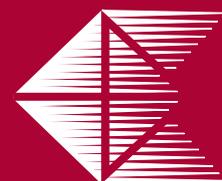


ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ



<https://ras.jes.su>



Российская академия наук

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Том 59 № 3 2023

Журнал основан в январе 1964 г.
Выходит 4 раза в год
ISSN 0424-7388

*Журнал издается под руководством
Отделения общественных наук РАН*

Главный редактор

В.Е. Дементьев

Редакционная коллегия:

А.А. Афанасьев, С.А. Афонцев, А.Р. Бахтизин (зам. главн. ред.), В.А. Волконский,
Н.А. Волчкова, Ю.Н. Гаврилец, И.У. Зулькарнай, В.Л. Квинт, Г.Б. Клейнер, М. Кубонива,
А.М. Либман, В.Н. Лившиц, В.Л. Макаров, П.А. Минакир, В.В. Окрепилов,
В.М. Полтерович, А.В. Савватеев, Н.М. Светлов, Е.В. Устюжанина (зам. главн. ред.),
И.С. Шитова (зам. главн. ред.)

Заведующая редакцией Н.С. Виноградова

Журнал «Экономика и математические методы»
входит в Перечень ВАК, базы данных РИНЦ,
Web of Science (Emerging Sources Citation Index)

Адрес редакции:

117418, г. Москва, Нахимовский просп., 47, ком. 305
Тел.: 8(499) 129-39-33, 8(916) 139-27-26
e-mail: emm@cemi.rssi.ru

Москва

СОДЕРЖАНИЕ

Том 59, № 3, 2023

К 60-летию ЦЭМИ РАН

Клейнер Г.Б. Флагман экономико-математического и компьютерного моделирования:
60 лет в строю 5

Ставчиков А.И. Федеральному государственному бюджетному учреждению науки
Центральному экономико-математическому институту Российской академии наук — 60 лет 21

Теоретические и методологические проблемы

Wu J., Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Wu Z. Analysis of marginalism. Part 2 31

Варшавский А.Е. Средний класс: анализ зависимости размера от уровня неравенства доходов 42

Мировая экономика

Микитчук М.Д. Факторы формирования благоориентированной
международной помощи развивающимся странам 56

Народнохозяйственные проблемы

Karmalita V.A. Managing the prime rate to counter the cyclic income contraction 69

Региональные проблемы

Лившиц В.Н., Шаталова О.М., Касаткина Е.В. Межрегиональная дифференциация в РФ:
эмпирический анализ влияния территориальной локализации отраслей на уровень
экономической активности регионов 77

Отраслевые проблемы

Денисов В.И. Современные и перспективные возможности повышения экономической
эффективности зернового хозяйства России 91

Хэ П., Костырин Е.В. Управление развитием здравоохранения Китая и России
с использованием прогностической Грей-модели и модели авторегрессионной зависимости 100

Математический анализ экономических моделей

Акопов А.С., Бекларян А.Л. Оптимизация стратегий поведения в имитационной модели
многоагентной социально-экономической системы 117

Кильматов Т.Р. Модель роста экономических агентов с учетом взаимодействия
и запаздывания на взаимные воздействия 132

Кулецкая Л.Е., Демидова О.А., Семерикова Е.В. Пространственно-эконометрический подход
к моделированию результатов выборов в России: муниципальный уровень 137

* * *

К 90-летию со дня рождения академика Александра Ивановича Анчишкина (1933—1987 гг.) 149

П.А. Минакир 151

С.Б. Байзаков 152

Г.М. Татевосян 154

Russian Academy of Sciences

**ECONOMICS
AND MATHEMATICAL
METHODS**

Volume 59 No. 3 2023

Founded in January 1964

4 issues a year

ISSN 0424-7388

*The Journal is run under the supervision
of the Department of Social Sciences at RAS*

Editor-in-Chief

V.E. Dementiev

Editorial Board:

Afanasiev A.A., Afontsev S.A., Bakhtizin A.R. (Deputy Editor-in-Chief),
Gavrilets Yu.N., Kleiner G.B., Kuboniwa M., Kvint V.L., Libman A.M., Livshits V.N.,
Makarov V.L., Minakir P.A., Okrepilov V.V., Polterovich V.M., Savvateev A.V.,
Shitova I.S. (Deputy Editor-in-Chief), Svetlov N.M.,
Ustyuzhanina E.V. (Deputy Editor-in-Chief), Volchkova N.A., Volkonskiy V.A., Zulkarnay I.U.

Secretary of Editorial Staff N.S. Vinogradova

The journal "Economics and Mathematical Methods"
is included in the list of the Higher Attestation Commission (HAC)
and indexed in Russian Index of Scientific Citation,
Web of Science (Emerging Sources Citation Index)

Editorial Address

Nakhimovskiy Prospect, 47, Office 305, Moscow, Russia, 117418

Tel.: +7(499) 129-39-33; +7(916) 139-27-26;

e-mail: emm@cemi.rssi.ru

Moscow

CONTENTS

Volume 59, no. 3, 2023

To the 60th Anniversary of CEMI RAS

- Kleiner G.B.** The flagship of economic, mathematical and computer modeling: 60 years in line 5
Stavchikov A.I. Central Economics and Mathematics Institute of Russian Academy of Sciences — 60 21

Theoretical and methodological problems

- Wu J., Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Wu Z.** Analysis of marginalism. Part 2 31
Varshavsky A.E. The middle class: An analysis of the dependence of size on the level of income inequality 42

World economy

- Mikitchuk M.D.** Determinants of official benefit-oriented aid to developing countries 56

Problems of national economy

- Karmalita V.A.** Managing the prime rate to counter the cyclic income contraction 69

Regional problems

- Livshits V.N., Shatalova O.M., Kasatