морана устойчиво положительны и значимы. Однако, наибольшие значения были получены при использовании матрицы соседства, что позволяет сделать вывод о том, что распределение налоговых доходов субъектов РФ от добычи полезных ископаемых, в большей мере, объясняется ближайшими «соседями» региона.

Далее, были рассчитан локальный индекс Морана на основе матрицы соседства для 2010 и 2023 годов (рисунки 7, 8). Анализируя диаграммы рассеивания, можно сказать, что наблюдается клубная конвергенция. Построенные диаграммы позволяют разбить все регионы РФ на 4 группы по координатным четвертям. Наибольшее количество регионов попало во вторую координатную четверть (ЛЛ), это говорит о том, что субъекты с низкими значениями изучаемого признака находятся в окружении субъектов также с низкими значениями изучаемого признака. Регионами-аутсайдерами и в 2010, и в 2023 годы являются Ямало-Ненецкий, Ханты-Мансийский и Ненецкий автономные округа, что не удивительно, поскольку данные регионы — лидеры по добычи нефти в России, а, следовательно, доходы субъектов от НДПИ самые высокие в стране.

Оценка условной β -конвергенции и ее скорость по каждой из четырех групп регионов, полученных путем

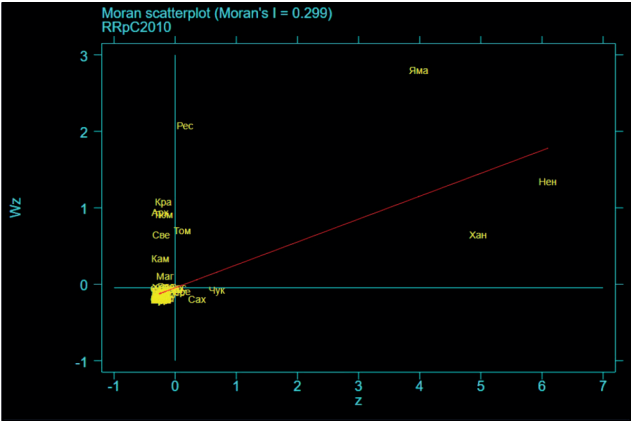


Рис. 7. Пространственная диаграмма рассеивания локального индекса Морана в 2010 г.
Fig. 7. Spatial dispersion diagram of the local Moran index in 2010

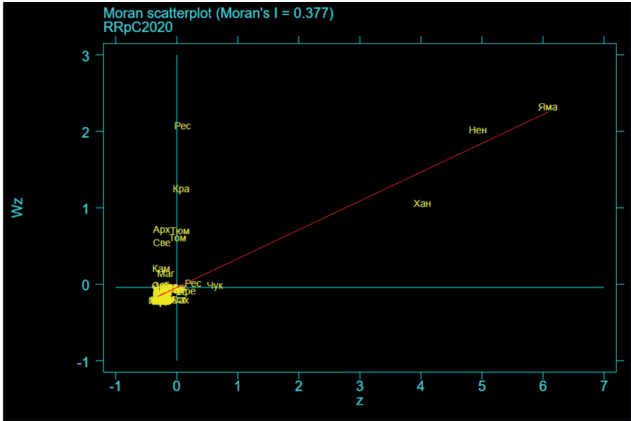


Рис. 8. Пространственная диаграмма рассеивания локального индекса Морана в 2023 г.
Fig.8. Spatial dispersion diagram of the local Moran index in 2023



Рис. 9. Кластеры регионов РФ, выявленные на основе глобального индекса Морана (налоговые доходы от добычи полезных ископаемых на душу населения, тыс. руб/чел)
Fig. 9. Clusters of Russian regions identified on the basis of the global Moran index (tax revenues from mineral extraction per capita, thousand rubles/person)

разделения регионов России согласно пространственной диаграмме рассеивания. Как уже отмечалось выше, пространственная диаграмма рассеивания позволяет разбить все субъекты России на 4 квадранта (рисунок 9). Результаты оценивания модели условной конвергенции субъектов России по каждой из четырёх групп представлены на рисунке 10. Полученные результаты свидетельствуют о том, что налоговые доходы региональных бюджетов от добычи полезных

ископаемых на душу населения имеют тенденцию к сближению только среди регионов, которые либо почти не имеют таковых доходов (low-low, 1%), либо среди регионов имеющих высокие доходы от добычи полезных ископаемых, но окру-

Variable	hh	ll	lh	hl
xg	-.03401319	-.02121061**	-.07315934	-.07888726***
_cons	.28650336**	.07178756***	.11720332	.40397748***
N	7	61	4	7
r2	.56830732	.14187726	.65327479	.90420081
r2_a	.48196878	.12733281	.47991218	.88504097

Legend: * p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001

Рис. 10. Оценки регрессионной модели
Fig. 10. Estimates of the regression model

жены регионами без таковых доходов (high-low, 0.1%).

Во вторую координатную четверть (LL) попали 65 регионов РФ. Отрицательный знак при коэффициенте β ($\beta = -0,02121$) свидетельствует о наличии условной β -конвергенции изучаемого показателя. Скорость конвергенции составила 0,019 или 1,9% в год. Это означает, что при сохранении сложившейся за период с 2010 по 2023 гг. тенденции к сближению налоговых доходов регионов от добычи ПИ, межрегиональные различия уровня данного показателя по группе сократятся вдвое через $hl = 70/\lambda = 70/0,019 \approx 3672$ года.

В четвертую координатную четверть (HL) попали 7 регионов РФ. В данной группе также коэффициент β ($\beta = -0,0789$) с отрицательным знаком, что подтверждает наличие условной β -конвергенции изучаемого показателя. Скорость конвергенции составила 0,0568 или 5,68% в год. Это означает, что при сохранении сложившейся за период с 2010 по 2023 гг. тенденции к сближению налоговых доходов регионов от добычи ПИ, межрегиональные различия уровня данного показателя по группе сократятся вдвое через $hl = 70/\lambda = 70/0,0568 \approx 1232$ года.

Таким образом, статистически значимая условная β -кон-

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	79
Model	.068470957	1	.068470957	F(1, 77)	=	4.62
Residual	1.14048374	77	.014811477	Prob > F	=	0.0347
				R-squared	=	0.0566
				Adj R-squared	=	0.0444
Total	1.2089547	78	.015499419	Root MSE	=	.1217

yg	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
xg	-.0109153	.0050767	-2.15	0.035	-.0210243	-.0008063
_cons	.1027468	.013693	7.50	0.000	.0754806	.1300131

Рис. 11. Оценки регрессионной модели
Fig. 11. Estimates of the regression model

вергенция средних налоговых доходов регионов России от добычи ПИ наблюдается в квадрантах LL и HL, однако скорость сближения в данных плоскостях крайне низкая.

Анализ конвергенции по показателю: **Налоговые доходы региональных бюджетов от деятельности обрабатывающих производств на душу населения, тыс. руб/чел.**

Оценка безусловной β -конвергенции и ее скорости

Результаты оценивания модели безусловной конвергенции субъектов России по показателю: налоговые доходы региональных бюджетов от деятельности обрабатывающих производств на душу населения в период с 2010 по 2023 гг. представлены на ри-

сунке 11. Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что коэффициент β незначим на уровне значимости 0,05, поскольку $P > |\lambda| = 0,534$, что больше заданного уровня значимости. Это отвергает гипотезу о наличии безусловной β -конвергенции изучаемого показателя.

Индексы Морана устойчиво положительны и значимы. Однако, наибольшие значения были получены при использовании матрицы расстояний, что позволяет сделать вывод о том, что распределение налоговых доходов субъектов РФ от обрабатывающей промышленности, в большей мере, объясняется расстоянием между административными центрами регионов.

Далее, были рассчитан локальный индекс Морана на основе матрицы расстояний

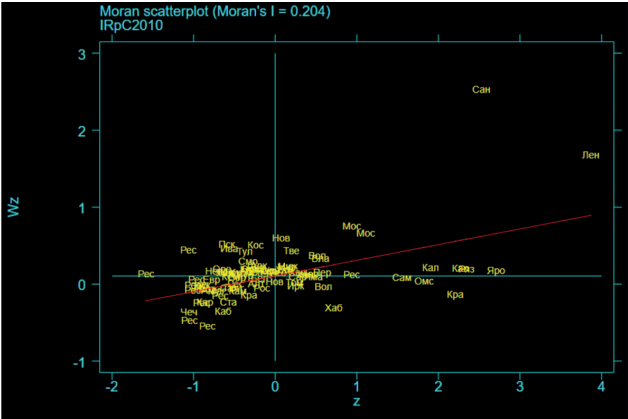


Рис. 12. Пространственная диаграмма рассеивания локального индекса Морана в 2010 г.
Fig.12. Spatial dispersion diagram of the local Moran index in 2010

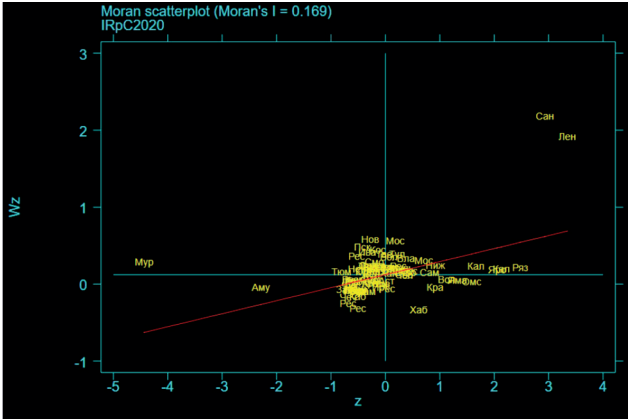


Рис. 13. Пространственная диаграмма рассеивания локального индекса Морана в 2023 г.
Fig.13. Spatial dispersion diagram of the local Moran index in 2023



Рис. 14. Кластеры регионов РФ, выявленные на основе глобального индекса Морана (налоговые доходы от обрабатывающей промышленности на душу населения, тыс. руб/чел)

Fig. 14. Clusters of Russian regions identified on the basis of the global Moran index (tax revenues from manufacturing industry per capita, thousand rubles/person)

для 2010 и 2023 годов (рисунки 12, 13). Анализируя диаграммы рассеивания, можно сказать, что наблюдается клубная конвергенция. Регионами-аутсайдерами и в 2010, и в 2023 годы являются Ленинградская область и г. Санкт-Петербург. В 2023 году этот список дополнила Мурманская область.

Оценка условной β -конвергенции и ее скорость по каждой из четырех групп регионов, полученных путем разделения регионов России согласно пространственной диаграмме рассеяния.

Как уже отмечалось выше, пространственная диаграмма рассеивания позволяет разбить все субъекты России на 4 квадранта (рисунок 14).

Результаты оценивания модели условной конвергенции субъектов России по каждой из четырех групп представлены на рисунке 15.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что налоговые доходы региональных бюджетов от деятельности обрабатывающих производств на душу населения имеют тенденцию к сближению во всех 4 квадрантах.

В первую координатную четверть (НН) попали 23 региона РФ. Отрицательный знак при коэффициенте β ($\beta = -0,03736$) свидетельствует о наличии условной β -конвергенции изучаемого показателя. Скорость конвергенции составила 0,0313 или 3,13% в год. Это означает, что при сохранении сложившейся за период с 2010 по 2023 гг. тенденции к сближению налоговых доходов регионов от обрабатывающей промышленности, межрегиональные различия уровня данного показателя по группе сократятся вдвое через $hl \approx 2236$ года.

Во вторую координатную четверть (ЛЛ) попали 30 регионов РФ. Отрицательный

знак при коэффициенте β ($\beta = -0,02$) свидетельствует о наличии условной β -конвергенции изучаемого показателя. Скорость конвергенции составила 0,018 или 1,8% в год. Это означает, что при сохранении сложившейся за период с 2010 по 2023 гг. тенденции к сближению налоговых доходов регионов от добычи ПИ, межрегиональные различия уровня данного показателя по группе сократятся вдвое через $hl \approx 3870$ года.

В третью координатную четверть (ЛН) попали 21 регион РФ. Отрицательный знак при коэффициенте β ($\beta = -0,0397$) свидетельствует о наличии условной β -конвергенции изучаемого показателя. Скорость

Variable	hh	ll	lh	hl
xg	-.03736415**	-.02000946*	-.03967787*	-.04003585*
_cons	.21889487***	.09588807***	.15395996***	.22703344***
N	23	25	20	9
r2	.3301474	.23534669	.26714417	.58741525
r2_a	.29824966	.20210089	.22642995	.52847458

Legend: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

Рис. 15. Оценки регрессионной модели

Fig.15. Estimates of the regression model

конвергенции составила 0,0329 или 3,29% в год. Это означает, что при сохранении сложившейся за период с 2010 по 2023 гг. тенденции к сближению налоговых доходов регионов от обрабатывающей промышленности, межрегиональные различия уровня данного показателя по группе сократятся вдвое через $hl \approx 2126$ года.

В четвертую координатную четверть (HL) попали 9 регионов РФ. В данной группе также коэффициент β ($\beta = -0,04$ с отрицательным знаком, что подтверждает наличие условной β -конвергенции изучаемого показателя. Скорость конвергенции составила 0,033 или 3,3% в год. Это означает, что при сохранении сложившейся за период с 2010 по 2023 гг. тенденции к сближению налоговых доходов регионов от добычи ПИ, межрегиональные различия уровня данного показателя по группе сократятся вдвое через $hl = 70/\lambda = 70/0,019 \approx 2110$ лет.

Таким образом, статистически значимая условная β -конвергенция средних налоговых доходов регионов России от деятельности обрабатывающих производств на душу населения наблюдается в каждом квадранте, однако скорость сближения в данных плоскостях крайне низкая.

Заключение

В ходе данного исследования динамики характеристик бюджетной политики были по-

лучены следующие результаты.

Анализ налоговых доходов субъектов РФ на душу населения показал незначимость показателя на 5% уровне, что говорит об отсутствии абсолютной β -конвергенции. Однако, в ходе исследования, была обнаружена относительная конвергенция налоговых доходов. Условная β -конвергенция наблюдается среди регионов с высокими значениями показателя, которые находятся в окружении субъектов либо с высокими (high-high), либо с низкими значениями изучаемого показателя (low-high).

Далее, были рассмотрены налоговые доходы региональных бюджетов от добычи полезных ископаемых на душу населения. Проверка гипотезы о наличии безусловной β -конвергенции, в силу статистической значимости показателя позволил сделать вывод о наличии тенденции к выравниванию налоговых доходов региональных бюджетов от добычи полезных ископаемых в различных субъектах РФ. Такое сближение происходит крайне медленно: при сохранении текущей скорости процесса межрегиональные различия сократятся вдвое приблизительно через 976 лет. Проверка гипотезы о наличии условной β -конвергенции дала худший результат по сравнению с гипотезой о наличии безусловной β -конвергенции. Несмотря на значимость соответствующих уравнений регрессии для регионов квадрантов LL и HL,

скорость сближения уровней показателя настолько мала, что сокращение разрыва вдвое следует ожидать приблизительно через 3672 и 1232 года.

Далее, при анализе налоговых поступлений субъектов РФ от деятельности обрабатывающих производств на душу населения, ввиду незначимости β показателя, была отвергнута гипотеза о наличии безусловной конвергенции. Расчет коэффициента Морана позволил установить наличие положительной пространственной корреляции изучаемого признака, т. е. территориально близкие регионы более подобны друг другу по уровню налоговых доходов от обрабатывающей промышленности, чем территориально отдаленные. Далее, при проверке гипотезы о наличии условной β -конвергенции, была выявлена относительная конвергенция во всех четырех квадрантах. Несмотря на значимость соответствующих уравнений регрессии для регионов квадрантов HH, LL, HL, LH скорость сближения уровней показателя крайне низкая.

Таким образом, исходя из полученных результатов, можно говорить о наличии на территории РФ тенденции к, хоть и достаточно медленному, сближению налоговых доходов регионов России в целом, и, в частности, налоговых поступлений от добычи полезных ископаемых и от деятельности обрабатывающих производств.

Литература

1. Зюзин А.В., Демидова О.А., Долгопята Т.Г. Локализация и диверсификация российской экономики: региональные и отраслевые особенности // Пространственная экономика. 2023. Т. 16. № 2. С. 39–69. DOI: 10.14530/se.2023.2.039-069.
2. Ильин В. А., Поварова А. И. Недостатки налогового администрирования крупного бизнеса и их влияние на региональные бюджеты // Экономика региона. 2017. Т. 13. № 1. С. 25–37. DOI: 10.17059/2017-1-3.

3. Исаев А.Г. Распределение финансовых ресурсов в бюджетной системе РФ и экономический рост российских регионов // Пространственная экономика. 2016. № 4. С. 61–74. DOI: 10.14530/se.2016.4.061-074.
4. Коломак Е.А. Межрегиональное неравенство в России: экономический и социальный аспекты // Пространственная экономика. 2010. № 1. С. 26–35.
5. Колома Е.А. Пространственное развитие России в XXI в // Пространственная экономика. 2019. Т. 15. № 4. С. 85–106. DOI: 10.14530/se.2019.4.085-106.

6. Лавровский Б.Л., Шильцин Е.А. Российские регионы: сближение или расслоение? // Экономика и математические методы. 2009. Т. 45. № 2. С. 31–36.

7. Лыкова Л.Н. Налоговая политика и возможности экономического роста: региональный аспект // Федерализм. 2016. № 1(81). С. 107–120.

8. Малкина М.Ю. Оценка факторов конвергенции / дивергенции российских регионов по уровню бюджетной обеспеченности на основе декомпозиции индексов Тейла – Бернулли // Пространственная экономика. 2016. № 3. С. 16–37. DOI: 10.14530/se.2016.3.016-037.

9. Малкина М.Ю. Социальное благополучие регионов Российской Федерации // Экономика региона. 2017. Т. 13. № 1. С. 49–62. DOI: 10.17059/2017-1-5.

10. Положенцева Ю.С., Вертакова Ю.В., Самохвалова М.С. Оценка неравномерности экономического пространства регионов на основе конвергенции и дивергенции // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2018. Т. 8. № 3(28). С. 53–63.

11. Поступление налогов и сборов в бюджетную систему Российской Федерации по основным видам экономической деятельности // ЕМИСС [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/42548#> (Дата обращения: 13.10.2024).

12. Численность постоянного населения в среднем за год // ЕМИСС [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/31556> (Дата обращения: 13.10.2024).

References

1. Zyuzin A.V., Demidova O.A., Dolgopyatova T.G. Localization and diversification of the Russian economy: regional and industry-specific features. *Prostranstvennaya ekonomika = Spatial Economy*. 2023; 16; 2: 39–69. DOI: 10.14530/se.2023.2.039-069. (In Russ.)

2. Il'in V.A., Povarova A.I. Disadvantages of tax administration of large businesses and their impact on regional budgets. *Ekonomika regiona = Regional Economy*. 2017; 13; 1: 25–37. DOI: 10.17059/2017-1-3. (In Russ.)

3. Isayev A.G. Distribution of financial resources in the budget system of the Russian Federation and economic growth of Russian regions. *Prostranstvennaya ekonomika = Spatial Economy*. 2016; 4: 61–74. DOI: 10.14530/se.2016.4.061-074. (In Russ.)

4. Kolomak Ye.A. Interregional Inequality in Russia: Economic and Social Aspects. *Prostranstvennaya ekonomika = Spatial Economy*. 2010; 1: 26–35. (In Russ.)

5. Koloma Ye.A. Spatial Development of Russia in the 21st Century. *Prostranstvennaya ekonomika = Spatial Economy*. 2019; 15; 4: 85–106. DOI: 10.14530/se.2019.4.085-106. (In Russ.)

6. Lavrovskiy B.L., Shil'tsin Ye.A. Russian Regions: Convergence or Stratification? *Ekonomika i matematicheskiye metody = Economics and Mathematical Methods*. 2009; 45; 2: 31–36. (In Russ.)

7. Lykova L.N. Tax policy and economic growth opportunities: regional aspect. *Federalizm = Federalism*. 2016; 1(81): 107–120. (In Russ.)

8. Malkina M.Yu. Assessing the factors of convergence/divergence of Russian regions by the level of budget provision based on the decomposition of the Theil – Bernoulli indices. *Prostranstvennaya ekonomika = Spatial Economics*. 2016; 3: 16–37. DOI: 10.14530/se.2016.3.016-037. (In Russ.)

9. Malkina M.Yu. Social well-being of the regions of the Russian Federation. *Ekonomika regiona = Regional Economy*. 2017; 13; 1: 49–62. DOI: 10.17059/2017-1-5. (In Russ.)

10. Polozhentseva Yu.S., Vertakova Yu.V., Samokhvalova M.S. Assessment of the unevenness of the economic space of regions based on convergence and divergence. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Sotsiologiya. Menedzhment = Bulletin of the South-West State University. Series: Economy. Sociology. Management*. 2018; 8; 3(28): 53–63. (In Russ.)

11. Receipt of taxes and fees into the budget system of the Russian Federation by main types of economic activity. *YEMISS = EMISS [Internet]*. Available from: <https://www.fedstat.ru/indicator/42548#> (cited 13.10.2024). (In Russ.)

12. Average annual resident population. *YEMISS = EMISS [Internet]*. Available from: <https://www.fedstat.ru/indicator/31556> (cited 13.10.2024). (In Russ.)

Сведения об авторе

Дмитрий Александрович Патласов

Аспирант кафедры информационных систем и математических методов в экономике
Пермский Государственный Национальный
Исследовательский Университет,
Пермь, Россия
Эл. почта: dmitriypatlasov@gmail.com

Information about the author

Dmitry A. Patlasov

Postgraduate student of the Department of
Information Systems and Mathematical Methods
in Economics
Perm State National Research University,
Perm, Russia
E-mail: dmitriypatlasov@gmail.com



УДК 004.75

DOI: <http://dx.doi.org/10.21686/2500-3925-2024-6-40-49>Г.А. Звонарёва¹, Д.С. Бузунов²¹ Московский Авиационный Институт

(национальный исследовательский университет), Москва, Россия

² ООО "Константа-Дизайн", Москва, Россия

Особенности моделирования специализированной вычислительной системы

При разработке распределённых вычислительных систем с параллельной обработкой данных возникает задача оценки влияния значений рабочей нагрузки и структуры на показатели её производительности. Одним из ключевых моментов в данной задаче становится оценка влияния различных дисциплин приоритизации на временные характеристики возникающих очередей заявок в системе, для проведения которой используются статистические методы анализа данных.

Целью данного исследования является составление метода построения имитационной модели, которая позволит оценить временные характеристики системы в зависимости от изменяющихся значений рабочей нагрузки и алгоритма обработки приоритетов. Метод основан на совместном использовании разработанной имитационной модели, детально описывающей функционирование системы рассматриваемого класса во времени с учётом конфликтных ситуаций, возникающих при параллельной обработке информации, и экспериментально полученных отдельных временных характеристик системы.

Материалы и методы. Модель реализована на языке GPSS. Рассмотрены все этапы применения представленного метода. Приведены примеры рабочей нагрузки для проведения моделирования. Даны обоснования для использования представленных данных, а также принципы, с использованием которых они были выбраны. Для анализируемого класса задач проведено имитационное моделирование функционирования вычислительной системы.

В ходе построения имитационной модели системы в качестве имитируемых функциональных узлов были выбраны специализированное устройство сбора данных в качестве источника запросов; коммутатор, для которого производится моделирование очереди заявок с различным приоритетом; устройство обработки данных, являющееся конечным получателем данных.

Типы используемых алгоритмов для решения задачи приоритизации заявок взяты на основе распространённых алгоритмов приоритизации, свойственных для службы Quality of Service (QoS), используемой в современном коммутационном оборудовании. Были рассмотрены 3 алгоритма приоритизации: без использования приоритетов в качестве эталона; приоритетная очередь; Weighted Round Robin в качестве более комплексного алгоритма.

Данные о времени обработки различных типов запросов были получены экспериментальным методом при использовании средства анализа сетевого трафика Wireshark. Полученные времена, а также интенсивность поступления заявок на обработку заявок и соотношение заявок различных типов являются параметрами созданной модели и могут быть изменены для моделирования другой системы с аналогичной архитектурой.

Результаты. На основании анализа полученных результатов моделирования показано влияние различных дисциплин обработки приоритетов заявок в очередях на показатели производительности системы. Для анализа полученных данных используется регенеративный метод анализа модели. Представленный метод позволяет провести детальный анализ временных характеристик системы с учётом приоритизации заявок при их обработке в очередях.

Заключение. Произведённый анализ исследований показывает невозможность получения данных метрик средствами аналитического моделирования, что подчёркивает новизну исследования. Метод, полученный в ходе исследования, используется в ходе разработки систем представленного класса, что подчёркивает его практическую значимость и актуальность.

Ключевые слова: распределённые вычислительные системы, имитационное моделирование, регенеративный метод, GPSS.

Galina A. Zvonareva¹, Denis S. Buzunov²¹ Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia² LTD "Constanta-Design", Moscow, Russia

Peculiarities of Modeling a Specialized Computing System

When developing distributed computing systems with parallel data processing, there is a problem of assessing the impact of workload values and structure on its performance indexes. One of the key points in this problem is to assess the impact of various prioritization disciplines on the time characteristics of emerging request queues in the system, for which statistical methods of data analysis are used.

The goal of this study is to develop a method for constructing a simulation model that will allow estimating the time characteristics of the system depending on changing workload values and a priority-processing algorithm. The method is based on the joint use of the developed simulation model, which describes in detail the functioning of the system of the considered class in time, taking into account conflict situations arising during parallel processing of information, and experimentally obtained individual time characteristics of the system.

Materials and methods. The model is implemented in the GPSS language. All stages of applying the presented method are considered.

Examples of workload for modeling are given. Justifications for using the presented data, as well as the principles by which they were selected, are given. For the analyzed class of problems, simulation modeling of the computing system was carried out. During the construction of the simulation model of the system a specialized data acquisition device as source of requests; a switch for which a request queue with different priorities is simulated; a data processing device, which is the final recipient of the data were selected as simulation functional nodes.

The types of algorithms used to solve the request prioritization problem are taken from common prioritization algorithms typical for the Quality of Service (QoS), used in modern switching equipment. Three prioritization algorithms were considered: without using priorities as a standard; priority queue; Weighted Round Robin as a more complex algorithm.

Data on the processing time of various types of requests were obtained

experimentally using the Wireshark network traffic analysis tool. The obtained times, as well as the intensity of requests for request processing and the ratio of requests of different types are parameters of the created model and can be changed to simulate another system with a similar architecture.

Results. Based on the analysis of the obtained modeling results, the influence of various disciplines for processing request priorities in queues on the system performance indexes is shown. Regenerative model analysis method is used to analyze the obtained data. The obtained method allows for a detailed analysis of the system's time

characteristics, taking into account the prioritization of requests when they are processed in queues.

Conclusion. The conducted research analysis shows the impossibility of obtaining these metrics by means of analytical modeling, which emphasizes the novelty of the study. The method obtained during the study is used in the development of systems of the presented class, which emphasizes its practical significance and relevance.

Keywords: distributed computing systems, simulation modeling, regenerative method, GPSS.

Введение

Для решения задач специального назначения используются распределённые вычислительные системы (ВС), характеризующиеся параллельной обработкой информации. При этом в процессе разработки важно оценить производительность разрабатываемой системы и её потенциально узкие места. Для анализа таких систем в настоящее время используются методы аналитического и имитационного моделирования.

Для оценки показателей производительности широко используются методы аналитического моделирования [1, 2, 3, 4, 5]. Составление аналитических моделей требует приведения рассматриваемой системы к высокой степени абстракции, и зачастую каждый отдельный метод будет давать данные о узком спектре интересующих данных.

Так, в работе [1] рассматриваются методы, позволяющие оценить ускорение работы системы от использования параллелизма, однако в них не рассматривается проблема приоритетов различных типов заявок. Существующие подходы составления вероятностных [2] и эталонных [3] моделей дают данные для более глубокого анализа в зависимости от параметров рабочей нагрузки, однако также не затрагивают вопросы приоритетов задач. Все рассмотренные примеры также не позволяют детально учитывать возникающие конфликтные ситуации, возникающие в ходе работы функционирования параллельных

систем рассматриваемого класса. Аналогичными свойствами обладают модели, основанные на использовании моделей с расписанием [4, 5].

Таким образом можно заключить, что аналитические подходы к решению проблемы оценки временных характеристик систем не являются достаточными в том случае, если для полноценного анализа необходимо собирать информацию, получаемую в ходе имитации функционирования вычислительной системы, а также в случаях, когда обрабатываемые системой задачи не являются однородными, и очередность их обработки имеет прямое значение на её пригодность для решения поставленной задачи.

Для получения отдельных показателей производительности системы, например, значений временных задержек при выполнении отдельных задач, более предпочтительно использовать методы имитационного моделирования [6, 7]. Их использование позволяет приблизить структуру и логику созданной модели к поведению реальной системы. Также становится возможным получение данных о динамических характеристиках системы, которые проявляются в ходе её работы при таких процессах, как появление очередей заявок. Особенно важно это становится при рассмотрении влияния различных алгоритмов функционирования системы на эти показатели.

При рассмотрении изучаемой в этой статье системы использование именно имитационного моделирования ста-

новится более актуальным, так как производительность системы сильно зависит от протекания в ней параллельных процессов поступления заявок в систему, а также решения задачи обработки заявок, имеющих различный приоритет. При этом задержки, вызванные процессом обработки накопившейся очереди заявок, являются критичными для функций системы, и являются одним из объектов изучения.

На основании полученных результатов моделирования при различных значениях рабочей нагрузки можно более полно исследовать систему в целом. Для статистического анализа полученных данных применяется регенеративный метод анализа модели, использование которого рассмотрено в работе [8,9]. В его основе понятие регенеративного процесса — процесс, который постоянно возвращается в определённую точку, и развитие которого после возвращения в эту точку не зависит от прошлых данных. В данном случае такой точкой можно считать поступление пакетов данных на обработку, при условии отсутствия в системе необработанных данных. При использовании регенеративного метода анализа моделей, анализируя каждый цикл процесса как отдельный эксперимент, можно оценить точность полученных результатов.

Рассматриваемая система основана на использовании технологии Ethernet, что даёт возможность использовать технические документы [10] и описания различных алгоритмов [11, 12] как основу для со-

ставления модели, достоверно имитирующей реальную систему. Так же использование экспериментальных данных, полученных с использованием анализатора сетевого трафика Wireshark на аналогичной по структуре стендовой системе позволяет более достоверно оценить значения задержек, используемых в имитационной системе.

Таким образом, исходя из проведённого анализа, разработка метода, который позволит детально учитывать поведение распределённой ВС с параллельной обработкой информации с учётом возникающих конфликтных ситуаций с целью решения задачи оценки влияния алгоритмов приоритизации и параметров рабочей нагрузки на временные характеристики системы, является актуальной.

Постановка задачи

Целью данной работы является создание метода построения имитационных моделей для распределённых систем с параллельной обработкой информации, позволяющего оценивать влияние алгоритмов приоритизации и параметров рабочей нагрузки на временные характеристики системы, а также статистический анализ данных, полученных в ходе моделирования.

Для реализации данного метода необходимо решить следующие задачи:

- разработать имитационную модель функционирования распределённой вычислительной системы, детально описывающую временное поведение системы с учётом возникновения конфликтных ситуаций;
- получить экспериментальные данные для задания временных параметров имитационной модели с целью повышения достоверности получаемых результатов;
- провести оценку влияния алгоритмов приоритизации и параметров рабочей нагрузки

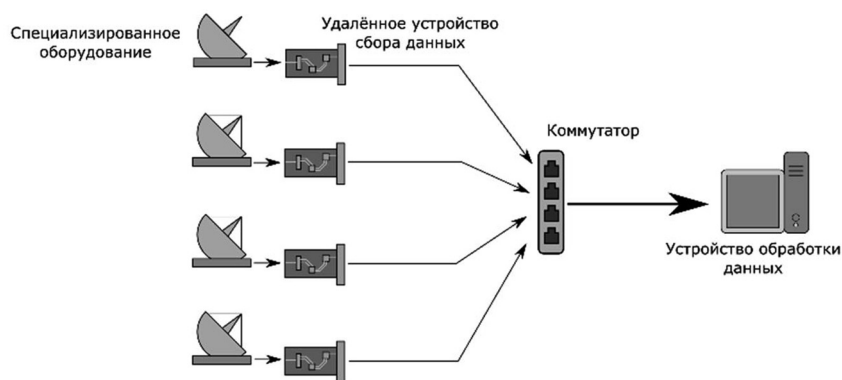


Рис. 1. Структурная схема распределённой параллельной вычислительной системы.

Fig. 1. Structural diagram of a distributed parallel computer system

на временные характеристики системы при использовании предложенного метода.

Специфика рассматриваемого класса вычислительных систем связана с удалённым расположением узлов системы друг от друга; высокой специализацией отдельных элементов, что определяется решаемыми задачами.

Основой для данного исследования стала распределённая вычислительная система, рассматриваемый участок которой схематично представлен на рисунке 1. В себя система включает следующие типы элементов:

- Удалённые устройства сбора данных – специализированные модули для первичной обработки данных и передаче их на устройство обработки информации. Они являются источниками таких характеристик, как частота отправки данных, типы отправляемых данных и др.
- Коммутатор – позволяет соединить множество удалённых устройств сбора данных с устройством обработки информации. При этом в процессе передачи сетевых пакетов с высокой долей вероятности образуются очереди, влияющие на время пребывания информации в системе.
- Устройство обработки информации – конечный потребитель данных в системе, занимающийся обработкой полученных данных.

Создаваемая модель распределённой ВС должна отображать процессы, происходящие в реальной системе, и позволять давать оценку интересующим нас параметрам производительности системы. Для этой задачи наиболее подходящим является имитационное моделирование на системном уровне, в ходе которого система будет представлена в виде отдельных функциональных блоков, имитирующих внешнее поведение их реальных прообразов.

При составлении модели необходимо также учитывать параметры рабочей нагрузки. К ним относятся тип и объём пересылаемых данных, интервалы времени между поступлением данных в систему, очередность поступления различных типов данных и др.

В системе существует несколько типов данных, поступающих на обработку, различающимися требованиями ко времени обработки. В соответствии с этим, каждый тип обладает своим приоритетом, и наивысший приоритет имеет преимущество при определении очередности обработки данных. При этом из-за того, что система работает в режиме реального времени, становится важным вопрос о том, сколько времени заявки каждого типа проводят в системе.

Из-за того, что некоторые типы данных в своём прикладном представлении могут

иметь большой объём, то передача их по сети приводит к разбиению на отдельные сетевые пакеты в соответствии с максимальным размером единичного пакета, который допускает стандарт используемой сети. В данном случае используется сеть стандарта Ethernet, maximum transmission unit (MTU) которого составляет 1500 байт [10]. Это должно быть отражено в параметрах рабочей нагрузки с помощью создания нескольких заявок, имитирующих разделение блока данных на ряд пакетов.

В процессе моделирования, когда это возможно, следует использовать данные, свойственные реальной системе. При проведении моделирования для получения информации о времени передачи пакетов данных в системе использовался стенд, и ПО для анализа сетевого трафика, такое как Wireshark. Так как основным узлом возникновения очередей в системе является коммутатор, в качестве основного источника для предложенных алгоритмов обработки приоритетов являются алгоритмы, используемые в технологии Quality of Service (QoS) [11, 12]. Наиболее предпочтительно рассматривать именно те алгоритмы, которые поддерживаются коммутатором, представленным в реальной системе. Таким образом выбранный алгоритм сразу же может быть применён на практике.

Для анализа результатов моделирования системы используются общеизвестные методы прикладной статистики в контексте таких величин, как среднее время нахождения заявки в очереди, и индуктивных умозаключений на основе полученных данных.

Метод построения имитационной модели

Для проведения достоверного моделирования необходимо составить модель,

отвечающую определённым требованиям. Модель должна быть достоверна относительно структуры реальной системы, отображать все процессы, происходящие в системе и имеющие значимость для процесса моделирования, и должна давать возможность собирать интересующую статистику. Для достижения этих целей реализован следующий метод построения модели, который включает в себя ряд этапов.

Первый этап: построение схемы реальной системы. Для этого система разделяется на различные элементы (источники данных, потребители данных, транзитные этапы), каждому из которых определено некоторое время задержки. Это время может различаться для разных типов данных, или быть одинаковым. Также на этом этапе различные типы данных объединяются в группы приоритетов, обозначающих срочность обработки данных из каждой группы. Определяется количество возможных источников данных, соотношение количества данных различных групп приори-

тетов между собой [13].

Второй этап: определение временных интервалов. Для определения времени задержки использованы экспериментальные методы [14,15]. Полученные данные определяют время задержки при моделировании. При этом модельные времена для получения адекватных результатов моделирования должны соответствовать временам, полученным экспериментальным путём. Также на этом этапе определяется влияние размера сообщения на время его обработки.

Третий этап: составление модели [16]. На основе отдельных элементов из полученной схемы составляются их модельные реализации, отображающие их поведение в рамках имитационной модели. Отдельные модельные элементы затем объединяются в конечную имитационную модель в соответствии с ранее полученной схемой. Определяется, какие временные интервалы представляют особый интерес для анализа. Структурная схема полученной модели представлена на рисунке 2.

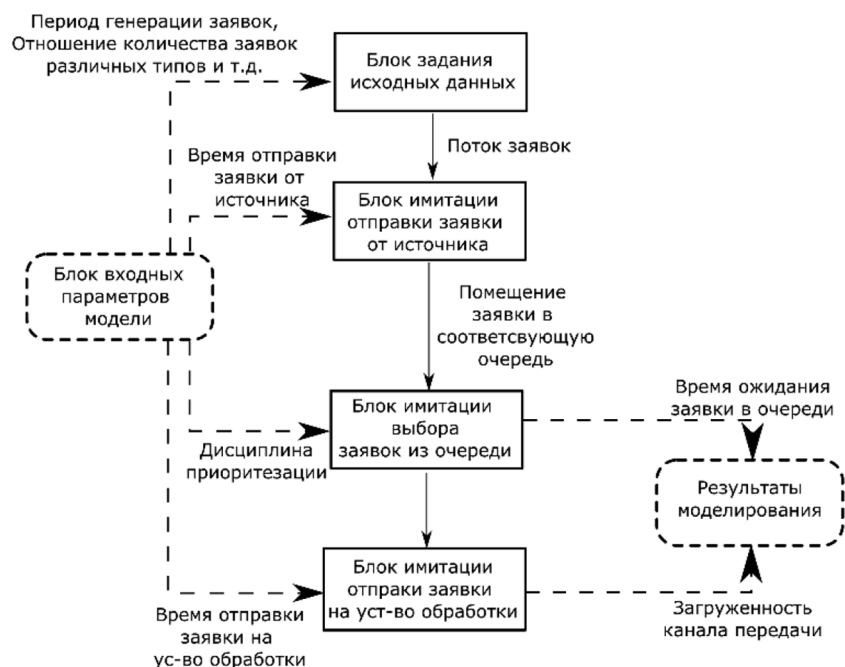


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели.

Fig. 2. Structural diagram of the simulation model

Каждый блок представляет имитацию работы одного из элементов реальной системы. Сплошные стрелки обозначают направление потока заявок в процессе моделирования, а пунктирные — задание исходных данных или сбор информации в процессе моделирования. Различные алгоритмы приоритизации учтены в блоке имитации выбора заявок из очередей.

Четвёртый этап: определение моделируемой рабочей нагрузки. Определяется, какие параметры рабочей нагрузки будут изменяться в ходе разных испытаний, выделяется зависимость этих изменений. В соответствии с имеющимися данными о нагрузке системы, составляется набор значений рабочей нагрузки, на которых будет производиться конечное моделирование. При этом рекомендуется составить несколько вариантов рабочей нагрузки, которые будут описывать среднюю и высокую загруженность системы.

Модель реализована на языке GPSS [17].

Моделирование проводится для различных вариантов рабочей нагрузки с учетом алгоритмов приоритизации. Такой подход позволяет адекватно сравнивать различные алгоритмы на основании одинаковых исходных данных.

Проведение моделирования

Для демонстрации представленного метода, рассмотрим его применение к системе, схема которой была представлена ранее на рисунке 1.

Этап первый: представленная система имеет 4 источника данных, представленные удалёнными устройствами сбора данных, один транзитный узел (коммутатор), где образуются очереди данных, и устройство обработки данных, которое является их конечным потребителем. Каждый из данных

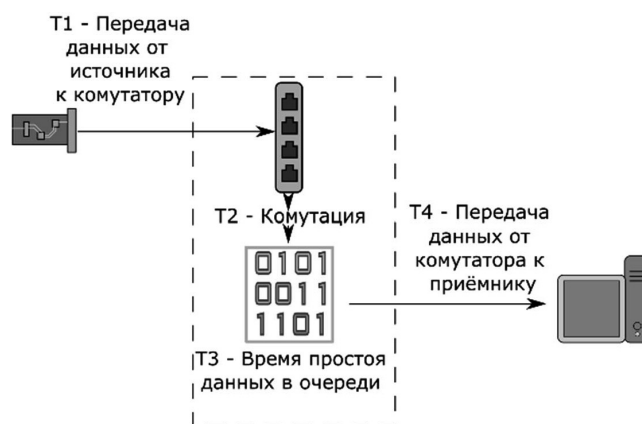


Рис. 3. Схема задержек заявок в системе.

Fig. 3. Scheme of request delays in the system

узлов вносит некоторую задержку проходящей через него заявке. Этими задержками являются [18]:

- Задержка передачи пакета от источника данных к коммутатору — Т1
- Задержка, вызванная простоем заявки в очереди на выход из коммутатора — Т2
- Задержка передачи пакета от коммутатора к устройству обработки данных — Т3

Схематично расположение представленных задержек показано на рисунке 3.

В системе обрабатываются 4 типа данных, которым можно дать следующие описания:

- Тип 4 — наиболее приоритетный тип данных. Объём одного сообщения прикладных данных этого типа достаточно велик, поэтому при поступлении этого типа данных генерируется сразу несколько заявок.
- Тип 3 — Обладает приоритетом ниже, чем тип 4, при поступлении в систему генерирует несколько заявок.
- Тип 2 — Обладает приоритетом ниже, чем тип 3, при поступлении в систему создаётся всего одна заявка
- Тип 1 — аналогичен типу 2, ниже его по приоритету.

При этом данные поступают в систему через два параллельных потока. Первым потоком является поток данных, который посылает данные Типа 4 раз в TgH единиц времени. Вторым потоком данных яв-

ляется поток вспомогательной информации. Посылка данных в нём случается раз в TgL, при этом каждая посылка имеет 20% шанс быть 1м типом данных, 20% быть 2м типом данных, и 60% принадлежать 3му типу данных.

Вторым этапом является определение временных интервалов. Интервалы Т1 и Т3 определены экспериментальным путём с помощью анализа тестового трафика (см. рисунок 3). Для проведения измерений использовался стенд, максимально приближенный к условиям, в которых будет функционировать система. Для анализа трафика использовался сниффер Wireshark, конечное значение измерений вычислялось как средняя круговая задержка (RTT) из 15 пакетов, отправленных утилитой Ping. Так как в данном случае время возвращение ответа не имеет прямого интереса, для значений Т1 и Т3 полученная величина делилась на 2. Также учитывалось, что пакеты различного размера требуют различное время для передачи [19, 20].

По итогам моделирования времена задержки Т1 и Т3 составили от 350 до 700 тактов модельного времени в зависимости от величины передаваемого пакета.

Время Т2 является одной из основных исследуемых метрик в данной модели. Данная

Таблица 1 (Table 1)

Используемые параметры рабочей нагрузки
Workload parameters used

Набор параметров	TgH	TgL	Время задержки T1 и T3				Число пакетов, порождаемых одним сообщением прикладного уровня	
			Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 3	Тип 4
1	22000	66000	350	350	400	700	2	4
2	22000	66000	350	350	400	700	3	7

величина определяется по результатам моделирования для каждого типа заявок в очереди отдельно.

На данном этапе составления модели также необходимо выбрать алгоритмы приоритизации, влияние которых подлежит исследованию. Было решено рассмотреть 3 типа алгоритмов [12]:

1. Алгоритм без использования приоритетов, который используется в качестве эталонного. В дальнейшем данная модель будет указываться в виде Модели 1.

2. Приоритетная очередь, в которой заявки обрабатываются строго по уровню приоритета от наивысшего к низшему. В дальнейшем данная модель будет указываться в виде Модели 2.

3. Weighted Round Robin – метод, при котором сначала извлекается некоторое количество заявок наивысшего приоритета (в данном случае 4), а затем по одной заявке остальных типов. Затем процесс повторяется. В дальнейшем данная модель будет указываться в виде Модели 3.

Четвёртый этап: составление рабочей нагрузки. В данном случае для большей показательности применимого метода используется 2 набора параметров для рабочей нагрузки. Первый представляет собой среднюю нагрузку на систему, второй – высокую нагрузку. Это позволяет на относительно малом объёме данных в достаточной мере продемонстрировать применение метода. В таблице 1 представлены используемые параметры.

Анализ результатов моделирования

По итогам моделирования наиболее интересными данными для рассмотрения являются среднее время пребывания каждого типа заявок в очереди. Данный параметр является

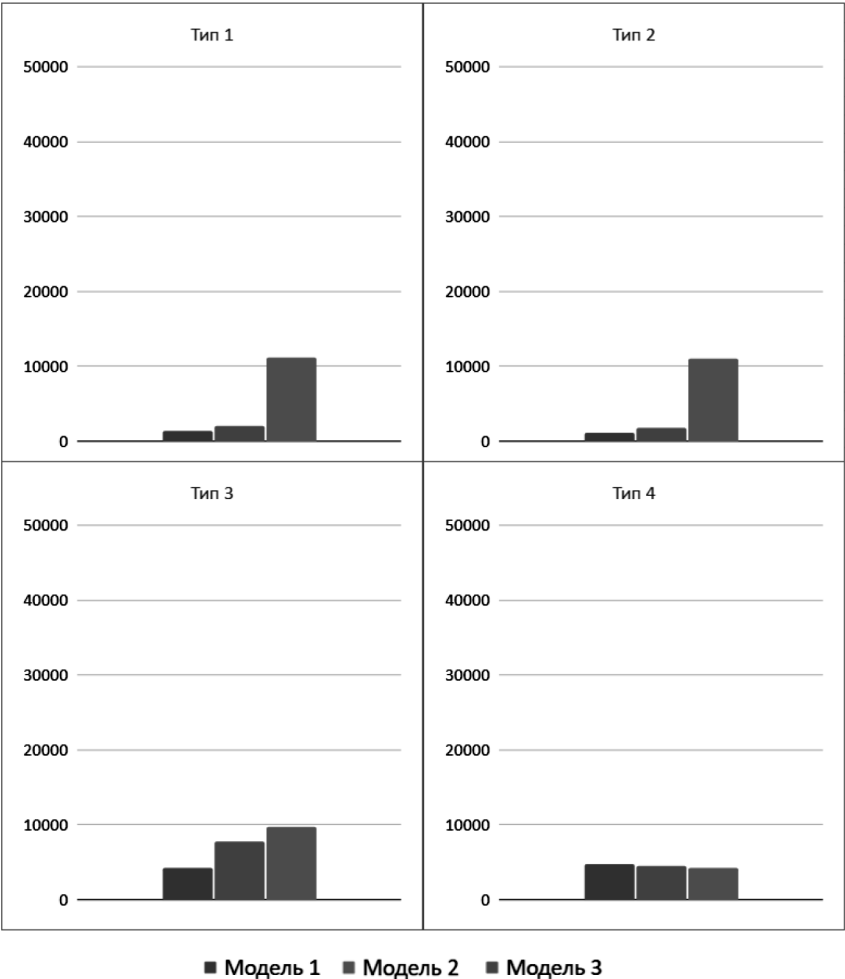


Рис. 4. Графики среднего времени ожидания заявки в очереди по типу и модели для первого набора параметров рабочей нагрузки.
Fig. 4. Graphs of the average waiting time of a request in the queue by type and model for the first set of workload parameters

основным для определения того, какой алгоритм приоритизации заявок является наиболее подходящим для данной системы, так как от него зависит общее время прохождения заявки через систему. Графики среднего времени нахождения заявок в очереди для первого набора параметров рабочей

нагрузки приведены на рисунке 4.
Для заданных параметров рабочей нагрузки малое среднее время ожидания заявок 1-го и 2-го типов в очереди для модели 1 и 3 связано с небольшим объемом передаваемых данных, а также с незначительной загруженностью

системы. Для модели 2 среднее время ожидания в очереди заявок 1-го и 2-го типа возрастает, что определяется низким уровнем приоритета. Количество заявок по типам, прошедшим через систему, показано на рисунке 5.

Рассмотрим аналогичные данные для высокой рабочей нагрузки. Соответствующий график среднего времени ожидания заявки в очереди представлен на рисунке 6.

Сразу же можно заметить существенные изменения в значениях среднего времени ожидания заявок в очереди. Из-за высокой нагрузки системы, заданной параметрами рабочей нагрузки, алгоритмы обработки приоритетов оказывают значительно большее влияние на время нахождения заявки в очереди.

Первая модель демонстрирует рост времени нахождения заявок в очереди из-за увеличившегося количества заявок в системе по сравнению с первым набором параметров рабочей нагрузки. Вторая модель уменьшает время нахождения в очереди для заявок 4го типа на 14% по сравнению с первой моделью, но при этом демонстрирует скачкообразное увеличение времени для всех остальных типов заявок не менее чем в 5 раз. Модель 3 позволяет уменьшить время простоя в очереди для заявок 4го типа на 7% по сравнению с первой моделью, но при этом значительно быстрее обрабатывает заявки остальных типов по сравнению с второй моделью.

На основании результатов моделирования можно прийти к следующим выводам. Если при разработке ВС стоит задача уменьшения времени обработки заявок 4го типа, использование метода приоритетной очереди является наилучшим. Однако, если для заявок типов 3, 2 и 1 существует ограничение по максимальному времени обработки, алгоритм модели 3 может оказаться бо-

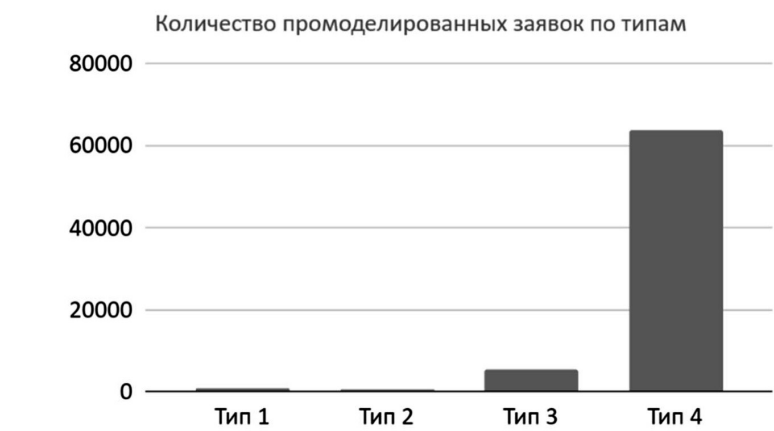


Рис. 5. Число заявок каждого типа, прошедших через систему при моделировании

Fig. 5. The number of requests of each type that passed through the system during the simulation

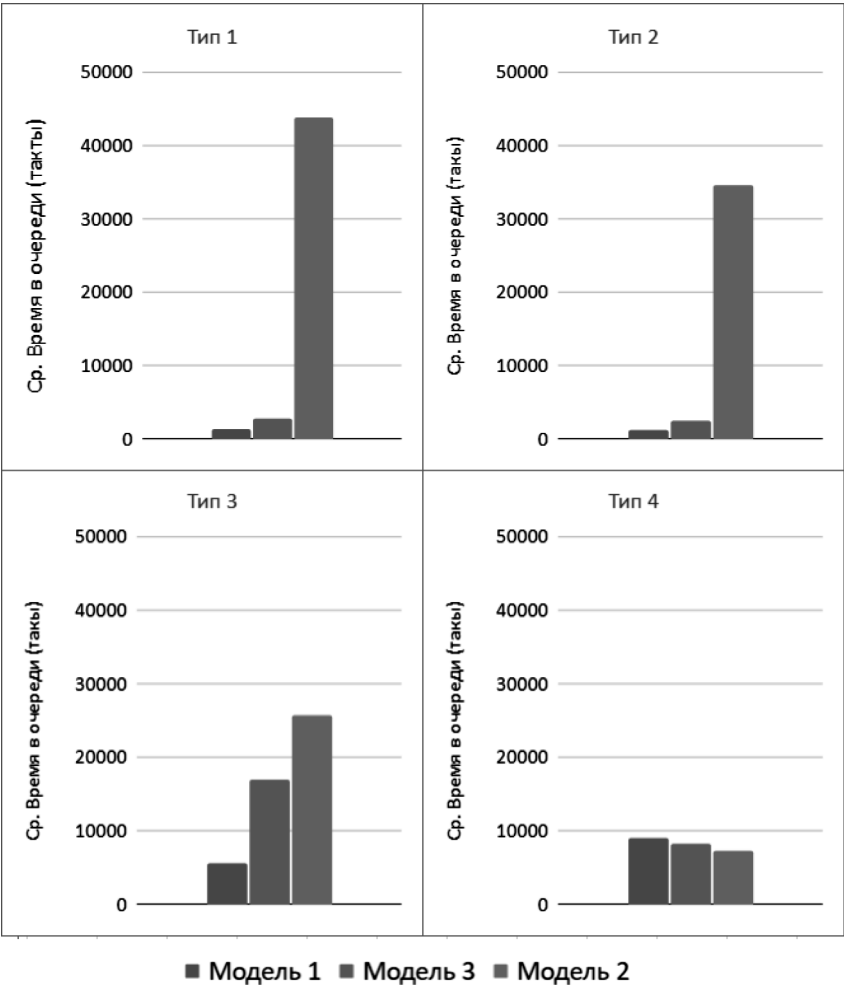


Рис. 6. Графики среднего времени ожидания заявки в очереди по типу и модели для второго набора параметров рабочей нагрузки.

Fig. 6. Graphs of the average waiting time of a request in the queue by type and model for the second set of workload parameters

лее предпочтительным, так как не слишком сильно уступает 2й модели по среднему времени нахождения заявок 4-го

типа в очереди, но при этом значительно более выгоден в отношении остальных типов заявок.

Результаты анализа, полученные с использованием предложенного метода, нашли применение при проектировании распределённой вычислительной системы представленного класса с целью выбора алгоритмов приоритизации в зависимости от параметров рабочей нагрузки. Для точностной оценки результатов использовался регенеративный метод анализа модели [8, 9]. Для приведённых результатов погрешность составила не более 3%.

Заключение

В работе представлен метод построения имитационной модели для типовой распределённой вычислительной системы с использованием временных характеристик, полученных экспериментальным путем, позволяющий оценивать влияние алгоритмов приоритизации и параметров рабочей нагрузки на показатели производительности системы.

Предложенный метод создания имитационной модели с применением полученных экспериментальным путем временных характеристик системы, позволяет достичь детального описания процессов для рассматриваемого класса ВС, что несомненно может быть использовано при проектировании распределённых вычислительных систем. Такой подход позволяет проводить исследование влияния параметров рабочей нагрузки и структуры, включая алгоритмы приоритизации заявок, на показатели производительности системы.

Рассмотрены особенности построения имитационной

модели, детально описывающей функционирование ВС рассматриваемого класса во времени с учётом конфликтных ситуаций, возникающих при параллельной обработке информации, получения временных характеристики экспериментальным путём с целью повышения достоверности результатов.

Особое внимание при составлении модели было обращено на учёт параллельных процессов, протекающих в системе, и их влияние на производительность и нагруженность системы при использовании различных алгоритмов приоритизации. Данный подход особенно важен для моделирования систем, использующих для связи между узлами сеть Ethernet, при связи узлов в формате «многие-к-одному».

Исследование влияния алгоритмов приоритизации на время ожидания заявок в очередях в зависимости от параметров рабочей нагрузки проведено на основе статистического анализа полученных данных при использовании регенеративного метода анализа модели. Погрешность результатов моделирования составила не более 3%. Использование регенеративного метода анализа позволяет получить точностную оценку времени нахождения заявок в очереди в зависимости от алгоритмов приоритизации, что является важной характеристикой для рассматриваемого класса ВС.

Использование данного метода для оценки временных характеристик рассматриваемого класса ВС требует построения её полноценной модели, что

требует значительного времени и усилий. В то же время использование аналитических методов [1,3,4] позволяет дать первоначальную оценку предлагаемой системы в более короткий период. Но вместе с тем, аналитические методы в силу недостаточной детализации не дают возможность анализировать влияние алгоритмов приоритизации в зависимости от параметров рабочей нагрузки, для чего может быть использован предложенный метод.

Таким образом можно сказать, что использование представленного метода целесообразно в том случае, когда общая архитектура системы уже выбрана, и необходима уже её дальнейшая оптимизация и поиск слабых мест, которые возникают в ходе её работы.

В дальнейшем модель может быть использована для исследования показателей производительности распределённых ВС в зависимости от числа узлов системы, временных характеристик работы ВС. Предложенный подход к построению моделей распределённых ВС может использоваться для моделирования ВС, использующей альтернативные алгоритмы приоритизации, стандарты связи и д.р.

Представленный метод использовался в ходе проектирования рассматриваемого класса ВС, что обосновывает его практическую значимость, а имитируемые в модели реальные алгоритмы приоритизации позволяют выбрать алгоритм, наилучшим образом отвечающий поставленным задачам проектирования специализированной ВС.

Литература

1. Павский В.А., Павский К.В. Математическая модель для расчета показателей надежности масштабируемых вычислительных систем с учетом времени переключения // Известия ЮФУ. Технические науки. 2020. № 2(212). С. 134–145. DOI: 10.18522/2311-3103-2020-2-134-145.

2. Брехов О.М., Морару В.А. Аналитическое моделирование ЭВМ, управляемой потоком данных // Автоматика и телемеханика. 1993. № 12. С. 165–178.

3. Афанасьев А.П., Посыпкин М.А., Хриданков А.С. Аналитическая модель оценки производительности распределённых систем //

Программные продукты и системы. 2009. № 4. С. 60–64.

4. Леонтьев А.С., Жматов Д.В. Исследование вероятностно-временных характеристик беспроводных сетей с методом доступа CSMA/CA // Russian Technological Journal. 2024. № 12(2). С. 67–76. DOI: 10.32362/2500-316X-2024-12-2-67-76.

5. Леонтьев А.С. Разработка аналитических методов, моделей и методик анализа локальных вычислительных сетей. Теоретические вопросы программного обеспечения: Межвузовский сборник научных трудов. М.: МИРЭА, 2001. С. 70–94.

6. Лёвина А.П. Обзор метода имитационного моделирования [Электрон. ресурс] // Современная техника и технологии. 2017. № 5. Режим доступа: <https://technology.snauka.ru/2017/05/13530> (Дата обращения: 17.12.2021).

7. Брехов О.М., Звонарева Г.А., Рябов В.В. Особенности разработки и анализа имитационной модели мультипроцессорной вычислительной системы // Открытое образование. 2017. № 3. С. 48–56.

8. Крейн М., Лемуан О. Введение в регенеративный метод анализа моделей. М.: Наука, 1982, 104 с.

9. Звонарёва Г.А., Бузунов Д.С. Использование имитационного моделирования для оценки временных характеристик распределённой вычислительной системы // Открытое образование. 2022. № 26(5). С. 32–39. DOI: 10.21686/1818-4243-2022-5-32-39.

10. Хоринг Ч. A Standard for the Transmission of IP Datagrams over Ethernet Networks [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc894>.

11. Ничолс К, Блейк С. Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers [Электрон. ресурс]. 1998. Режим доступа: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2474>.

12. Dordal L.P. An Introduction to Computer Networks. Chicago, Loyola University. 2020. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://intronetworks.cs.luc.edu/current/html/index.html>.

13. Бузунов Д.С., Звонарева Г.А. Моделирование специализированной вычислительной системы с параллельной обработкой информации // 20-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 2021. С.183–184.

14. Davies J. The Cable Guy TCP Receive Window Auto-Tuning, TechNet Magazine, 2007.

15. Бехтерев А. Качество сетей передачи данных. Программные и аппаратные измерения [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/250821/>.

16. Брехов О.М., Звонарева Г.А., Корнеева А.В. Имитационное моделирование. М.: МАИ, 2015. 324 с.

17. Шрайбер Т. Моделирование на GPSS. 1980. 592 с

18. Kling T., The impact of transport protocol, packet size, and connection type on the round trip time // Blekinge Institute of Technology. 2017.

19. Siemon D., Queueing in the Linux network stack // Linux Journal: Networking. 2013.

20. Ross K., Kurose J. «Delay and Loss in Packet-Switched Networks». 2012.

References

1. Pavskiy V.A., Pavskiy K.V. Mathematical model for calculating reliability indicators of scalable computing systems taking into account switching time. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki = Bulletin of SFedU. Technical sciences. 2020; 2(212): 134–145. DOI: 10.18522/2311-3103-2020-2-134-145. (In Russ.)

2. Brekhov O.M., Moraru V.A. Analytical modeling of a data flow-controlled computer. Avtomatika i telemekhanika = Automation and Telemechanics. 1993; 12: 165–178. (In Russ.)

3. Afanas'yev A.P., Posypkin M.A., Khritanov A.S. Analytical model for evaluating the performance of distributed systems. Programnyye produkty i sistemy = Software products and systems. 2009; 4: 60–64. (In Russ.)

4. Leont'yev A.S., Zhmatov D.V. Study of probabilistic and temporal characteristics of wireless networks with the CSMA/CA access method. Russian Technological Journal = Russian Technological Journal. 2024; 12(2): 67–76. DOI: 10.32362/2500-316X-2024-12-2-67-76. (In Russ.)

5. Leont'yev A.S. Development of analytical methods, models and techniques for analyzing local area networks. Teoreticheskiye voprosy programmnoy obespecheniya: Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov = Theoretical issues of software: Interuniversity collection of scientific papers. Moscow: MIREA; 2001: 70–94. (In Russ.)

6. Lovina A.P. Review of the simulation modeling method [Internet]. Sovremennaya tekhnika i tekhnologii = Modern technology and technology. 2017; 5. Available from: <https://technology.snauka.ru/2017/05/13530> (cited 17.12.2021). (In Russ.)

7. Brekhov O.M., Zvonareva G.A., Ryabov V.V. Features of the development and analysis of a simulation model of a multiprocessor computing system. Otkrytoye obrazovaniye = Open education. 2017; 3: 48–56. (In Russ.)

8. Kreyn M., Lemuan O. Vvedeniye v regenerativnyy metod analiza modeley = Introduction to the regenerative method of model analysis. Moscow: Science; 1982, 104 p. (In Russ.)

9. Zvonarova G.A., Buzunov D.S. Using simulation modeling to assess the temporal

characteristics of a distributed computing system. Otkrytoye obrazovaniye = Open education. 2022; 26(5): 32-39. DOI: 10.21686/1818-4243-2022-5-32-39. (In Russ.)

10. Khorring CH. A Standard for the Transmission of IP Datagrams over Ethernet Networks = Standard for the Transmission of IP Datagrams over Ethernet Networks [Internet]. Available from: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc894>. (In Russ.)

11. Nichols K, Bleyk S. Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers [Internet]. 1998. Available from: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2474>.

12. Dordal L.P. An Introduction to Computer Networks. Chicago, Loyola University. 2020. [Internet]. Available from: <https://intronetworks.cs.luc.edu/current/html/index.html>.

13. Buzunov D.S., Zvonareva G.A. Modeling of a specialized computing system with parallel information processing. 20-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya «Aviatsiya i kosmonavtika»

=20th International Conference «Aviation and Cosmonautics». 2021:183-184. (In Russ.)

14. Davies J. The Cable Guy TCP Receive Window Auto-Tuning, TechNet Magazine; 2007.

15. Bekhterev A. Kachestvo setey peredachi dannikh. Programmnyye i apparatnyye izmereniya = Quality of data transmission networks. Software and hardware measurements [Internet]. Available from: <https://habr.com/ru/articles/250821/>. (In Russ.)

16. Brekhov O.M., Zvonareva G.A., Korneyenkova A.V. Imitatsionnoye modelirovaniye = Simulation modeling. Moscow: MAI; 2015. 324 p.

17. Shrayber T. Modelirovaniye na GPSS = Modeling on GPSS. 1980. 592 p. (In Russ.)

18. Kling T., The impact of transport protocol, packet size, and connection type on the round trip time. Blekinge Institute of Technology. 2017.

19. Siemon D., Queueing in the Linux network stack. Linux Journal: Networking. 2013.

20. Ross K., Kurose J. «Delay and Loss in Packet-Switched Networks». 2012.

Сведения об авторах

Галина Александровна Звонарёва

Доцент кафедры Вычислительные машины, системы и сети
Московский Авиационный Институт
(национальный исследовательский университет),
Москва, Россия
Эл. почта: zvonarevagal@yandex.ru

Денис Сергеевич Бузунов

Старший программист
ООО «Константа-Дизайн», Москва, Россия
Эл. почта: denis.buzunow@yandex.ru

Information about the authors

Galina A. Zvonareva

Associate Professor of the Department of Computing
Machines, Systems and Networks
Moscow Aviation Institute
(National Research University),
Moscow, Russia
E-mail: zvonarevagal@yandex.ru

Denis S. Buzunov

Senior Programmer
LTD «Constanta-Design», Moscow, Russia
E-mail: denis.buzunow@yandex.ru



УДК 519.254

DOI: <http://dx.doi.org/10.21686/2500-3925-2024-6-50-56>В.А. Горелик¹, Т.В. Золотова²¹ Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия² Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

Построение разреженной ковариационной матрицы на основе анализа статистических данных и использование ее при выборе оптимального портфеля ценных бумаг

Цель исследования. Цель исследования состоит в разработке нового метода нахождения оптимального портфеля ценных бумаг, основанного на субоптимизации с использованием разреженной ковариационной матрицы, и создании на его основе программы для автоматизации процедуры выбора стратегии инвестирования.

Материалы и методы. В работе представлена одна из возможных формализаций двухкритериальной задачи инвестирования — постановка задачи на максимум ожидаемой доходности портфеля при ограничении сверху на СКО. При этом обосновано проведение расчетов СКО портфеля с разреженной матрицей ковариаций доходностей финансовых инструментов. Приведено решение двухкритериальной задачи, основанное на использовании условий оптимальности Каруша-Куна-Таккера. Все необходимые первичные расчеты и исследования выполняются в Microsoft Excel, для автоматизации и реализации графического интерфейса используются функции языка программирования Python.

Результаты. Проведен анализ используемых методов принятия инвестиционных решений и обосновано использование каждого из них для конкретных данных фондового рынка. Для автоматизации аналитических подходов к нахождению оптимальной инвестиционной стратегии при полной, частичной и отсут-

ствующей корреляционной зависимости была создана программа и графический интерфейс с использованием библиотек языка программирования Python. Программный продукт апробирован на примере процесса инвестирования с реальными данными российского фондового рынка. В качестве исходных данных в настоящем исследовании послужили котировки акций российских компаний за период с 01.01.2019 по 31.12.2021, взятые с сайта Yahoo Finance. Выбор каждой из акций был основан на результатах проведенного фундаментального и технического анализа. **Заключение.** В результате проведенного исследования было установлено, что предложенный метод нахождения оптимальной стратегии с использованием разреженной ковариационной матрицы является подходящим инструментом для активной стратегии инвестирования. Техническая реализация предложенного метода — использование языка программирования Python для создания графического интерфейса — позволяет автоматизировать процесс построения инвестиционной стратегии.

Ключевые слова: двухкритериальный подход, математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, разреженная ковариационная матрица, фундаментальный анализ, автоматизация.

Victor A. Gorelik¹, Tatiana V. Zolotova²¹ Federal Research Center «Informatics and Management» of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia² Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Construction of a Sparse Covariance Matrix Based on Statistical Data Analysis and Its Use in Choosing an Optimal Portfolio of Securities

Purpose of the study. The aim of the study is to develop a new method for finding an optimal portfolio of securities based on suboptimization using a sparse covariance matrix, and to create a program based on it to automate the procedure for selecting an investment strategy.

Materials and methods. The paper presents one of the possible formalizations of a two-criterion investment problem — setting the problem for the maximum expected portfolio yield with an upper limit on the standard deviation. At the same time, the calculation of the standard deviation of a portfolio with a sparse matrix of covariances of financial instruments' yields is justified. A solution to a two-criterion problem based on the use of the Karush-Kuhn-Tucker optimality conditions is given. All necessary primary calculations and studies are performed in Microsoft Excel; the functions of the Python programming language are used for automation and implementation of the graphical interface.

Results. The analysis of the methods used to make investment decisions was carried out and the use of each of them for specific stock market data was justified. To automate analytical approaches to finding the optimal investment strategy with full, partial and

absent correlation dependence, a program and a graphical interface were created using the Python programming language libraries. The software product was tested on the example of the investment process with real data of the Russian stock market. The initial data in this study were quotes of shares of Russian companies for the period from 01.01.2019 to 31.12.2021, taken from the Yahoo Finance website. The choice of each of the shares was based on the results of the fundamental and technical analysis.

Conclusion. As a result of the conducted research, it was established that the proposed method of finding the optimal strategy using a sparse covariance matrix is a suitable tool for an active investment strategy. The technical implementation of the proposed method — the use of the Python programming language to create a graphical interface — allows automating the process of constructing an investment strategy.

Keywords: two-criteria approach, mathematical expectation, standard deviation, sparse covariance matrix, fundamental analysis, automation.

Введение

Задачу нахождения оптимальной инвестиционной стратегии на фондовом рынке, или портфеля ценных бумаг, по праву считают неоднозначной задачей, требующей знания и умение применять различные математические методы и инструменты. При этом для принятия инвестиционного решения необходимо провести комплекс подготовительных работ:

- анализ финансового рынка (сравнительный анализ по сегментам и отраслям рынка, направленный на выявление трендов, а также лидеров и аутсайдеров);
- анализ финансовых инструментов (технический и фундаментальный анализ, анализ ликвидности, а также расчет справедливой цены финансового инструмента);
- формирование инвестиционной стратегии (один актив или диверсификация портфеля, выбор хеджирующего инструмента и прочее).

Математические методы нахождения оптимальной инвестиционной стратегии основываются на использовании принципов векторной оптимизации [1–4]. Обычно рассматривается двухкритериальная задача нахождения стратегии инвестирования. При этом критериями оптимальности являются эффективность и риск инвестиционного портфеля. В качестве оценки эффективности используют математическое ожидание случайного значения доходности портфеля, а в качестве оценки риска — среднеквадратическое отклонение (СКО). К одной из возможных формализаций двухкритериальной задачи инвестирования относится постановка задачи на максимум ожидаемой доходности портфеля при ограничении сверху на СКО, которая и была использована в данной работе.

Задача инвестирования, в которой учитывается коррелированность случайных доходностей финансовых инструментов, и задача без учета коррелированности приводят к разным процедурам получения оптимального решения [5, 6, 7]. В работе [7] анализ статистических данных показывал, что значения ковариаций доходностей рассматриваемых компаний был на порядок меньше значений их дисперсий. Учет ковариаций практически не сказывался на результатах расчетов, поэтому правомерно было допущение о том, что ими можно пренебречь. В работе [6] рассматривался пример инвестирования в акции российских компаний, в котором ковариации и дисперсии акций имеют примерно одинаковый порядок, причем ковариации являются положительными; поэтому учет ковариаций случайных значений доходностей акций имел основание.

Однако анализ статистических данных фондового рынка показывает, что взаимосвязь финансовых инструментов проявляется по-разному,

и для одних эта взаимосвязь пренебрежимо мала, а для других таковой не является. В данной работе мы предлагаем подход к нахождению оптимальной инвестиционной стратегии, основанный на субоптимизации с использованием разреженной ковариационной матрицы. Такой подход оправдан, когда пересмотр состава портфеля происходит в течение короткого промежутка времени, например, в течение дня. В этом случае проведение расчетов ковариаций ценных бумаг, имеющих слабую взаимосвязь, теряет смысл, т. к. требует ненужных усилий, приводящим к потерям времени. При этом учет малых значений ковариаций может привести к погрешностям, которые при больших объемах вложений оказывают существенное влияние на структуру портфеля.

Для автоматизации аналитических подходов — при полной, частичной и отсутствующей корреляционной зависимости — была создана программа и графический интерфейс с использованием библиотек языка программирования Python. Программный продукт апробирован на примере процесса инвестирования с реальными данными российского фондового рынка.

Формализация задачи инвестирования

В основе рассматриваемых моделей лежит предположение, что имеется набор активов, который описывается вектором $\bar{r} = (\bar{r}_1, \dots, \bar{r}_i, \dots, \bar{r}_n)$, где $\bar{r}_i$ — ожидаемая доходность i -го финансового инструмента, и ковариационной матрицей $D = (\sigma_{ij})_{n \times n}$.

Стратегия инвестора состоит в распределении средств между активами и описывается вектором $x = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$, где x_i — доля средств, вкладываемая в i -й финансовый инструмент. Будем рассматривать более сложную с математической точки зрения инвестиционную задачу — нахождение портфеля ценных бумаг без коротких продаж, что выражается в наличии условий неотрицательности на переменные.

СКО случайной величины выигрыша при использовании стратегии $x = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ определяется, очевидно, по формуле $\sigma = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \sigma_{ik} x_i x_k \right)^{0.5}$ или в матрично-векторной форме $\sigma = \langle x, Dx \rangle^{0.5}$, где $\langle \cdot, \cdot \rangle$ — знак скалярного произведения векторов.

Введем n -мерный вектор $e(1, \dots, 1)$, тогда постановка задачи на максимум математического ожидания случайного значения доходности портфеля при ограничении сверху на СКО имеет вид

$$\max_{x \in P} \bar{r}, x, P = \{x \mid x, Dx^{0.5} \leq \sigma_0, x, e = 1, x \geq 0\}. \quad (1)$$

Множество P не пусто, если пороговое значение σ_0 не меньше минимального значения СКО на множестве $P_0 = \{x \mid \langle x, e \rangle = 1, x \geq 0\}$. Для

нахождения этого значения надо решить вспомогательную задачу квадратичного программирования:

$$d_0 = \min_{x \in P_0} x, Dx, \quad P_0 = \{x | x, e = 1, x \geq 0\}. \quad (2)$$

В работе [6] показано, что оптимальное значение целевой функции задачи (2) есть $d_0 = \tilde{D}^{-1}\tilde{e}, \tilde{e}^{-1}$, где $\tilde{e}$ — вектор из части компонент вектора e , полученный вычеркиванием компонент с номерами, соответствующим нулевым компонентам вектора x . Кроме этого, в [6] доказана теорема, которая обосновывает метод нахождения оптимальных стратегий, содержащих не менее двух ненулевых компонент.

Теорема 1. Если $\sigma_0 > d_0^{0.5}$, все $\tilde{r}_i$ различны, матрица $D = \|\sigma_{ik}\|$ положительно определена, то задача (1) имеет решение x^0 и оптимальная стратегия может быть представлена в виде

$$\tilde{x}^0 = \lambda^{0-1} \tilde{D}^{-1} (\tilde{r} - \mu^0 \tilde{e}),$$

$$\lambda^0 = \sqrt{\frac{\tilde{r}, \tilde{D}^{-1} \tilde{r} \tilde{e}, \tilde{D}^{-1} \tilde{e} - \tilde{e}, \tilde{D}^{-1} \tilde{r}^2}{\sigma_0^2 \tilde{e}, \tilde{D}^{-1} \tilde{e} - 1}}, \quad \mu^0 = \frac{\tilde{e}, \tilde{D}^{-1} \tilde{r} - \lambda^0}{\tilde{e}, \tilde{D}^{-1} \tilde{e}},$$

где $\tilde{D}$ — некоторая квадратная подматрица матрицы D , полученная вычеркиванием строк и столбцов с одинаковыми номерами, $\tilde{x}^0$ — вектор из ненулевых компонент вектора p^0 , $\tilde{r}$ — вектор из части компонент вектора $\tilde{a}$, $\tilde{e}$ — вектор из части компонент вектора e , полученные вычеркиванием компонент с номерами, соответствующим нулевым компонентам вектора x^0 .

В случае, когда учет коррелированности не осуществляется, СКО случайной величины доходности портфеля определяется, очевидно, по формуле $\sigma = \left(\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 x_i^2 \right)^{0.5}$, и обосновать метод решения задачи (1) можно с использованием координатного представления (см. [7]).

Практическая реализация

Полученные теоретические результаты применимы для поиска инвестиционной стратегии на российском фондовом рынке. Для начала необходимо отобрать компании, соблюдающие условие диверсификации портфеля. При этом мы будем рассматривать только те компании, которые являются известными и достаточно крупными в своей отрасли. Таким образом, мы выбрали 3–4 компании из разных секторов:

- Финансовый сектор: ВТБ, Тинькофф Банк, Сбербанк
- Связь: Ростелеком, МТС, АФК система
- Нефтяная промышленность: Газпром, Роснефть, Новатэк, Лукойл
- Обрабатывающая промышленность: ФосАгро, Акрон, Сегежа
- Насырьевые полезные ископаемые: Нор-Никель, Полюс Золото, Русал, НЛМК

- Электроэнергетика: Интер РАО, Русгидро, Российские Сети

- Транспорт: Аэрофлот, НМТП, Utair, Fesh

Фундаментальный анализ был проведен с использованием финансовых показателей каждой компании в каждом секторе [8]. Фундаментальный анализ затем был использован для проведения технического анализа [9], чтобы понять, стоит ли покупать выбранные акции в определенный момент (01.01.2022). Анализ этих финансовых показателей привел к следующим результатам.

Финансовый сектор. Из-за малого количества показателей для всех трех компаний был проведен технический анализ. Самым непривлекательным выглядит Тинькофф: Р/Е говорит о том, что компания окупит вложения только в течение 19 лет, тогда как у ВТБ и Сбербанка данные показатели значительно ниже; также в случае банкротства компания не сможет рассчитаться со всеми инвесторами. Тем не менее остальные показатели говорят о ее скрытом потенциале.

Связь. АФК система показала отрицательную доходность за 2021 год, а также отсутствие собственного капитала; наличие отрицательного FCF говорит о том, что данную компанию можно смело исключать из рассмотрения. Из оставшихся двух компаний-гигантов Ростелеком выглядит более стабильным и надежным, тем не менее у МТС достаточно большой показатель ROE. Для обеих компаний был проведен технический анализ.

Нефтяная промышленность. Газпром на момент проведения анализа не представил годовой отчет за 2021 год, поэтому компанию убираем из рассмотрения. Компания Новатэк по показателю P/S переоценена, но по остальным показателям она может заинтересовать инвесторов. У компании Роснефть ликвидные и оборотные активы не покрывают долгосрочные и краткосрочные обязательства соответственно. Лукойл выглядит наиболее стабильным из всех. Таким образом, все три компании требуют технического анализа.

Обрабатывающая промышленность. Компания Акрон имеет огромное значение показателя Р/Е, что говорит о ее переоцененности; относительно небольшой ROE говорит о том, что процентная ставка, под которую в компании работают деньги акционеров маленькая по сравнению с ФосАгро и Сегежей. Поэтому компанию Акрон убираем из рассмотрения. Для компаний ФосАгро и Сегежа проведен технический анализ.

Насырьевые полезные ископаемые. Компании Норильский Никель и Полюс Золото имеют огромный Р/В. Это означает, что денег, вырученных от продажи имущества, в случае их ликвидации не хватит, чтобы рассчитаться со

СУММ $f_x = (B3-B2)/B2$										
	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	FESH	РусГидро	НЛМК АО	ФосАгро АО	ЛУКОЙЛ	Ростелеком АО	Сбербанк	РУСАЛ АО		
2	19	4,775	0,4881	157,3400	2533	5007,0	72,96	186,990005	30,610	FESH
3	19	4,785	0,4921	155,6800	2542	5074,5	73,15	190,990005	30,870	РусГидро
4	19	4,990	0,4870	150,1200	2514	5039,0	73,50	191,240005	29,845	H
5	19	4,965	0,4948	153,7800	2521	5060,0	73,76	197	29,395	

Рис. 1. Фрагмент используемых данных

Fig. 1. Fragment of the data used

Таблица 1 (Table 1)

Результаты классификации тестовой выборки по разным моделям

Results of test sample classification by different models

	FESH	РусГидро	НЛМК АО	ФосАгро АО	ЛУКОЙЛ	Ростелеком	Сбербанк	РУСАЛ АО
FESH	0.0006800	0.0001137	0.0000837	0.0000379	0.0001189	0.0000330	0.0001100	0.0001458
РусГидро	0.000114	0.0002873	0.0000802	0.0000356	0.0001286	0.0000624	0.0001276	0.0001461
НЛМК АО	0.000084	0.0000802	0.0002890	0.0000492	0.0001228	0.0000443	0.0001126	0.0001586
ФосАгро АО	0.000038	0.0000356	0.0000492	0.0001670	0.0000297	0.0000342	0.0000263	0.0000550
ЛУКОЙЛ	0.000119	0.0001286	0.0001228	0.0000297	0.0004124	0.0000615	0.0001989	0.0001781
Ростелеком	0.000033	0.0000624	0.0000443	0.0000342	0.0000615	0.0001655	0.0000632	0.0000799
Сбербанк	0.000110	0.0001276	0.0001126	0.0000263	0.0001989	0.0000632	0.0003269	0.0001762
РУСАЛ АО	0.000146	0.0001461	0.0001586	0.0000550	0.0001781	0.0000799	0.0001762	0.0005105

своими акционерами в полном объеме. Также показатель P/S говорит о том, что компания Полус Золото переоценена инвесторами. Русал же в свою очередь имеет огромный свободный капитал, который не был потрачен на инвестиции. Для всех компаний был проведен технический анализ.

Электрэнергетика. Интер РАО на момент проведения анализа не предоставила годовой отчет, поэтому компания исключена из рассмотрения. РусГидро явно переоценен по PEG, тем не менее все остальные показатели у РусГидро, как и у En+ достаточно хорошие. Для обеих компаний проведен технический анализ.

Транспорт. Компания НМТП на момент проведения анализа не предоставила годовой финансовый отчет, поэтому компания исключена из рассмотрения. У компании Аэрофлот и Utair наблюдается отрицательная прибыль, а также отсутствие собственного капитала, то есть они существуют на заемные средства. Компания Fesh по показателям сильно выделяется на фоне остальных, поэтому только для нее проведен технический анализ.

В результате для конкретной реализации практической части были выбраны котировки акций восьми компаний на российском фондовом рынке:

- FESH – компания морского пароходства
- РусГидро – компания коммунальных услуг
- НЛМК АО – компания по добычи стали
- ФосАгро АО – компания удобрений и сельскохозяйственных химикатов
- ЛУКОЙЛ – компания по добыче, переработке и продаже нефти

- Ростелеком АО – компания беспроводных телекоммуникаций

- Сбербанк – региональный банк

- Русал АО – компания реализует промышленные и гражданские строительные проекты.

В качестве рассматриваемых данных возьмем дневные цены закрытия соответствующих акций на периоде с 01.01.2019 по 31.12.2021 включительно. Выбор данного временного периода обуславливается полнотой данных о ценах закрытия торгов для выбранных акций. Экспорт котировок акций компаний произведен с сайта finance.yahoo.com [10].

Фрагмент данных, содержащий цены закрытия и доходности по соответствующим тикерам приведен на рис. 1.

Получили вектор ожидаемых доходностей $\bar{r} = (0.00264, 0.0007, 0.00057, 0.0012, 0.00057, 0.00031, 0.00076, 0.00142)$, ковариационная матрица представлена в таблице 1.

Как было сказано во введении, ранее были разработаны метод построения оптимальной инвестиционной стратегии без учета ковариации доходностей (метод 1) и метод с полной ковариационной матрицей (метод 2). В ходе анализа методов решения поставленной задачи было принято объединить их в метод 3: в условии будет учитываться только значимые показатели ковариации. Таким образом метод 3 по процедуре поиска решения будет совпадать со методом 2, учитывающим ковариации, однако значимость ковариации будет определяться по количеству порядков после запятой. Например, 0.1 и 0.001 различаются на 2 ноля, что делает 0.001 не значимым числом.

Таблица 2 (Table 2)

Разреженная ковариационная матрица
Sparse covariance matrix

	FESH	РусГидро	НЛМК АО	ФосАгро АО	ЛУКОЙЛ	Ростелеком	Сбербанк	РУСАЛ АО
FESH	0.0006800	0.0001137	0.000000	0.000000	0.0001189	0.000000	0.0001100	0.0001458
РусГидро	0.000114	0.0002873	0.000000	0.000000	0.0001286	0.000000	0.0001276	0.0001461
НЛМК АО	0.000000	0.000000	0.0002890	0.000000	0.0001228	0.000000	0.0001126	0.0001586
ФосАгро АО	0.000000	0.000000	0.000000	0.0001670	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ЛУКОЙЛ	0.000119	0.0001286	0.0001228	0.000000	0.0004124	0.000000	0.0001989	0.0001781
Ростелеком	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0001655	0.000000	0.000000
Сбербанк	0.000110	0.0001276	0.0001126	0.000000	0.0001989	0.000000	0.0003269	0.0001762
РУСАЛ АО	0.000146	0.0001461	0.0001586	0.000000	0.0001781	0.000000	0.0001762	0.0005105

Появилась проблема определения значимости в случае, если числа были равны 0.01 и 0.009, однако было принято решение о том, что число не будет учитываться если в нем больше нулей после запятой чем у ковариационных моментов.

В нашем примере необходимо сравнивать минимальный показатель дисперсии с каждым ковариационным моментом. Все незначимые числа, то есть которые имеют 4 знака 0 после запятой, не учитываются, т. е. равны 0. Таким образом, получаем разреженную ковариационную матрицу (таблица 2).

Так как предлагаемый метод предполагает перебор подматриц ковариационной матрицы, то в случае разреженной ковариационной матрицы D часть подматриц оказывается диагональными. Но, если некоторая квадратная подматрица $\tilde{D}$ матрицы D диагональная, то вычисление $\tilde{D}^{-1}$ упрощается.

Наличие условий неотрицательности в задаче (1) приводит к тому, что приходится пересчитывать несколько раз состав портфеля по формулам, меняя используемые акции (примеры таких расчетов приведены в [2, 3]). В настоящее время все чаще используются языки программирования для упрощения вычисления и графического представления проделанной работы. PyQt5 – это набор библиотек в Python, который позволяет создать графический интерфейс. Этот набор использует встроенные Python-модули, которые позволяет быстро собрать интерфейс для удобного использования.

Разработанная программа осуществляет выбор временного периода и первоначального

списка акций, обработку данных, ввод определяющих параметров и проверку условий, и определяет состав оптимального портфеля инвестиций одним их трех методов (написание программ осуществлялась при участии студента Финуниверситета Масловой А.Е.).

Переходим в Python и загружаем библиотеки (рис. 2).

После этого формируем класс, в котором начинаем строить наш интерфейс используя описанные задачи в пункте 1. Для начала создаем QHBoxLayout и QVBoxLayout, для формирования структуры вводимых данных. Так для названия и текста тикеров нужен 1 бокс, а для даты – 3, для списка методов, кнопок «по умолчанию» и «запуска» еще 1, для кнопки сброса тоже 1.

Далее создаем и размещаем атрибуты. Для каждой кнопки необходимо создать некоторую функцию. Кнопка «сброс» очищает все поля в окне. Кнопка «по умолчанию» заполняет данными из примера. Кнопка «запуск» запускает функции. Затем необходимо создать функцию ввода тикеров и дат в виде календарей, добавить текст (рис. 3). Реализуем выдвижной список из методов – с учетом корреляции, без учета корреляции, комбинированный метод (рис. 4).

Для каждого метода необходимо реализовать функцию, которая будет работать на любых тикерах за любые даты. Получаем 4 функции, ко-

```
import PyQt5
import sys
import numpy as np
import pandas as pd
import yfinance as yf
import scipy.stats as sps
import numpy as np
import func
import parameters|
```

Рис. 2. Библиотеки в Python
Fig. 2. Libraries in Python

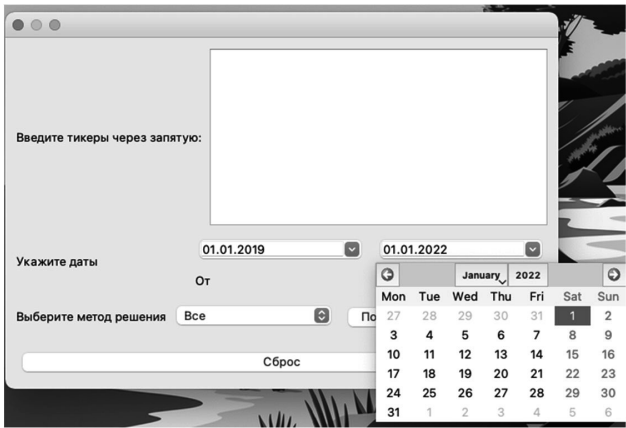


Рис. 3. Выпадающий календарь
Fig. 3. Dropdown calendar

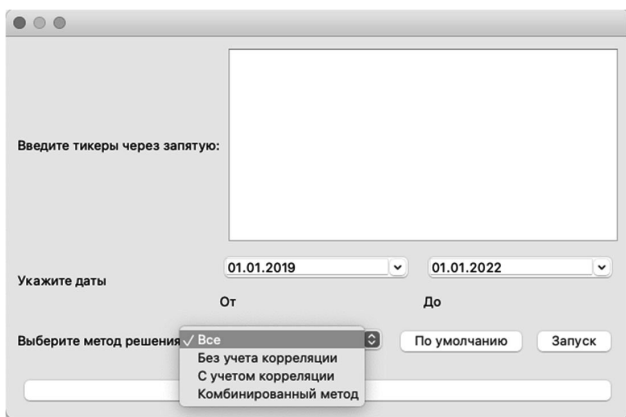


Рис. 4. Выпадающий список

Fig. 4. Dropdown list

Введите риск					
Без учета корреляции		С учетом корреляции		Комбинированный метод	
	Портфель миним.		Портфель миним.		Портфель миним.
FESH.ME	5.27 %	FESH.ME	4.4 %	FESH.ME	4.59 %
HYDR.ME	12.48 %	HYDR.ME	8.81 %	HYDR.ME	14.71 %
LKOH.ME	8.7 %	LKOH.ME	2.61 %	LKOH.ME	0.38 %
NLMK.ME	12.41 %	NLMK.ME	10.38 %	NLMK.ME	16.56 %
PHOR.ME	21.47 %	PHOR.ME	35.45 %	PHOR.ME	30.55 %
RTKM.ME	21.67 %	RTKM.ME	32.28 %	RTKM.ME	30.83 %
RUAL.ME	7.02 %	SBER.ME	6.06 %	SBER.ME	2.38 %
SBER.ME	10.97 %	Доходность	0.0823 %	Доходность	0.08 %
Доходность	0.0854 %	Минимальный риск	0.0083 %	Минимальный риск	0.0051 %
Минимальный риск	0.0036 %	Максимальный риск	0.068 %	Максимальный риск	0.068 %
Максимальный риск	0.068 %				
Введите риск в % 0.067995					
OK					

Рис. 5. Ненулевые компоненты портфеля

минимального риска

Fig. 5. Non-zero components of the minimum risk portfolio

Введите риск					
Без учета корреляции		С учетом корреляции		Комбинированный метод	
	Оптимальный портфель 1		Оптимальный портфель 2		Оптимальный портфель 3
FESH.ME	29.38	FESH.ME	17.78	FESH.ME	27.77
HYDR.ME	5.89	HYDR.ME	5.56	HYDR.ME	3.96
LKOH.ME	1.15	NLMK.ME	4.23	NLMK.ME	11.45
NLMK.ME	1.7	PHOR.ME	48.19	PHOR.ME	48.8
PHOR.ME	38.21	RTKM.ME	16.55	RTKM.ME	8.02
RUAL.ME	16.67	SBER.ME	7.69	Доходность	0.1435
SBER.ME	7.0	Доходность	0.1219	Риск	0.01
Доходность	0.158	Риск	0.01		
Риск	0.01				

Рис. 6. Портфели с ограниченным риском

Fig. 6. Portfolios with limited risk

которые выводят портфель минимального риска (рис. 5) с соответствующей доходностью (задача (2)) и с максимально возможным для инвестора риском σ_0 (задача (1)) отдельно для выбранного способа реализации. После их выполнения выводится следующее окно, которое содержит в себе таблицы и строку для ввода риска.

При вводе параметра — значения риска σ_0 — можно ввести число в диапазоне между минимальным и максимальным риском. Далее необходимо реализовать еще три функции для

трех методов: каждая из них будет считать оптимальный портфель при заданном значении риска. Однако при выборе одного из методов, риск необходимо ввести в диапазоне для этого метода, а при использовании всех трех методов риск должен быть выше максимального из минимальных рисков. Например, для риска σ_0 равного 0.01% ненулевые компоненты портфелей представлены на рис. 6.

На рис. 6 представлены разные составы портфелей для одного и того же уровня риска. Для сравнения инвестиционных портфелей, полученных разными методами, были построены графики доходности и риска для трех методов (рис. 7).

Можно сделать вывод, что метод 1 без учета корреляции показывает лучшую доходность при меньшем риске, однако метод с учетом корреляции контролируют диверсификацию портфеля, не позволяя даже слабо коррелированным компаниям присутствовать в портфеле, что защитит портфель в случае непредвиденного риска. Метод 3, являющийся некой комбинацией методов 1 и 2, учитывает только значимые ковариационные моменты, облегчая процедуру нахождения решения задачи (1), особенно если в краткосрочной перспективе приходится часто менять структуру портфеля.

Заключение

Предложенный метод с использованием разреженной ковариационной матрицы сокращает время нахождения оптимального портфеля ценных бумаг. В условиях динамично меняющегося фондового рынка такой подход является обоснованным и для активной стратегии инвестирования может привести в перспективе к лучшим результатам.

Техническая реализация предложенного метода — использование языка программирования Python для создания графического интерфейса — позволяет автоматизировать процесс построения инвестиционной стратегии.



Рис. 7. График результатов использования трех методов

Fig. 7. Graph of the results of using the three methods

Литература

1. Горелик В.А., Золотова Т.В. Критерии оценки и оптимальности риска в сложных организационных системах. Научное издание. М.: ВЦ РАН, 2009. 162 с.
2. Ногин В. Д. Множество и принцип Парето. 2020. 100 с.
3. Подиновский В. Введение в теорию важности критериев. Litres, 2022. 63 с.
4. Шарп Уильям Ф., Александер Гордон Дж., Бэйли Джеффри В. Инвестиции. М.: ИНФРА-М, 2018. 1028 с.
5. Gorelik V.A., Zolotova T.V. Risk management in stochastic problems of stock investment and its Application in the Russian Stock Market // Proc. of the 13-th International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD'2020). Moscow, 2020. С. 1-5.
6. Gorelik V.A., Zolotova T.V. Stochastic Principles of Optimality in Games with Nature

and Their Application in Investment Management // Proc. of the 14-th International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD'2021). Moscow, 2021. С. 1-5.

7. Горелик В.А., Золотова Т.В. Использование статистических оценок в игре с природой как модели инвестирования // Статистика и экономика. 2020. Т. 17. № 6. С. 64–72. DOI: 10.21686/2500–3925-2020-6-64-72.

8. Сабиржанова Е. В., Квач Н. М. Фундаментальный анализ как аналитический инструмент инвестиций // Научное издание. 2023. 161 с.

9. Аксенов С. Ю., Выжитович А. М. Методические аспекты выбора оптимального момента совершения сделок на рынке ценных бумаг на основе технического анализа // Вестник НГУЭУ. 2021. № 1. С. 145-160.

10. Finance.yahoo.com [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://finance.yahoo.com/?guccounter=1>.

References

1. Gorelik V.A., Zolotova T.V. Kriterii otsenki i optimal'nosti riska v slozhnykh organizatsionnykh sistemakh. Nauchnoye izdaniye = Criteria for risk assessment and optimality in complex organizational systems. Scientific publication. Moscow: Computing Center of the Russian Academy of Sciences; 2009. 162 p. (In Russ.)
2. Nogin V.D. Mnozhestvo i printsip Pareto = The Pareto Set and Principle. 2020. 100 p. (In Russ.)
3. Podinovskiy V. Vvedeniye v teoriyu vazhnosti kriteriyev = Introduction to the Theory of Criteria Importance. Litres; 2022. 63 p. (In Russ.)
4. Sharp Uil'yam F., Aleksander Gordon Dzh., Beyli Dzheftri V. Investitsii = Investments. Moscow: INFRA-M; 2018. 1028 p. (In Russ.)
5. Gorelik V.A., Zolotova T.V. Risk management in stochastic problems of stock investment and its Application in the Russian Stock Market. Proc. of the 13-th International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD'2020). Moscow; 2020: 1-5. (In Russ.)

6. Gorelik V.A., Zolotova T.V. Stochastic Principles of Optimality in Games with Nature and Their Application in Investment Management. Proc. of the 14-th International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD'2021). Moscow; 2021: 1-5. (In Russ.)

7. Gorelik V.A., Zolotova T.V. Using Statistical Estimates in a Game with Nature as an Investment Model. Statistika i ekonomika = Statistics and Economics. 2020; 17; 6: 64–72. DOI: 10.21686/2500–3925-2020-6-64-72. (In Russ.)

8. Sabirzhanova Ye.V., Kvach N.M. Fundamental Analysis as an Analytical Tool for Investments. Nauchnoye izdaniye = Scientific Publication. 2023. 161 p. (In Russ.)

9. Aksenov S.Yu., Vyzhitovich A.M. Methodological aspects of choosing the optimal moment for making transactions in the securities market based on technical analysis. Vestnik NGUEU = Bulletin of NSUEM. 2021; 1: 145-160. (In Russ.)

10. Finance.yahoo.com [Internet]. Available from: <https://finance.yahoo.com/?guccounter=1>.

Сведения об авторах

Виктор Александрович Горелик
Федеральный исследовательский центр
«Информатика и управление» РАН,
Москва, Россия
Эл. почта: gorelik@ccas.ru

Татьяна Валерьяновна Золотова
Финансовый университет при Правительстве
Российской Федерации,
Москва, Россия
Эл. почта: tzolotova@fa.ru

Information about the authors

Victor A. Gorelik
Federal Research Center «Informatics and
Management» of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia
E-mail: gorelik@ccas.ru

Tatiana V. Zolotova
Financial University under the Government of the
Russian Federation,
Moscow, Russia
E-mail: tzolotova@fa.ru



УДК 519.233.3

DOI: <http://dx.doi.org/10.21686/2500-3925-2024-6-57-67>

А.А. Типикин, А.А. Прусаков, Н.А. Тимошенко

Военный учебно-научный центр Военно-морского флота
«Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза
Н.Г. Кузнецова, Санкт-Петербург, Россия

Программная реализация критерия Эппса-Палли в среде моделирования Matlab

Цель работы. Системы моделирования и платформы программирования дают широкие возможности по использованию статистических инструментов в научно-исследовательской деятельности. Так как нормальное распределение является одним из наиболее часто встречающихся законов распределения, то критерий проверки выборки на нормальность имеет высокую востребованность среди инструментов статистического оценивания, среди которых критерий Эппса-Палли имеет статус одного из наиболее мощных тестов для проверки отклонения распределения от нормального. Есть ряд реализаций данного теста на языках R и Python. Однако в одной из наиболее популярных систем моделирования Matlab данный тест не реализован. Таким образом, цель данного исследования разработать программную реализацию критерия Эппса-Палли в среде Matlab и проверить корректность проводимых расчетов.

Материалы и методы. Вычисление статистики Эппса-Палли реализовано двумя методами — классическим, с помощью циклов, и матрично-векторным — с помощью операций линейной алгебры. Классический метод требует вычисления промежуточных величин, необходимых для получения статистики критерия, с помощью двух независимых циклов, причем второй цикл является двойным, в котором один цикл вложен в другой. Матрично-векторный метод требует меньше строк кода за счет выполнения расчетов с помощью операций линейной алгебры над матрицами и векторами. Критические значения статистики для объема выборки от 8 до 1000 элементов получены с помощью

двухмерной линейной интерполяции табличных значений. Для выборки свыше 1000 элементов использована аппроксимация бета-функцией III рода.

Результаты. Оценка вычислительной эффективности способов показала, что циклический подход примерно в три раза превосходит матрично-векторный по показателю затрачиваемого времени, что предположительно связано с обработкой незначимых элементов в треугольных матрицах при выполнении покомпонентных операций. Корректность программной реализации теста Эппса-Палли проверена на нескольких примерах, которые подтвердили соответствие рассчитываемых значений статистики критерия, а также критических значений статистики, известным данным. Проведена статистическая оценка критерия по эмпирическим значениям ошибки первого рода. Получено соответствие значений ошибок задаваемым уровням значимости. Проведены сравнительные оценки критерия Эппса-Палли с критериями Андерса-Дарлинга и Шапиро-Уилка по показателю эмпирической мощности критерия. Результаты оценок табулированы.

Программная реализация критерия Эппса-Палли опубликована на Интернет-ресурсе MATLAB Central и доступна для свободного использования.

Ключевые слова: критерий Эппса-Палли, нормальное распределение, моделирование, программная реализация, вычислительная эффективность, ошибка первого рода, мощность критерия.

Alexey A. Tipikin, Alexander A. Prusakov, Nikolai A. Timoshenko

Military Training and Research Center of the Navy
"Naval Academy named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov", St. Petersburg, Russia

Software Implementation of the Epps-Pulley Criterion in Matlab Modeling Environment

Purpose. Modeling systems and programming platforms provide broad opportunities for the use of statistical tools in research activities. Since the normal distribution is one of the most common distribution laws, the criterion for checking the sample for normality is in high demand among statistical assessment tools, among which the Epps-Pulley test has the status as one of the most powerful tests to check the deviation of the distribution from the normal one. There are a number of implementations of this test in the R and Python languages. However, this test is not implemented in one of the most popular Matlab modeling software. Thus, the purpose of this study is to develop a software implementation of the Epps-Pulley criterion in the Matlab environment and verify the correctness of the performed calculations.

Materials and methods. We implemented the calculation of Epps-Pulley statistics by two methods — classical, using cycles, and matrix-vector, using linear algebra operations. The classical method requires calculating the intermediate values necessary to obtain the criterion statistics using two independent cycles, the second cycle being a double one, in which one cycle is nested within the other. The matrix-vector method requires fewer lines of code by performing calculations using linear algebra operations on matrices and vectors. We obtained critical statistical values for the sample size ranging from 8 to 1000 elements with two-dimensional linear interpolation

of tabular values. We used an approximation by a beta function of the third kind for a sample of over 1000 elements.

Results. An assessment of the computational efficiency of the methods showed that the cyclic approach is about three times higher than the matrix-vector approach in terms of consumed time, which is presumably associated with the processing of insignificant elements in triangular matrices when performing component-by-component operations. The correctness of the software implementation of the Epps-Pulley criterion was tested on several examples, which confirmed the compliance of the calculated values of the criterion statistics, as well as the critical values of statistics, with known data. We carried out a criterion statistical evaluation based on the empirical values of the error of the first kind. We obtained the error values correspondence to the specified significance levels. We performed comparative estimates of the Epps-Pulley test with the Anders-Darling and Shapiro-Wilk tests in terms of the criterion empirical power. Evaluation results are tabulated. The software implementation of the Epps-Pulley test is published on the MATLAB Central Internet resource and is available for free use.

Keywords: Epps-Pulley criterion, normal distribution, simulation, software implementation, calculation efficiency, error of the first kind, criterion power.

Введение

Проверка распределения погрешностей (остатков) моделирования на нормальность является неотъемлемой частью проверки практически любой разработанной модели на адекватность [1, 2]. В настоящее время существует множество критериев оценки нормальности распределения, среди которых как широко известные критерии Пирсона и Колмогорова [3, 4], так и более современные Андерса-Дарлинга, Шапиро-Уилка и Эппса-Палли [5–7] и др.

В работах [8, 9] установлено, что критерий Эппса-Палли является одним из наиболее мощных. В частности, по этому показателю он превосходит критерии Шапиро-Уилка, Д’Агостино, Дэвида-Хартли-Пирсона, однако имеет недостаток – при малых объемах выборки неспособен отличать от нормального закона, распределения с более плоскими плотностями вероятностей (с коэффициентом эксцесса $E_s \leq 2$); но этот недостаток также свойственен и критерию Шапиро-Уилка [10]. Ряд достоинств критерия Эппса-Палли описан в работе [7].

В то же самое время многие научные и инженерные системы компьютерной математики, используемые в интересах моделирования, имеют в своем составе пакеты статистического анализа, которые позволяют интегрировать процесс статистической проверки моделей. В достаточно популярной системе моделирования Matlab при наличии пакета расширения Statistics and Machine Learning для проверки нормальности распределения предлагается использовать критерии Пирсона, Колмогорова-Смирнова и Лиллиефорса [11]. Критерий Шапиро-Уилка реализован пользовательским сообществом [12], однако критерий Эппса-Палли в данной системе отсутствует, при том,

что он реализован на языках Python и R [13–15].

Таким образом, целью работы является расширение возможностей по использованию современных критериев проверки на нормальность в системах компьютерного моделирования путем реализации критерия Эппса-Палли в системе моделирования Matlab.

Методы расчета статистики критерия Эппса-Палли

Порядок расчета статистики критерия Эппса-Палли приведен в [16, 17] и общем выражается формулой:

$$T_{EP} = 1 + \frac{N}{\sqrt{3}} + B - A, \tag{1}$$

где

$$A = \sqrt{2} \sum_{j=1}^N \exp \left(- \frac{(x_j - \bar{x})^2}{4m_2} \right); \tag{2}$$

$$B = \frac{2}{N} \sum_{k=2}^N \sum_{j=1}^{N-1} \exp \left(- \frac{(x_j - \bar{x})^2}{2m_2} \right), \tag{3}$$

В формулах (1)–(3) введены обозначения N – объем выборки, $\bar{x}$ – среднее выборочное, m_2 – центральный момент 2-го порядка.

Как видно из формул (2) и (3) величины A и B вычисляются с помощью многократного суммирования, что обычно традиционно реализуется в виде цикла [13, 18]. Алгоритм расчета величин A и B с помощью циклов показан на рис. 1.

Если учитывать, что система моделирования Matlab изначально оптимизирована для выполнения матричных операций, то логично предположить, что избавление от циклов и переход к операциям линейной алгебры повысит вычислительную эффективность алгоритма.

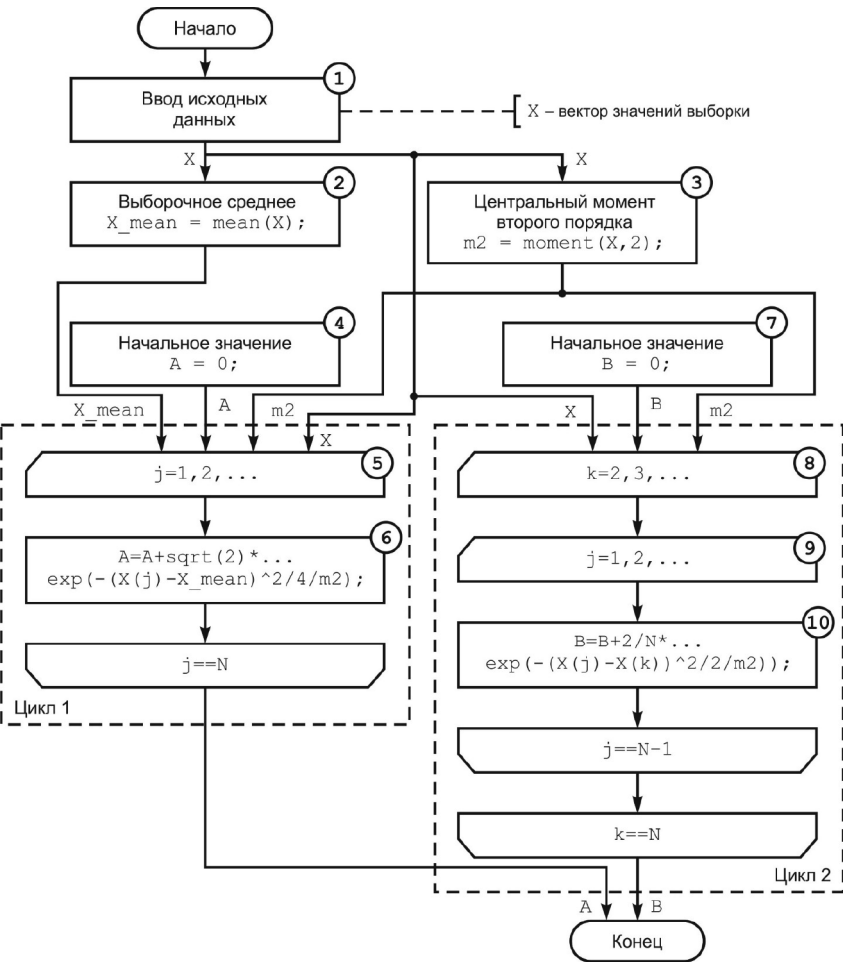


Рис. 1. Алгоритм расчета величин A и B с помощью циклов

Fig. 1. The algorithm for calculating A and B values using cycles

Тогда величины A и B могут быть рассчитаны по формулам:

$$A = \sqrt{2} \sum \left\langle \exp \left(-\frac{(X - \bar{X})^{(2)}}{4m_2} \right) \right\rangle;$$

$$B = \frac{2}{N} \sum \left\langle L \left\langle \exp \left(-\frac{(X_j - X_k)^{(2)}}{2m_2} \right) \right\rangle \right\rangle,$$

где

$$\begin{aligned} X_k &= (U_1 \langle \times \rangle X_1)^T; \\ X_j &= L_1 \langle \times \rangle X_2; \\ X &= \{x_1, x_2, \dots, x_N\}; \\ X_1 &= \{x_2, x_3, \dots, x_N\}; \\ X_2 &= \{x_1, x_2, \dots, x_{N-1}\}, \end{aligned}$$

здесь обозначены: U_1 – верхняя треугольная матрица размера $(N - 1) \times (N - 1)$, все ненулевые элементы которой равны единице, L_1 – нижняя треугольная матрица размера $(N - 1) \times (N - 1)$, все ненулевые элементы которой равны единице, $L\langle \dots \rangle$ – оператор преобразования матрицы в нижнюю треугольную матрицу (приравниваются нулю все элементы выше главной диагонали), $\Sigma\langle \dots \rangle$ – оператор суммирования всех элементов матрицы (вектора), $\langle \times \rangle$ – оператор покомпонентного умножения, $X^{(2)}$ – покомпонентное возведение в квадрат.

Следовательно, алгоритм вычисления величин A и B вместо циклов (см. рисунок 1) может быть представлен операциями над матрицами и векторами. Алгоритм вычисления величин A и B с помощью операций линейной алгебры показан на рис. 2, причем операции в блоках 4, 5 и 6 могут выполняться параллельно.

Сравнение вычислительной эффективности способов расчета статистики

Для сравнения вычислительной эффективности по критерию наименьшего затрачиваемого времени проведены расчеты вычислений статистики критерия Эппса-Палли с различными объемами выборки. Для каждой выборки выполнено по 500 расчетов. На рисунках 3 и 4 изображены

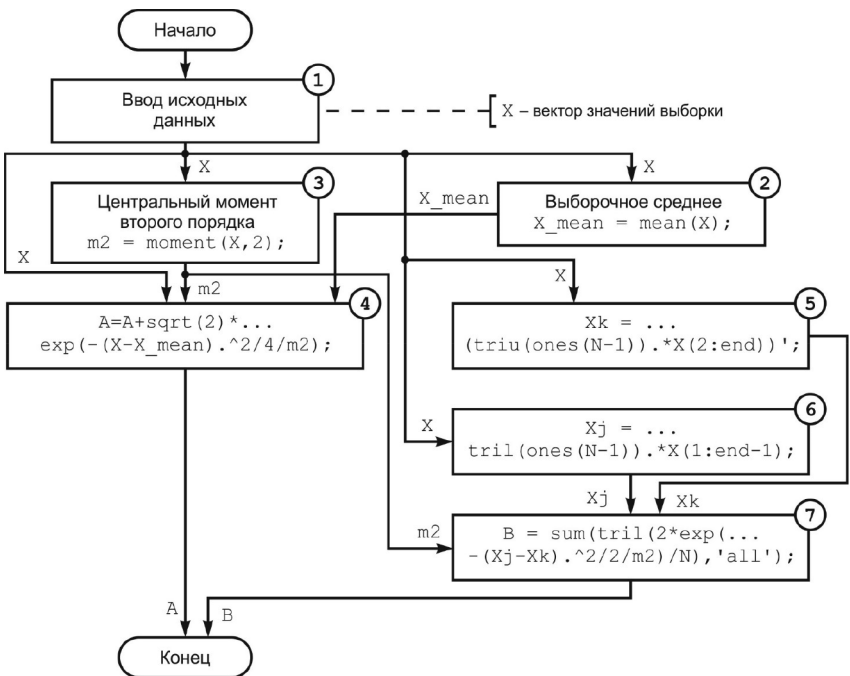


Рис. 2. Алгоритм вычисления величин A и B с помощью операций линейной алгебры

Fig. 2. The algorithm for calculating A and B values using linear algebra operations

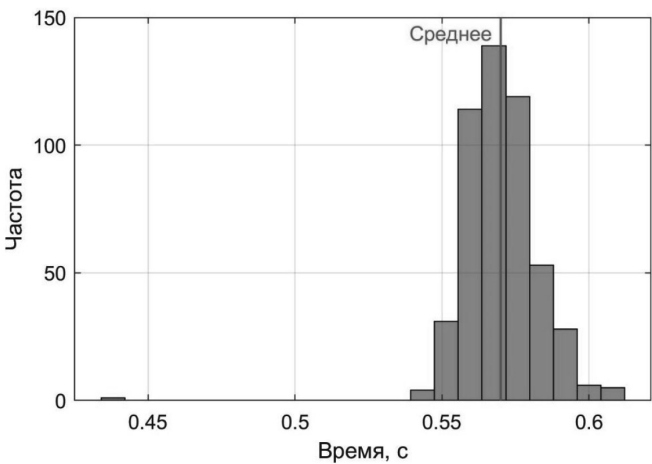


Рис. 3. Время, затрачиваемое на вычисление статистики критерия Эппса-Палли с помощью матрично-векторных операций при объеме выборки 5000 наблюдений

Fig. 3. The time consumed for the Epps-Pulley criterion statistics calculation using matrix-vector operations with a sample size of 5000 observations

гистограммы распределения времени, затрачиваемого на вычисление статистики критерия Эппса-Палли с помощью матрично-векторных операций и с помощью циклических расчетов при объеме выборки 5000 наблюдений.

Средние значения затрачиваемого времени сведены в табл. 1.

Как видно из таблицы, по показателю времени, затрачива-

емого на проведение расчетов, вариант 2 имеет приблизительно трехкратное преимущество над вариантом 1. Предположительно это объясняется дополнительным временем, связанным с выполнением операций с незначительными (нулевыми) элементами в треугольных матрицах. Возможно, это время можно уменьшить, если оптимизировать вычислительные алгоритмы, но для этого требуется

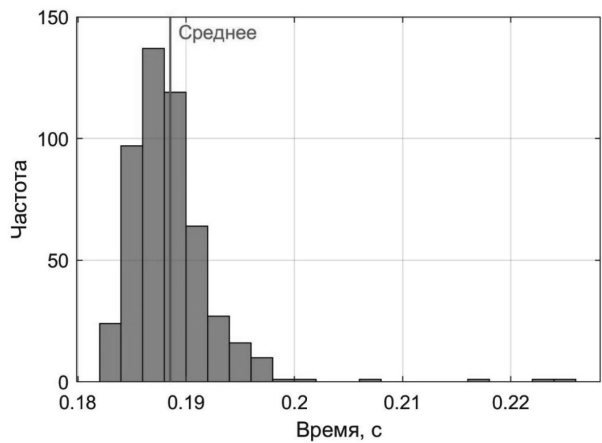


Рис. 4. Время, затрачиваемое на вычисление статистики критерия Эппса-Палли с помощью циклических расчетов при объеме выборки 5000 наблюдений

Fig. 4. The time consumed for the Epps-Pulley criterion statistics calculation using cyclic calculations with a sample size of 5000 observations

Таблица 1 (Table 1)

Объем выборки	Средние значения времени, затрачиваемого на вычисления Average values of the time consumed for calculations					
	100	500	1000	5000	10000	15000
Матрично-векторный способ (вариант 1)	$2,14 \cdot 10^{-4}$	$5,06 \cdot 10^{-3}$	$2,24 \cdot 10^{-2}$	0,570	2,26	4,97
Циклический способ (вариант 2)	$1,85 \cdot 10^{-4}$	$2,00 \cdot 10^{-3}$	$7,66 \cdot 10^{-2}$	0,189	0,75	1,68

низкоуровневый доступ к памяти электронно-вычислительной машины, который в Matlab не обеспечивается.

Расчет критических значений статистики

Критические значения статистики Эппса-Палли для объемов выборки от 8 до 200 и уровней значимости от 0,01 до 0,1 приведены в [16]. В работе [8] представлены данные для объемов выборки от 8 до 1000 и уровней значимости от 0,01 до 0,15. Указанные сведения могут быть использованы в табличном виде. Для получения промежуточных критических значений статистики выполняется двухмерная линейная интерполяция.

При объеме выборки более 1000 наблюдений целесообразно использовать приближенные распределения статистики критерия с помощью бета-распределения III рода с предельными параметрами [8].

Кумулятивная функция бета-распределения записывается как [4]:

$$F(x|a,b) = \frac{B(x|a,b)}{B(a,b)} = \frac{1}{B(a,b)} \int_0^x t^{a-1} (1-t)^{b-1} dt; \quad x \in [0,1], a > 0, b > 0, \quad (4)$$

где бета-функция имеет вид:

$$B(a,b) = \frac{\Gamma(a)\Gamma(b)}{\Gamma(a+b)} = \int_0^1 t^{a-1} (1-t)^{b-1} dt, \quad \text{здесь } \Gamma(z) - \text{гамма-функция, выражаемая формулой:}$$

$$\Gamma(z) = \int_0^\infty t^{z-1} e^{-t} dt. \quad (5)$$

Если в формуле (4) вместо x подставить производящую функцию

$$g(x|\delta,\alpha,\beta) = \frac{\delta^{\frac{x-\alpha}{\beta}}}{1 + (\delta-1)\frac{x-\alpha}{\beta}},$$

то получим бета-распределение III рода, аппроксимирую-

щее распределение статистики Эппса-Палли:

$$F(x|\theta_0,\theta_1,\theta_2,\theta_3,\theta_4) = \frac{B(g(x|\theta_2,\theta_3,\theta_4)|\theta_0,\theta_1)}{B(\theta_0,\theta_1)}, \quad (6)$$

с предельными значениями параметров [8]:

$$\theta_0 = 1,7669; \theta_1 = 2,1668; \theta_2 = 6,7594; \theta_3 = 0,91; \theta_4 = 0,0016.$$

Графики кумулятивной функции ($F(x)$) и плотности вероятности ($f(x)$) бета-распределения III рода, полученные по формуле (6) с предельными параметрами, показаны на рис. 5.

Оценка корректности реализации критерия

Код функции eptest, выполняющей проверку нормальности по критерию Эппса-Палли доступен на ресурсе Matlab-Central [19]. Данная функция возвращает результат проверки, расчетную величину статистики и критическое значение статистики Эппса-Палли. Если расчетное значение статистики не превышает критическое, то результат проверки равен 0 (нулевая гипотеза не отклоняется на заданном уровне значимости), в ином случае – 1 (нулевая гипотеза отклоняется на заданном уровне значимости).

Корректность тестирования гипотез проверена на нескольких примерах. Один из них – применение критерия Эппса-Палли для проверки нормальности распределения результатов измерения прочности вискозной нити [16]. Нормальный вероятностный график измеренных значений показателя прочности вискозной нити показан на рис. 6.

Как видно из рисунка, данные измерений сильно отклоняются от нормального распределения в хвостах. Это дает основание предполагать о несоответствии закона распределения выборки нормальному закону. Тестирование по кри-

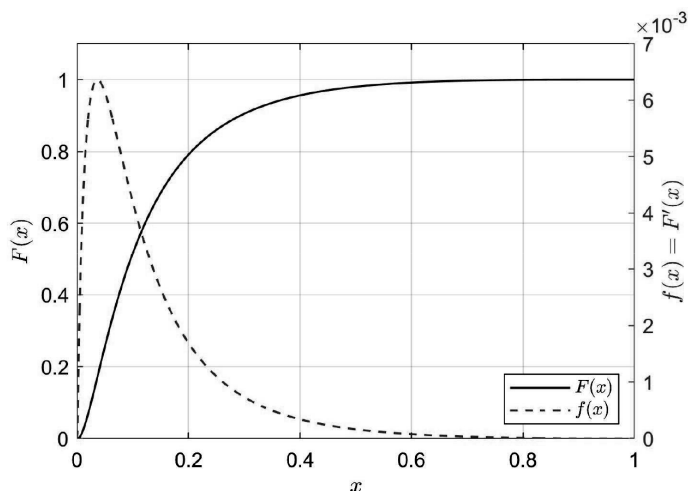


Рис. 5. Графики кумулятивной функции ($F(x)$) и плотности вероятности ($f(x)$) бета-распределения III рода с предельными параметрами
Fig. 5. Graphs of the cumulative function ($F(x)$) and probability density ($f(x)$) of the beta distribution of the third kind with limiting parameters

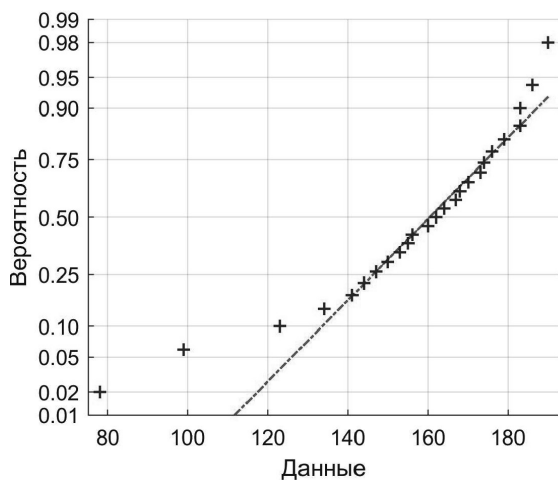


Рис. 6. Нормальный вероятностный график значений показателя прочности вискозной нити
Fig. 6. Normal probabilistic graph of the values of the viscose filament strength index

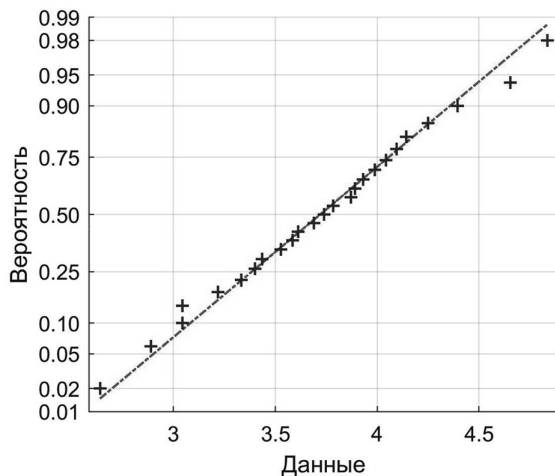


Рис. 7. Нормальный вероятностный график преобразованных значений показателя прочности вискозной нити
Fig. 7. Normal probabilistic graph of the transformed values of the viscose filament strength index

терию Эппса-Палли отвергает нулевую гипотезу на уровне значимости 0,01. При этом рассчитанное значение статистики 0,612 совпадает с данными примера. Однако критическое значение 0,57 отличается, что связано с различиями в таблицах критических значений в [8] и [16].

Если выполнить логарифмическое преобразование значений выборки по формуле $\ln(204 - x)$, то преобразованные значения показателя прочности вискозной нити гораздо лучше совпадают с прямой нормального распределения, как это показано на рис. 7.

Теперь тестирование по критерию Эппса-Палли не отвергает гипотезу о нормальном распределении данных. Расчетное значение статистики составляет 0,006, что также совпадает с примером.

Другой пример представляет собой данные измерений скорости света, выполненные С.Ньюкомом [20]. Гистограмма результатов измерений показана на рис. 8.

Как видно из рис. 8 в массиве данных присутствуют выбросы, искажающие результаты тестирования. В этом случае гипотеза о нормальности распределения отвергается на уровне значимости 0,01. Рассчитанное значение статистики 4,12 превышает критическое значение, равное 0,58.

Если из выборки убрать все величины, выходящие за трехкратное абсолютное отклонение от медианы, рассчитываемое по формуле:

$$MAD = c \cdot \text{med}(|x_i - \text{med}(\mathbf{X})|),$$

где

$$c = -\frac{1}{\sqrt{2}} \text{erfcinv} \frac{3}{2};$$

erfcinv — обратная дополнительная функция ошибок, то повторное тестирование не отклоняет нулевую гипотезу на уровне значимости 0,01, при этом рассчитанное значение статистики составляет 0,11.

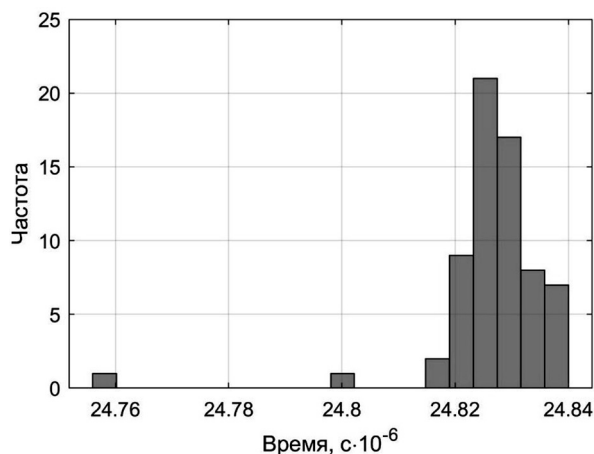


Рис. 8. Гистограмма результатов измерений скорости света, выполненных С. Ньюкомом

Fig. 8. Histogram of light speed measurements results, performed by S. Newcomb

Таблица 2 Table 2

Эмпирические вероятности ошибки первого рода для критериев
Андерса-Дарлинга, Шапиро-Уилка и Эппса-Палли
Empirical probabilities of error of the first kind for the Anders-Darling,
Shapiro-Wilk and Epps-Pulley tests

Объем выборки	Уровень значимости				
	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01
10	0,1521	0,0999	0,053	0,0257	0,0114
	0,1783	0,1185	0,0632	0,0316	0,0133
	0,1496	0,0977	0,0513	0,0268	0,0118
20	0,1544	0,0981	0,0525	0,0256	0,0117
	0,182	0,1227	0,0613	0,0311	0,0125
	0,1469	0,1004	0,0531	0,0252	0,0113
30	0,1566	0,1036	0,0478	0,024	0,0102
	0,186	0,1235	0,06	0,0285	0,0106
	0,1514	0,0979	0,0465	0,0232	0,0096
40	0,147	0,0996	0,0482	0,0241	0,0093
	0,1785	0,1237	0,0621	0,0306	0,0112
	0,1459	0,101	0,0501	0,0255	0,01
50	0,1451	0,1074	0,0446	0,0261	0,0106
	0,1762	0,1301	0,0563	0,0321	0,0118
	0,1437	0,1045	0,0452	0,028	0,0122
100	0,1442	0,1008	0,0481	0,0257	0,0089
	0,1738	0,12	0,0589	0,0302	0,0127
	0,1484	0,1032	0,0481	0,0267	0,0101
150	0,1548	0,094	0,0487	0,0256	0,0085
	0,1751	0,1137	0,0627	0,0295	0,011
	0,1529	0,0921	0,0488	0,0242	0,0089
300	0,1501	0,099	0,053	0,0256	0,0106
	0,1718	0,1163	0,0628	0,0305	0,0121
	0,1503	0,1016	0,0544	0,0243	0,0101
MAE	0,0040	0,0027	0,0026	0,0008	0,0010
	0,0277	0,0211	0,0109	0,0055	0,0019
	0,0025	0,0029	0,0025	0,0013	0,0009
MARE	0,03	0,03	0,05	0,03	0,10
	0,18	0,21	0,22	0,22	0,19
	0,02	0,03	0,05	0,05	0,09

Кроме совпадений на результатах отдельных примеров интерес представляет статистическая оценка результатов тестирования. Для этого взяты по 10000 выборок (повторений) с нормальным распределением $N(0, 1)$ объемами {10; 20; 30; 40; 50; 100; 150; 300} наблюдений. Для каждой выборки проведено тестирование с помощью критериев Андерса-Дарлинга [11], Шапиро-Уилка [12] и Эппса-Палли [19]. Эмпирическая вероятность ошибки первого рода должна приблизительно соответствовать заданному уровню значимости. В табл. 2 приведены полученные вероятности ошибки первого рода для указанных критериев при уровнях значимости {0,15; 0,1; 0,05; 0,025; 0,01}.

В табл. 2 в каждой ячейке для заданных уровня значимости и объема выборки указаны три эмпирических значения вероятности ошибки первого рода, верхняя из которых соответствует результатам тестирования по критерию Андерса-Дарлинга, средняя – Шапиро-Уилка и нижняя – Эппса-Палли. Внизу таблицы приведены значения средних абсолютных погрешностей, рассчитанных по формуле:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i - \alpha|,$$

где N – количество учитываемых выборок разного объема;
 α – уровень значимости, и средних относительных погрешностей:

$$MARE = \frac{MAE}{\alpha}.$$

Из табл. 2 видно, что критерии Андерса-Дарлинга и Эппса-Палли имеют приблизительно равные погрешности при определении вероятности ошибки первого рода, в то время как аналогичные погрешности для критерия Шапиро-Уилка существенно выше, что может свидетельствовать о неточностях при

программной реализации дан-ного критерия.

Эмпирическая мощность критерия относительно некоторых конкурирующих гипотез

Одной из наиболее важных для критерия Эппса-Палли конкурирующих гипотез является обобщенное нормальное распределение, функция плотности распределения вероятностей которого имеет вид [8]:

$$f(x)=\frac{\theta_2}{2\theta_1\Gamma(1/\theta_2)}\exp\left(-\left(\frac{|x-\theta_0|}{\theta_1}\right)^{\theta_2}\right),$$

где гамма-функция $\Gamma(z)$ выра-жается формулой (5).

Также в качестве конкури-рующих гипотез имеет смысл рассматривать логистическое распределение и распределе-ние Лапласа, определяемые соответствующими функция-ми плотностей распределения вероятностей [8, 21]:

$$f(x)=\frac{1}{2\theta_1}\exp\left(-\frac{|x-\theta_0|}{\theta_1}\right);$$

$$f(x)=\frac{\frac{\pi}{\theta_1\sqrt{3}}\exp\left(-\frac{\pi(x-\theta_0)}{\theta_1\sqrt{3}}\right)}{\left(1+\exp\left(-\frac{\pi(x-\theta_0)}{\theta_1\sqrt{3}}\right)\right)^2}.$$

Для представления о харак-тере данных функций их гра-фики показаны на рис. 9.

На рис. 9 изображено стан-дартное нормальное распре-деление $\mathcal{N}(0, 1)$, другие распре-деления имеют параметры:

обобщенное нормальное:

$\theta_0 = 0, \theta_1 = 2, \theta_2 = 4;$

Лапласа: $\theta_0 = 0, \theta_1 = 1;$

логистическое: $\theta_0 = 0, \theta_1 = 0,7.$

Методом отсечки по уров-ню [22] сгенерированы по 10000 выборок объемами {10; 20; 30; 40; 50; 100; 150; 300} наблюдений. Для уровней зна-чимости {0,15; 0,1; 0,05; 0,025; 0,01} проведено тестирование каждой выборки с помощью критериев Андерса-Дарлин-га [11], Шапиро-Уилка [12] и Эппса-Палли [19]. Доля прове-

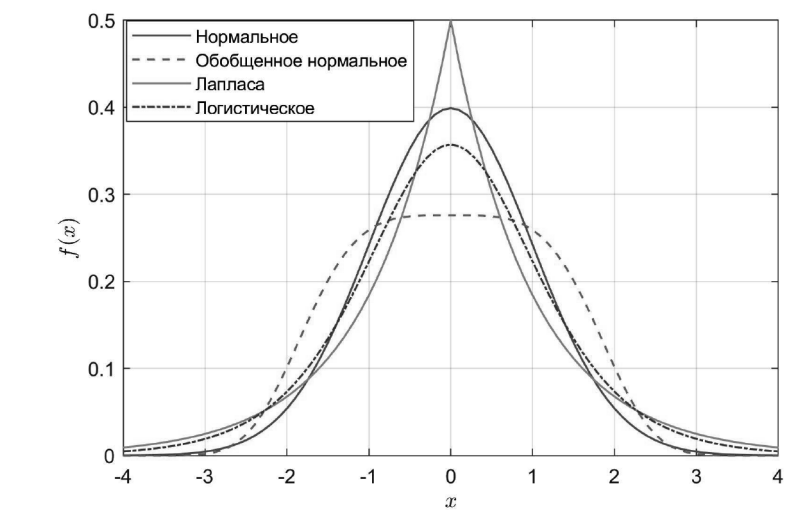


Рис. 9. Графики функций плотностей распределения вероятностей
Fig. 9. Graphs of probability density functions

рок, отклонившая ложную ги-потезу, должна приблизительно соответствовать мощности критерия. Полученные резуль-таты для критерия Эппса-Пал-

ли в целом соответствуют све-дениям, приведенным в [8]. Наибольшее расхождение (до 5%) получено при оценке мощ-ности с конкурирующей гипот-

Таблица 3 (Table 3)

Эмпирические значения мощности критериев Андерса-Дарлинга, Шапиро-Уилка и Эппса-Палли при выборе обобщенного нормального распределения в качестве конкурирующей гипотезы
Empirical power values of the Anders-Darling, Shapiro-Wilk, and Epps-Pulley tests with the generalized normal distribution as a competing hypothesis

Объем выборки	Уровень значимости				
	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01
10	0,1818	0,1184	0,0583	0,0271	0,009
	0,1966	0,1273	0,0612	0,0262	0,0076
	0,1682	0,1024	0,0446	0,0174	0,0056
20	0,2152	0,1507	0,0788	0,041	0,0146
	0,2356	0,1593	0,0736	0,031	0,0096
	0,2114	0,139	0,0601	0,0263	0,0082
30	0,2707	0,1925	0,1023	0,0545	0,0247
	0,2949	0,2041	0,1014	0,0434	0,0128
	0,2808	0,1837	0,0862	0,0356	0,0125
40	0,3264	0,2347	0,1388	0,0809	0,0341
	0,3594	0,2511	0,1346	0,0685	0,0225
	0,3467	0,2422	0,1212	0,06	0,0174
50	0,3722	0,2853	0,1886	0,1058	0,0487
	0,4126	0,3065	0,1813	0,0933	0,0332
	0,4068	0,2971	0,1713	0,0824	0,0269
100	0,6131	0,512	0,3802	0,2551	0,1474
	0,6712	0,5663	0,4028	0,2665	0,1362
	0,6654	0,5539	0,387	0,238	0,1147
150	0,7805	0,7067	0,5755	0,444	0,2957
	0,84	0,7632	0,6329	0,4833	0,3093
	0,8349	0,7541	0,6025	0,4429	0,2675
300	0,9735	0,9549	0,9074	0,8441	0,7368
	0,9873	0,9769	0,9485	0,9028	0,8092
	0,9869	0,9714	0,9312	0,8666	0,7445

Таблица 4 (Table 4)

Эмпирические значения мощности критериев Андерса-Дарлинг, Шапиро-Уилка и Эппса-Палли при выборе распределения Лапласа в качестве конкурирующей гипотезы
Empirical power values of the Anders-Darling, Shapiro-Wilk, and Epps-Pulley tests with choosing the Laplace distribution as a competing hypothesis

Объем выборки	Уровень значимости				
	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01
10	0,2757	0,2092	0,1409	0,0918	0,055
	0,3004	0,2338	0,1565	0,1025	0,057
	0,2515	0,1952	0,1271	0,0863	0,0485
20	0,3947	0,3245	0,2436	0,181	0,1236
	0,4248	0,3505	0,2665	0,1974	0,1302
	0,3498	0,2881	0,2165	0,161	0,1071
30	0,4878	0,4229	0,3255	0,2622	0,187
	0,5191	0,4562	0,3518	0,2833	0,2005
	0,4391	0,3825	0,2881	0,2325	0,1603
40	0,5641	0,4987	0,4041	0,3342	0,258
	0,5954	0,5302	0,4288	0,3606	0,2734
	0,5225	0,4529	0,3657	0,2958	0,2236
50	0,6438	0,5715	0,4821	0,3933	0,3253
	0,6651	0,5979	0,5	0,4103	0,3402
	0,598	0,5316	0,4328	0,3494	0,2843
100	0,8436	0,8018	0,7358	0,6649	0,5808
	0,8556	0,8152	0,7454	0,678	0,5899
	0,8218	0,7749	0,6952	0,6249	0,5356
150	0,9372	0,9128	0,8752	0,8225	0,756
	0,9374	0,9174	0,8825	0,8246	0,7607
	0,9237	0,8961	0,8544	0,7881	0,7159
300	0,9964	0,9931	0,9901	0,9825	0,9683
	0,9959	0,9914	0,9895	0,9815	0,9669
	0,995	0,9912	0,9859	0,9773	0,9577

Таблица 5 (Table 5)

Эмпирические значения мощности критериев Андерса-Дарлинг, Шапиро-Уилка и Эппса-Палли при выборе логистического распределения в качестве конкурирующей гипотезы
Empirical power values of the Anders-Darling, Shapiro-Wilk, and Epps-Pulley tests with choosing the logistic distribution as a competing hypothesis

Объем выборки	Уровень значимости				
	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01
10	0,192	0,1411	0,0786	0,0503	0,0233
	0,2292	0,174	0,0987	0,0631	0,0275
	0,1925	0,1486	0,084	0,0532	0,0245
20	0,2405	0,1713	0,1029	0,0634	0,035
	0,2929	0,2212	0,1462	0,0982	0,0535
	0,2361	0,1707	0,1072	0,0683	0,0364
30	0,2611	0,204	0,1247	0,083	0,0438
	0,3377	0,2707	0,1882	0,1294	0,0785
	0,2668	0,2049	0,1277	0,085	0,0481
40	0,2883	0,2211	0,1433	0,096	0,0475
	0,3826	0,3066	0,2206	0,1568	0,0964
	0,2888	0,2239	0,1487	0,1005	0,0507
50	0,3125	0,2472	0,1611	0,1092	0,0557
	0,4057	0,348	0,2475	0,1839	0,1183
	0,3148	0,2511	0,1671	0,1151	0,059
100	0,4154	0,3401	0,2417	0,1653	0,0994
	0,5473	0,4738	0,3789	0,2916	0,2093
	0,4282	0,3496	0,2489	0,1745	0,1063
150	0,5136	0,4226	0,3218	0,2224	0,1536
	0,6509	0,5795	0,4794	0,3864	0,2958
	0,5375	0,4414	0,3404	0,235	0,1591
300	0,7175	0,6508	0,5329	0,4289	0,3132
	0,8344	0,7885	0,7026	0,6263	0,5186
	0,7559	0,6815	0,5673	0,4574	0,334

тезой в виде распределения Лапласа. Однако, данная разница объясняется, во-первых, эмпирическим характером полученных значений мощности критерия, причем точность полученных оценок в работе [8] не указана; во-вторых, отсутствием данных в источнике [8] о конкретных значениях параметров распределений конкурирующих гипотез.

Поэтому дальнейшее сравнение возможно провести только между реализованными (эмпирическими) значениями мощности различных критериев, полученных способом, указанным выше. Количественные оценки представлены в табл. 3, 4 и 5. В качестве примера на рис. 10 и 11 показана относительная разница эмпирических мощностей критериев Андерса-Дарлинг и Шапиро-Уилка относительно критерия Эппса-Палли при конкурирующей гипотезе в виде обобщенного нормального распределения, которая рассчитана по формуле:

$$RE = \frac{x - x'}{x}.$$

где x — эмпирическая мощность критерия Эппса-Палли для заданного количества повторений при определенных уровне значимости и объеме выборки, а x' — эмпирическая мощность критерия Андерса-Дарлинг или Шапиро-Уилка соответственно.

Из рис. 10 видно, что критерий Эппса-Палли уступает критерию Андерса-Дарлинг по показателю эмпирической мощности при малых выборках и уровнях значимости. При больших выборках и более высоких уровнях значимости критерий Эппса-Палли незначительно выигрывает. Из рис. 11 видно, что критерий Эппса-Палли во всех случаях проигрывает критерию Шапиро-Уилка, однако следует иметь в виду недостатки, реализации данного критерия, связанные с несо-

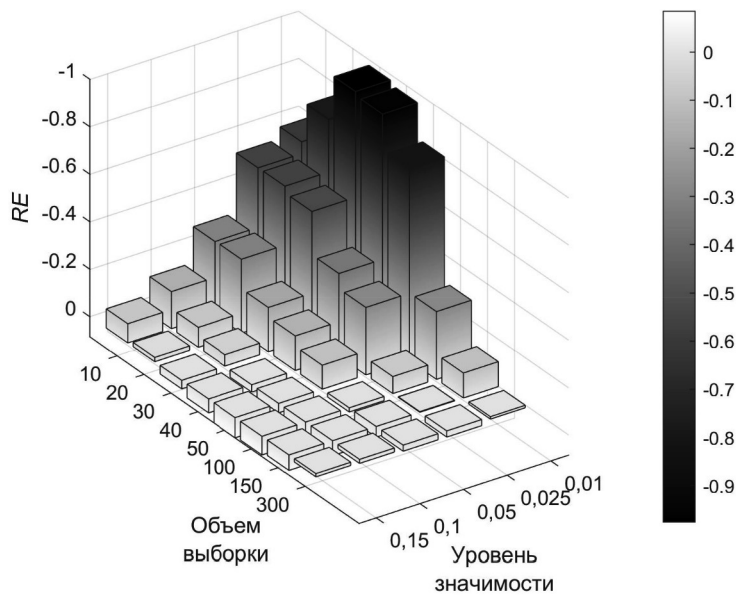


Рис. 10. Относительная разница эмпирических мощностей критериев Андерса-Дарлинга и Эппса-Палли

Fig. 10. The relative difference in the empirical power of the Anders-Darling and Epps-Pulley tests

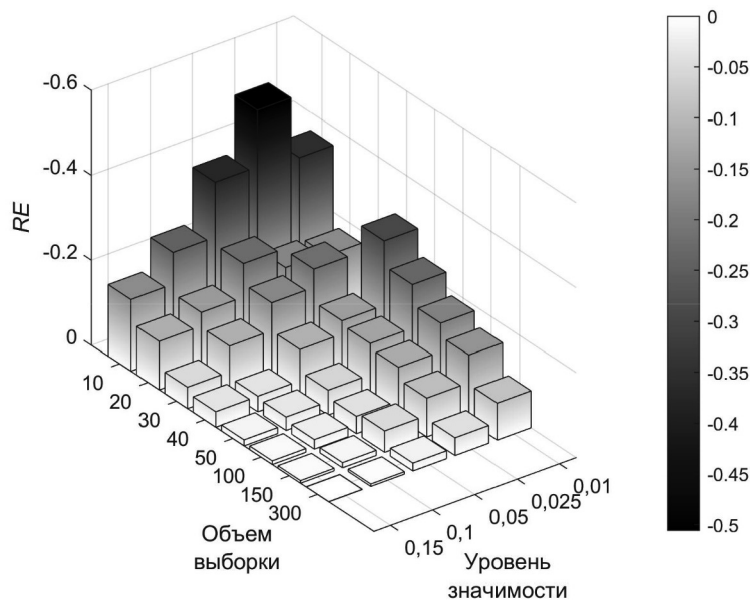


Рис. 11. Относительная разница эмпирических мощностей критериев Шапиро-Уилка и Эппса-Палли

Fig. 11. The relative difference in the empirical power of the Shapiro-Wilk and Epps-Pulley tests

ответствием эмпирической вероятности ошибки первого рода заданному уровню значимости, что было описано выше. В целом из таблиц 3, 4 и 5 можно сделать выводы, что критерии Андерса-Дарлинга и Эппса-Палли дают

соизмеримые результаты. Критерий Шапиро-Уилка по показателю эмпирической мощности превосходит критерий Эппса-Палли, однако данный результат может быть подвергнут сомнению в силу вышеуказанных причин.

Выводы

Разработанная функция `eptest` позволяет выполнять проверку гипотез о нормальности распределения выборки в среде моделирования Matlab на основе одного из наиболее мощных критериев. Исследована вычислительная эффективность двух методов расчета статистики критерия Эппса-Палли. Выявлено, что классический способ с применением циклов, примерно в три раза превосходит матрично-векторный по показателю времени, затрачиваемого на расчеты. Реализация процедуры тестирования дает корректные результаты на известных примерах, расчетные и критические значения статистики совпадают. Статистическая оценка результатов тестирования показала, что вероятность ошибки первого рода соответствует заданным уровням значимости, а погрешность оценки сравнима с реализованным критерием Андерса-Дарлинга. Сравнительная оценка критериев Андерса-Дарлинга, Шапиро-Уилка и Эппса-Палли по показателю эмпирической мощности показала примерную соизмеримость результатов для критериев Андерса-Дарлинга и Эппса-Палли. Критерий Шапиро-Уилка превзошел по мощности критерии Андерса-Дарлинга и Эппса-Палли для всех рассмотренных конкурирующих гипотез, однако в силу наличия расхождений между эмпирической ошибкой первого рода и заданными уровнями значимости для данного критерия, его превосходство может быть поставлено под сомнение. Программная реализация критерия Эппса-Палли опубликована на Интернет-ресурсе MATLAB Central и доступна для свободного использования [19].

Литература

1. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов. Калининград: КИЦ «Техноценоз», 2019. 940 с.
2. Murray-Smith D.J. Testing and Validation of Computer Simulation Models. Principles, Methods and Applications. New York: Springer, 2015. 258 с. DOI: 10.1007/978-3-319-15099-4.
3. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. 3-е изд. М.: Наука, 1983. 416 с.
4. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
5. Волчихин В.И., Иванов А.И., Безяев А.В., Куприянов Е. Н. Нейросетевой анализ нормальности малых выборок биометрических данных с использованием хи-квадрат критерия и критериев Андерсона-Дарлинга // Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29. № 2. С. 205–217. DOI: 10.15507.2658-4123.029.201902.205-217.
6. Ivanov A.I., Vjatchanin S.E., Malygina E.A., Lukin V.S. Precision statistics: neuroet networking of chi-square test and Shapiro-Wilk test in the analysis of small selections of biometric data // Надежность и качество сложных систем. 2019. № 2(26). С. 27–34. DOI: 10.21685/2307-4205-2019-2-4.
7. Ebner B., Henze N. Bahadur efficiencies of the Epps–Pulley test for normality // Journal of Mathematical Sciences. 2021. № 273. С. 861–870. DOI: 10.1007/s10958-023-06547-2.
8. Лемешко Б.Ю. Критерии проверки отклонения распределения от нормального закона. Руководство по применению. Новосибирск: НГТУ, 2014. 192 с.
9. Лемешко Б.Ю. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход. Новосибирск: НГТУ, 2011. 888 с.
10. Razali N.M., Wah Y.B. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests // Journal of Statistical Modeling and Analytics. 2011. Т. 2. № 1. С. 21–33.
11. Statistics and Machine Learning Toolbox User's Guide. [Электрон. ресурс]. Режим досту-

па: https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/stats/stats.pdf.

12. BenSaida A. Shapiro-Wilk and Shapiro-Francia normality tests. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/13964-shapiro-wilk-and-shapiro-francia-normality-tests>.

13. Назаров А.А. Проверка нормальности распределения с использованием критерия Эппса-Палли средствами Python [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/AANazarov/MyModulePython.git>.

14. Kelly D.E. Oceanographics Analysis with R. New York: Springer-Verlag, 2018. 280 с. DOI: 10.1007/978-1-4939-8844-0.

15. The R project for Statistical Computing [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.r-project.org>.

16. ГОСТ Р ИСО 5479–2002. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. М.: Госстандарт России, 2002.

17. International Standard ISO 5479-1997. Statistical interpretation of data – Test for departure from the normal Distribution. Geneva: International Standardization Organization, 1997.

18. Altar R.R., Samanta D., Konar D., Bhattacharrya S. Software Source Code: Statistical Modeling. Berlin: De Gruyter, 2021. 358 с. DOI: 10.1515/9783110703399.

19. Tipikin A.A. Epps-Pulley test for departure from normal distribution [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/158036-eptest>.

20. Stigler S.M. Do robust estimators work with real data? // The Annals of Statistics. 1977. Т. 5. № 6. С. 1055–1098. DOI: 10.1214/aos/1176343997.

21. Бессонов А.А. Искусственный интеллект и математическая статистика в криминалистическом изучении преступлений. М.: Проспект, 2021. 816 с.

22. Karamandis M., Beutler F. Ensemble slice sampling // Statistics and Computing. 2021. Т. 31. № 61. С. 1–18. DOI: 10.1007/s11222-021-10038-2.

References

1. Gnatyuk V.I. Zakon optimal'nogo postroyeniya tekhnotsenozov = The Law of Optimal Construction of Technocenoses. Kaliningrad: KIC «Tekhnotsenoz»; 2019. 940 p. (In Russ.)
2. Murray-Smith D.J. Testing and Validation of Computer Simulation Models. Principles, Methods and Applications. New York: Springer; 2015. 258 p. DOI: 10.1007/978-3-319-15099-4.
3. Bol'shev L.N., Smirnov N.V. Tablitsy matematicheskoy statistiki. 3-ye izd. = Tables of Mathematical Statistics. 3rd ed. Moscow: Science; 1983. 416 p. (In Russ.)
4. Kobzar' A.I. Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov = Applied Mathematical Statistics. For Engineers

and Researchers. Moscow: Fizmatlit; 2006. 816 p. (In Russ.)

5. Volchikhin V.I., Ivanov A.I., Bezyayev A.V., Kupriyanov Ye.N. Neural network analysis of normality of small samples of biometric data using the chi-square test and Anderson-Darling criteria. Inzhenernyye tekhnologii i sistemy = Engineering technologies and systems. 2019; 29; 2 205–217. DOI: 10.15507.2658-4123.029.201902.205-217. (In Russ.)

6. Ivanov A.I., Vjatchanin S.E., Malygina E.A., Lukin V.S. Precision statistics: neuroet networking of chi-square test and Shapiro-Wilk test in the analysis of small selections of biometric data. Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems. 2019; 2(26): 27–34. DOI: 10.21685/2307-4205-2019-2-4. (In Russ.)

7. Ebner B., Henze N. Bahadur efficiencies of the Epps–Pulley test for normality. *Journal of Mathematical Sciences*. 2021; 273: 861–870. DOI: 10.1007/s10958-023-06547-2.
8. Lemeshko B.Yu. Kriterii proverki otkloneniya raspredeleniya ot normal'nogo zakona. *Rukovodstvo po primeneniyu* = Criteria for testing the deviation of a distribution from the normal law. Application Guide. Novosibirsk: NSTU; 2014. 192 p. (In Russ.)
9. Lemeshko B.Yu. Statisticheskii analiz dannykh, modelirovaniye i issledovaniye veroyatnostnykh zakonornostey. *Komp'yuternyy podkhod* = Statistical data analysis, modeling and study of probability patterns. Computer approach. Novosibirsk: NSTU; 2011. 888 p. (In Russ.)
10. Razali N.M., Wah Y.B. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*. 2011; 2; 1: 21–33.
11. Statistics and Machine Learning Toolbox User's Guide [Internet]. Available from: https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/stats/stats.pdf.
12. BenSaida A. Shapiro-Wilk and Shapiro-Francia normality tests [Internet]. Available from: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/13964-shapiro-wilk-and-shapiro-francia-normality-tests>.
13. Nazarov A.A. Proverka normal'nosti raspredeleniya s ispol'zovaniyem kriteriya Eppsa-Palli sredstvami Python = Testing the Normality of Distribution Using the Epps-Pally Test Using Python [Internet]. Available from: <https://github.com/AANazarov/MyModulePython.git>. (In Russ.)
14. Kelly D.E. *Oceanographics Analysis with R*. New York: Springer-Verlag; 2018. 280 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-8844-0.
15. The R project for Statistical Computing [Internet]. Available from: <https://www.r-project.org>.
16. GOST R ISO 5479–2002. Proverka otkloneniya raspredeleniya veroyatnostey ot normal'nogo raspredeleniya = GOST R ISO 5479–2002. Testing the Deviation of a Probability Distribution from a Normal Distribution. Moscow: Gosstandart of Russia; 2002. (In Russ.)
17. International Standard ISO 5479-1997. Statistical interpretation of data – Test for departure from the normal Distribution. Geneva: International Standardization Organization, 1997.
18. Altar R.R., Samanta D., Konar D., Bhattacharryya S. *Software Source Code: Statistical Modeling*. Berlin: De Gruyter, 2021. 358 s. DOI: 10.1515/9783110703399.
19. Tipikin A.A. Epps-Pulley test for departure from normal distribution [Internet]. Available from: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/158036-epstest>.
20. Stigler S.M. Do robust estimators work with real data? *The Annals of Statistics*. 1977; 5; 6: 1055–1098. DOI: 10.1214/aos/1176343997.
21. Bessonov A.A. *Iskusstvennyy intellekt i matematicheskaya statistika v kriminalisticheskoy izuchenii prestupleniy* = Artificial Intelligence and Mathematical Statistics in Forensic Study of Crimes. Moscow: Prospekt; 2021. 816 p. (In Russ.)
22. Karamandis M., Beutler F. Ensemble slice sampling. *Statistics and Computing*. 2021; 31; 61: 1–18. DOI: 10.1007/s11222-021-10038-2.

Сведения об авторах

Алексей Алексеевич Типикин

Начальник отдела

Военный учебно-научный центр Военно-морского флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова, Санкт-Петербург, Россия
Эл. почта: alextip@mail.ru

Александр Александрович Прусаков

Старший научный сотрудник

Военный учебно-научный центр Военно-морского флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова, Санкт-Петербург, Россия
Эл. почта: prusakovaa@mail.ru

Николай Александрович Тимошенко

Младший научный сотрудник

Военный учебно-научный центр Военно-морского флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова, Санкт-Петербург, Россия
Эл. почта: timoshenkonik@mail.ru

Information about the authors

Alexey A. Tipikin

Head of Department

*Military Training and Research Center of the Navy “Naval Academy named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov”,
St. Petersburg, Russia*
E-mail: alextip@mail.ru

Alexander A. Prusakov

Senior Researcher

*Military Training and Research Center of the Navy “Naval Academy named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov”,
St. Petersburg, Russia*
E-mail: prusakovaa@mail.ru

Nikolai A. Timoshenko

Junior Researcher,

*Military Training and Research Center of the Navy “Naval Academy named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov”,
St. Petersburg, Russia*
E-mail: timoshenkonik@mail.ru

Трансакционные издержки в цифровых координатах

В статье рассматривается проблематика исследования трансакционных издержек через призму концепции «расширенного предприятия» в цифровой экономике, определяются эволюционные подходы исследования трансакционных издержек, систематизируются классификационные признаки трансакционных издержек, структурный состав и способы учета трансакционных издержек, а также предложена модель взаимосвязи трансакционных и трансформационных издержек

в аналоговой и цифровой экономике, что позволяет более комплексно рассмотреть изменения трансакционных издержек в цифровых координатах.

Ключевые слова: трансакционные издержки, классификационные признаки трансакционных издержек, подходы исследования трансакционных издержек, трансакционные издержки в цифровой экономике.

Svetlana S. Galazova

North Ossetian State University named after Kosta Levanovich Khetagurov, Vladikavkaz, Russia

Transaction Costs in Digital Coordinates

The article examines the problems of studying transaction costs through the prism of the concept of an “extended enterprise” in the digital economy, defines evolutionary approaches to the study of transaction costs, classifies the classification features of transaction costs, the structure and methods of accounting for transaction costs, and also proposes a model of the relationship between transaction and transformation costs in analog and digital economies, which allows

a more comprehensive consideration of changes in transaction costs in digital coordinates.

Keywords: transaction costs, classification signs of transaction costs, approaches to the study of transaction costs, transaction costs in the digital economy.

Введение

Рыночное взаимодействие экономических субъектов сопровождается формированием трансакционных издержек и становится центральным пунктом создания сетевых бизнес-моделей предприятий в условиях цифровой трансформации социально-экономических систем.

Согласно концепции «расширенного предприятия» (extended enterprise), рассматриваемой в работах Г. Гилмана, [1] Дж. Поста, Л. Престона, С. Сакса [2] и др. предприятие представляет собой сложную систему взаимодействий с другими фирмами, поэтому границы между внутренней и внешней средой предприятия становятся крайне динамичными и определяются факторами взаимосвязи фирмы со своими стейкхолдерами и другими заинтересованными лицами при формировании

цепочки ценностей участников сети, детерминированной отраслевой направленностью и сетевым взаимодействием фирм, выполняющих различную функциональную роль при реализации всей цепочки ценностей товаров и услуг предприятия.

Другими словами, с позиции теории «расширенного предприятия» фирмы являются сетевыми центрами взаимодействия со своими стейкхолдерами, формируя экономию затрат за счет гибкости сетевых связей по всей цепочке создания ценностей. Однако функциональная устойчивость всей сетевой цепочки создания ценностей зависит от сферы ее формирования, рыночной конъюнктуры, регулятивного контроля сбытовых сетей, предпочтений потребителей, а также от уровня и структуры трансакционных издержек взаимодействия экономических субъектов в сетевой цепи.

Следует отметить, что в исследованиях, посвященных проблематике влияния цифровизации на уровень трансакционных издержек в научной и аналитической литературе отсутствует единство точек зрения. Одни исследователи считают, что в условиях цифровой экономики трансакционные издержки сетевого взаимодействия экономических субъектов существенно снижаются, что позволяет предприятиям встраиваться в глобальные производственно-сбытовые сети с максимальным географическим охватом торговых рынков и высокой скоростью вовлеченности потребителей в цепочку ценностей компаний. [3] Другие наоборот подчеркивают, что цифровизация бизнес-процессов удлиняет цепочки ценностей и повышает степень опосредованности связей между производителями и потребителями, поскольку цифровизация

сильно фрагментирует предпочтения потребителей в зависимости от различных форматов и регионов реализации товаров и услуг, тем самым затрудняя процессы планирования и логистического согласования действий участников цепи «расширенного предприятия», что увеличивает транзакционные издержки взаимодействия фирм и повышает управленческую неустойчивость сбытовых цепочек. [4]

Данное исследование посвящено рассмотрению содержательной структуры транзакционных издержек, систематизации классификационных признаков и способов их учета, а также уточнению специфики взаимосвязи транзакционных и трансформационных издержек в цифровой и аналоговой экономике, что позволяет более комплексно рассмотреть изменения транзакционных издержек в условиях цифровизации экономических систем.

1. Транзакционные издержки: структура и классификационные признаки

Все рыночные сделки несут с собой транзакционные издержки. Понятие транзакции(сделки) как «отчуждения и присвоение прав собственности» в научный оборот ввел Дж. Коммонс, рассматривавший транзакции в качестве центрального объекта институционального анализа в отличие от классического подхода, где базовыми категориями выступают— товар и его рыночная цена. [5]

На существование особых «транзакционных издержек», определяющих границу между фирмой и рынком, первым обратил внимание Р. Коуз, полагая, что они формируются рыночным механизмом и рыночным обменом. Возникновение транзакционных издержек вытекает из необходимости при реализации ры-

ночных транзакций экономическим агентам нести затраты на ведение переговоров, заключение контрактов, а также затраты связанные с поиском информации о рыночных ценах на товары. [6]

В работах Д.Норта и Дж.Уоллиса [7-8] природа транзакционных издержек не ограничивается только сферой рыночного обмена, поскольку транзакционные издержки возникают до стадии обмена, во время рыночного обмена и после данной фазы.

В работах данных исследователей заложен подход разграничения трансформационных издержек, связанных с изменением физических свойств объекта сделки и транзакционных издержек— не связанных с изменением физических свойств объекта сделки, а вытекающих из перехода прав собственности на него.

В работе К. Экрроу природа транзакционных издержек, определяется эксплуатацией всей экономической системы в целом. [9]

Автор	Структура транзакционных издержек	
1. Коуз Р.	Транзакционные издержки это неизбежные на рынке издержки проведения переговоров и заключения контрактов на каждую транзакцию обмена, а также для выяснения цены товара.	
2. Норт Д., Уоллис Дж.	Транзакционные издержки –это издержки оценки полезных свойств объекта обмена и издержки обеспечения прав собственности, а также издержки принуждения к их соблюдению	
	1) Транзакционные издержки до обмена; 2) Транзакционные издержки во время обмена; 3) Транзакционные издержки после обмена;	
	Трансформационные издержки направлены на изменение физических свойств вещи.	Транзакционные издержки связаны с переходом прав собственности и не меняют физических свойств вещи
3.Экрроу К.	Транзакционные издержки это издержки эксплуатации экономической системы	
4. Уильямсон О.И.	Транзакционные издержки есть экономический эквивалент трения в механических системах	
	Издержки ex ante	Издержки ex post
	1)Издержки поиска информации 2) Издержки ведения переговоров 3) Издержки измерения 4) Издержки заключения контракта	1) Издержки мониторинга и предупреждения оппортунизма 2) Издержки спецификации и защиты прав собственности 3) Издержки защиты от третьих лиц
5. Менар К.	Транзакционные издержки 1) Издержки вычленения 2) Информационные издержки 3)Издержки масштаба 4) Издержки оппортунистического поведения	
6. Фуруботн Э., Рихтер Р.,	Транзакционные издержки 1) Рыночные транзакционные издержки, в числе которых издержки поиска и информации, издержки торга 2) Управленческие транзакционные издержки 3) Политические транзакционные издержки	
7. Эггертссон Т.	Транзакционные издержки 1)Издержки поиска информации 2) Издержки ведения переговоров 3) Издержки измерения 4) Издержки спецификации и защиты прав собственности 5) Издержки оппортунистического поведения	
8. Попов Е.В.	Трансформационные издержки	Транзакционные издержки
	1) Использование капитала 2) Использование трудовых ресурсов 3) Использование материальных ресурсов 4) Использование информационных ресурсов	1) Поиск информации 2) Защита прав собственности 3) Анализ рынка 4) Продвижение продукции 5) Защита от оппортунизма
9. Радаев В.В.	Транзакционные издержки 1) Получение доступа к ресурсам и правам собственности 2) Получение прав на использование ресурсов и прав собственности 3) Оценка ресурсов и прав собственности 4) Защита ресурсов и прав собственности 5) Поиск и отбор партнеров для деловых соглашений 6) Заключение деловых отношений 7) Поддержание деловых отношений и применение санкций против нарушителей соглашений	
10.Нестеренко А.Н.	Транзакционные издержки 1) Издержки по поиску информации 2) Издержки оценки и контроля качества 3) Издержки ведения и заключения переговоров 4) Издержки защиты прав собственности 5) Издержки защиты от оппортунистического поведения	

Рис. 1. Различные подходы к структуре транзакционных издержек. (составлено автором)

Различные подходы к структуре транзакционных издержек отражены на рисунке 1. [5–17]

Как видно из рисунка 1 для исследований, рассматривающих проблематику транзакционных издержек, отсутствует единство мнений относительно содержательной наполняемости и видовой структуры транзакционных издержек.

Кроме того, различные авторы, исследуя природу транзакционных издержек акцентировали внимание на различных видовых характеристиках транзакционных издержек, не ограничиваясь только сферой рыночного обмена. Так, К. Менар важное значение придает транзакционным издержкам, формирующимся еще внутри стадии производства (издержки вычлeния, связанные с различной степенью делимости технологической цепочки производства). [11]

В свою очередь, О. Уильямсон опираясь на контрактную основу взаимодействия экономических агентов, особое внимание уделяет издержкам предупреждения оппортунистического поведения, вклю-

ченным в пост-контрактные транзакционные издержки (ex post), вызывающим максимальное экономическое «трение» при взаимодействии агентов, что требует применения особых инструментов снижения данных издержек. [10] При всей важности и обоснованности контрактного фокуса исследования агентских соглашений, следует отметить, что он не охватывает все источники и причины возникновения транзакционных издержек взаимодействия экономических субъектов, включая социально-психологические факторы.

Типизация транзакционных издержек Э. Фуруботна и Р. Рихтера строится на различных сферах возникновения транзакционных издержек (рыночная, управленческая и политическая сферы), что позволяет более широко рассматривать природу транзакционных издержек, опосредующих взаимодействие различных субъектов. [12] Особенностью спецификации транзакционных издержек Е. В. Попова является включение в структуру транзакционных издержек

таких элементов как — анализ рынка и продвижение продукции. [14]

Систематизация транзакционных издержек В.В.Радаева опирается на жизненный цикл формирования и поддержания деловых соглашений, включая право доступа к ресурсам, что является важнейшим атрибутом в условиях цифровых трансформаций. [15] В группировке элементов транзакционных издержек, предложенной Нестеренко А.Н., особое внимание уделяется оценке и контролю качества объекта транзакций, что важно не только для товаров, но и для услуг как объектов рыночных транзакций. [16]

Многообразие подходов к структуризации элементов транзакционных издержек порождает и множественность квалификационных признаков транзакционных издержек, включая новые подвиды данных издержек, способы учета и инструменты снижения. Классификационные признаки транзакционных издержек отражены на рисунке 2. [6–8, 17–37]



Рис. 2. Классификационные признаки транзакционных издержек (составлено автором)

Как видно из рисунка 2 помимо традиционных признаков транзакционных издержек по рыночности (рыночные/нерыночные транзакционные издержки) [6, 9, 13, 15, 17], явности [22, 23], легальности [24, 25], а также времени заключения контракта [10, 21], применяются и более нестандартные классификационные признаки транзакционных издержек, связанные со степенью риска (рецептативные транзакционные издержки) [27], исследуются бюджетные транзакционные издержки [34] и поведенческие транзакционные издержки. [35]

В работе Makoto Y. транзакционные издержки по способу снижения делятся на: технические транзакционные издержки, которые связаны с возможностью снижения за счет применения новых технологий (сбора, обработки, передачи и хранения информационных данных), а также искусственные транзакционные издержки, которые можно снизить за счёт регулирования правил, норм, законов и рутин человеческого поведения. [36] В данном случае разделяется технологическая основа и социально-институциональная природа транзакционных издержек.

Одной из важных дискуссионных проблем теории транзакционных издержек является вопрос относительно того, как именно снижается транзакционные издержки: за счет действия среды и институтов (например, институтов доверия) [32] или сами экономические агенты снижают транзакционные издержки, поскольку институты могут действовать дисфункционально и не столько снижать, сколько даже повышать уровень транзакционных издержек. [18]

Следующей дискуссионной проблемой теории транзакционных издержек является взаимосвязь между информационными и транзакционными

издержками. Большинство авторов поддерживают подход, что информационные издержки являются составной частью транзакционных издержек [7–8, 14, 16], хотя есть и противоположная точка зрения, что транзакционные издержки входят в состав информационных издержек. [33] В тоже время есть позиция, в рамках которой полагается, что данные виды издержек образуют два различных массива. [38]

Резюмируя раздел, можно отметить следующие моменты: во-первых, многообразие теоретических подходов, структурных элементов, классификационных признаков и видов транзакционных издержек не исключает их существование при взаимодействии экономических субъектов, а демонстрирует необходимость развития различного теоретического и практического инструментария исследования и учета данного явления; во-вторых, динамика снижения транзакционных издержек происходит нелинейно в краткосрочном и долгосрочном периоде как и динамика институциональных

изменений, поэтому и способы снижения транзакционных издержек могут быть различными; в-третьих, взаимосвязь информационных, трансформационных и транзакционных издержек более сложная чем простое калькулирование затрат на информационные товары и услуги.

2. Модель транзакционных издержек и трансформационных издержек в цифровой и аналоговой экономике

Рассмотрим графически вариант модели трансформационных и транзакционных издержек в аналоговой и цифровой экономике с позиции взаимосвязи между уровнем данных издержек и временем вовлеченности покупателей в цепочку ценностей производителя. Транзакционные (TrC) и трансформационные (TC) в аналоговой и цифровой экономике, отражены на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3 время вовлечения потребителя в цепочку ценностей производителя в аналоговой экономи-

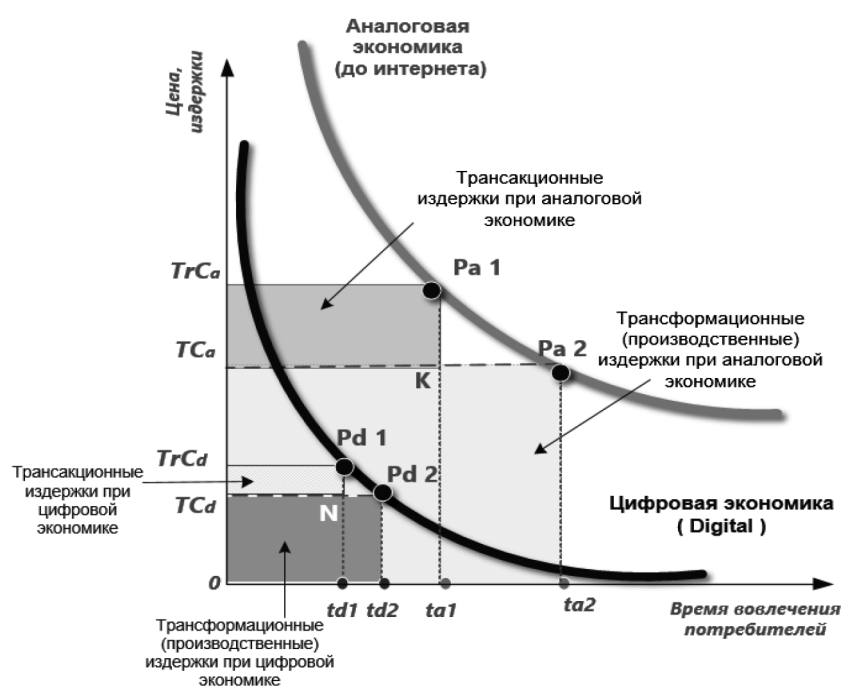


Рис. 3. Транзакционные и трансформационные издержки в аналоговой и цифровой экономике (составлено автором)

ке больше, чем в цифровой: $ta_2 > ta_1 > td_2 > td_1$. Разница цен в аналоговой экономике ($Pa_1 > Pa_2$) и цифровой экономике ($Pd_1 > Pd_2$), отражает тот факт, что цены увеличиваются из-за трансакционных издержек, превышающих уровень трансформационных издержек, как в аналоговой экономике, так цифровой экономике. На время вовлечения покупателя в цепочку ценностей производителя влияет уровень как трансформационных, так трансакционных издержек в аналоговой и цифровой экономике, что проявляется в различной площади прямоугольников: трансакционные издержки в аналоговой экономике равны площади прямоугольника $[TrCa, Pa_1, K, TCa]$, в свою очередь трансформационные издержки в аналоговой экономике — площадь прямоугольника $[TCa, Pa_2, ta_2, 0]$. Соответственно трансакционные издержки в цифровой экономике определяются площадью прямоугольника $[TrC, Pd_1, N, TCd]$, а трансформационные издержки в цифровой экономике площадью прямоугольника $[TCd, Pd_2, td_2, 0]$.

Данная модель демонстрирует, что уровень трансакционных издержек повышает

цену на товары и услуги, но также сокращает время вовлеченности покупателя в цепочку ценности производителя, поскольку затраты на поиск информации о рыночных ценах товаров и услуг, копирование информации и ее распространение по информационным каналам значительно ниже в цифровой экономике, чем затраты на те же действия в аналоговой экономике (до интернета).

Представленная модель исходит из посылки, что уровень трансакционных и трансформационных издержек при аналоговой экономике выше чем при цифровой экономике, поскольку предполагается, что они инкорпорированы в цене товаров и услуг. Кроме того, в данной модели не учитывается отраслевая специфика трансформационных и трансакционных издержек в аналоговой и цифровой экономике для конкретных рынков товаров и услуг, что требует дальнейших исследований и разработок.

Заключение

С позиции теоретической платформы «расширительно-го предприятия» и цепочки ценностей предприятий, пред-

ставить исчерпывающий и полный список всех трансакционных издержек представляется затруднительным в силу действия следующих факторов: во-первых, многообразие трактовок, структурных элементов, классификационных признаков и видов трансакционных издержек не исключает их существование, но затрудняет применение единообразного способа их учета при взаимодействии экономических субъектов; во-вторых, динамика снижения трансакционных издержек происходит нелинейно в краткосрочном и долгосрочном периоде как и динамика институциональных изменений, поэтому и способы снижения трансакционных издержек могут быть различными; во-третьих, взаимосвязь информационных, трансформационных и трансакционных издержек более сложная чем простое калькулирование затрат, поскольку уровень трансакционных издержек повышает цену на товары и услуги, но также сокращает время вовлеченности покупателя в цепочку ценности производителя, однако отраслевая специфика данной взаимосвязи, требует дальнейших исследований и разработок.

Литература

1. Gilman G. The manager and the systems concept: The enterprise as extended open system // Business Horizons, Vol. 12, Issue 4, 1969, pp. 19–28.
2. Post J., Preston L., Sauter Sachs S. Redefining the Corporation, Stakeholder Management and Organizational Wealth. Stanford Business Books, 2002.
3. Торговля как инструмент развития в эпоху глобальных производственно-сбытовых цепей. Доклад Всемирного банка 2020 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/32437> (дата обращения 15.04. 2020)
4. Kempf K, Keskinocak P. Uzsoy R. Planning production and inventories in the extended enterprise. International Series in Operations Research and Management Science, 2011, 578p.
5. Commons J. Institutional Economics // American Economic Review. 1931. Vol. 21, № 4. p. 652–660.

6. Коуз Р. Фирма. Рынок. Право. М.: 1993. 192 с.
7. Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. М.: 1997. 180 с.
8. North D., Wallis J. Integration Institutional Change in Economic History. A Transaction Cost Approach // Journal of Institutional and Theoretical Economics. 1994. V. 150 (4). p. 609–624.
9. Эрроу К. Информация и экономическое поведение // Вопросы экономики. 1995. № 5. С. 30–42.
10. Уильямсон О.И. Экономические институты капитализма: фирмы, рынки, отношенческая контрактация. СПб.: 1996. 702 с.
11. Менар К. Экономика организаций. М. 1996. 160 с.
12. Furubotn E.G., Richter R. Institutions and Economic Theory. The Contribution of the New Institutional Economics. Ann Arbor. The University of Michigan Press, 1997. 672 p.

13. Эггертссон Т. Экономическое поведение и институты. М.: Дело, 2001. 408 с.
14. Попов Е.В. Трансакции. Монограф. Екатеринбург, 2011. 679с.
15. Радаев В.В. Российский бизнес: структура трансакционных издержек // Общественные науки и современность. 1999. № 6. С. 5–19.
16. Нестеренко А.Н. Экономика и институциональная теория. М., 2002. 416 с.
17. Шаститко А. Е. Новая институциональная экономическая теория. 4-е изд. М. 2010. 828 с.
18. Сухарев О.С. Институциональная экономика. М., 2014. 502 с.
19. Николаева Е.В. Институциональные факторы, определяющие размер и структуру современной корпорации //Вестник Челябинского государственного университета. 2013. № 32 (323). С. 88–93.
20. Пыжев И.С., Изаков И.А. К вопросу о методике измерения внутрифирменных трансакционных издержек//Институциональная трансформация экономики: пространство и время. С. 154–158.
21. Вольчик В.В., Нечаев А.Д. Теоретические подходы к идентификации трансакционных издержек//Journal of Economic Regulation. 2014. Т. 5. № 1. С. 26–38.
22. Зоткина Е.В. Способы оценки трансакционных издержек на этапах стадии разработки инновационного проекта //Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2012. № 3 (26). С. 46–56.
23. Ленченко В.В. Сущность, значение и методы оптимизации уровня трансакционных издержек как одного из важнейших показателей эффективности современной корпорации //Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 11-10. С. 84–88.
24. Фурин А.Г. Специфика трансакционных издержек в сфере образования в условиях формирующейся экономики знаний //МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2014. № 18. С. 11–15.
25. Рыжкова Д.О., Кармышев Ю.А. Криминальные трансакционные издержки на малых предприятиях //В сборнике: Экономическая наука сегодня: теория и практика Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. 2015. С. 87–89.
26. Мельников В.В., Бирюкова Е.В., Першина М.Н. Влияние индивидуального поведения на соблюдение правил размещения заказов // Идеи и идеалы. 2012. Т. 2. № 3. С. 69–76
27. Кузьмин Е.А. Нормальные и рецессивные трансакционные издержки в оценках «вязкости» экономической среды //Региональная экономика: теория и практика. 2012. № 36. С. 51–60.
28. Поленова С.Н. Трансакционные издержки: вопросы группировки и бухгалтерского учета//Международный бухгалтерский учет, №. 7 (301), 2014, С. 2–13.
29. Мартынов С.Б. Сущность категории трансакционных издержек // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2009. № 4.
30. Шаталкин И.А. Проблемы измерения трансакционных издержек и способы их преодоления// Ученые записки Петрозаводского государственного университета, № 1 (138), 2014, С. 108–110.
31. Дубровский В.Ж., Кузьмин Е.А. Трансакционные издержки и трансакциоёмкость экономической системы. //Региональная экономика: теория и практика, 2013 (18), 18–25.
32. Ляско А. Доверие и трансакционные издержки // Вопросы экономики. 2003. № 1. С. 42–58
33. Вяткин П.М. Анализ эффективности трансакционных издержек поиска информации //Вестник Самарского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2015. № 2 (124). С. 108–116.
34. Якименко А.А., Кудря А.А. Организационные основы и экономические методы структурного регулирования социально-экономических систем //Экономика и предпринимательство. 2018. № 6 (95). С. 1192–1198.
35. Шмаков А.В. Кодекс ритуального поведения в контексте цифровой трансформации экономики//Terra Economicus. 2019. Т. 17. № 4. С. 41–61.
36. Makoto Y. Market Quality Theory and the Coase Theorem in the Presence of Transaction Costs, №11. 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/19e097.pdf> (дата обращения 03.04. 2020)
37. Maher M. E. Transaction cost economics and contractual relations // Cambridge Journal of Economics, 1997. № 21.
38. Stigler G. The Economics of Information // Journal of Political Economy. 1961. Vol. 69. June. P. 213–223.

References

1. Gilman G. The manager and the systems concept: The enterprise as extended open system // Business Horizons, Vol. 12, Issue 4, 1969, pp. 19-28.
2. Post J., Preston L., Sauter Sachs S. Redefining the Corporation, Stakeholder Management and Organizational Wealht. Stanford Business Books, 2002.
3. Trade as a development tool in the era of global value chains. World Bank Report 2020 [Electronic Resource]. - Access mode: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/32437> (access date 15.04. 2020)
4. Kempf K, Keskinocak R. Uzsoy R. Planning production and inventories in the extended enterprise. International Series in Operations Research and Management Science, 2011.578R.
5. Commons J. Institutional Economics // American Economic Review. 1931. Vol. 21, No. 4. p. 652-660.
6. Coase R. Firm. Market. Right. M.: 1993. 192 p.

7. North D. Institutions, institutional change and the functioning of the economy. M.: 1997.180 s.
8. North D., Wallis J. Integration Institutional Change in Economic History. A Transaction Cost Approach // Journal of Institutional and Theoretical Economics. 1994. V. 150 (4). R. 609-624.
9. Arrow K. Information and economic behavior // Problems of Economics. 1995. No. 5. P. 30-42.
10. Williamson O.I. The economic institutions of capitalism: firms, markets, relational contracting. St. Petersburg: 1996. 702 p.
11. Menard K. Economics of organizations. M.1996. 160 s.
12. Furubotn E.G., Richter R. Institutions and Economic Theory. The Contribution of the New Institutional Economics. Ann Arbor. The University of Michigan Press, 1997.672 p.
13. Eggertsson T. Economic behavior and institutions. M. : Delo, 2001.408 s.
14. Popov E.V. Transactions Monograph. Yekaterinburg, 2011.679s.
15. Radaev V.V. Russian business: structure of transaction costs // Social Sciences and the present. 1999. No. 6. S. 5-19.
16. Nesterenko A.N. Economics and institutional theory. M., 2002.416 s.
17. Shastitko AE New institutional economic theory. 4th ed. M. 2010. 828s.
18. Sukharev O.S. Institutional economy. M., 2014. 502 s.
19. Nikolaeva E.V. Institutional factors determining the size and structure of a modern corporation // Bulletin of the Chelyabinsk State University. 2013. No. 32 (323). S. 88-93.
20. Pyzhev IS, Izakov IA On the issue of the methodology for measuring intra-company transaction costs // Institutional transformation of the economy: space and time P. 154-158.
21. Volchik V.V., Nechaev A.D. Theoretical approaches to the identification of transaction costs // Journal of Economic Regulation. 2014.Vol. 5. No. 1. P. 26-38.
22. Zotkina E.V. Methods for assessing transaction costs at the stages of the development stage of an innovative project // Bulletin of the Volga University. V.N. Tatishchev. 2012. No 3 (26). S. 46-56.
23. Lenchenko V.V. The essence, value and methods of optimizing the level of transaction costs as one of the most important indicators of the effectiveness of a modern corporation // Modern trends in the development of science and technology. 2016. No. 11-10. S. 84-88.
24. Furin A.G. The specifics of transaction costs in the field of education in the context of an emerging knowledge economy // MIR (Modernization. Innovations. Development). 2014. No. 18. S. 11-15.
25. Ryzhkova D.O., Karmyshev Yu.A. Criminal transaction costs in small enterprises // In the collection: Economics today: theory and practice. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference. 2015.S. 87-89.
26. Melnikov V.V., Biryukova E.V., Pershina M.N. The influence of individual behavior on compliance with the rules of placing orders // Ideas and ideals. 2012. V. 2. No. 3. P. 69-76
27. Kuzmin E.A. Normal and referential transaction costs in evaluating the “viscosity” of the economic environment // Regional Economics: theory and practice. 2012. No. 36. S. 51-60.
28. Polenova S.N. Transaction costs: issues of grouping and accounting // International accounting, no. 7 (301), 2014, S. 2-13.
29. Martynov S. B. The essence of the category of transaction costs // Bulletin of the Saratov State Socio-Economic University. 2009. No4. .
30. Shatalkin I. A. Problems of measuring transaction costs and ways to overcome them // Uchenye zapiski Petrozavodsk State University, no. 1 (138), 2014, S. 108-110.
31. Dubrovsky V.Zh., Kuzmin E.A. Transaction costs and transaction intensity of the economic system. // Regional Economics: Theory and Practice, 2013 (18), 18-25.
32. Lyasko A. Trust and transaction costs // Problems of Economics. 2003. No1, p 42–58
33. Vyatkin P.M. Analysis of the effectiveness of transaction costs of information retrieval // Bulletin of Samara State University. Series: Economics and Management. 2015. No. 2 (124). S. 108-116.
34. Yakimenko A.A., Kudrya A.A. Organizational fundamentals and economic methods of structural regulation of socio-economic systems // Economics and Entrepreneurship. 2018.No 6 (95). S. 1192-1198.
35. Shmakov A.V. Code of ritual behavior in the context of the digital transformation of the economy // Terra Economicus. 2019.Vol. 17.
36. Makoto Y. Market Quality Theory and the Coase Theorem in the Presence of Transaction Costs, №11. 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/19e097.pdf> (дата обращения 03.04. 2020)
37. Maher M. E. Transaction cost economics and contractual relations //Cambridge Journal of Economics,1997.№ 21.
38. Stigler G. The Economics of Information // Journal of Political Economy. 1961. Vol. 69. June. P. 213-223.

Сведения об авторе

Светлана Сергеевна Галазова

доктор экономических наук, профессор,
профессор кафедры экономики
Северо-Осетинский государственный
университет имени Коста Левановича
Хетагурова, Владикавказ, Россия
Эл. почта: bubu1999@mail.ru

Information about the author

Svetlana S. Galazova

Doctor of Economics, Professor, Professor of the
Department of Economics,
North Ossetian state University named after Kosta
Levanovich Khetagurov,
Vladikavkaz, Russia
e-mail: bubu1999@mail.ru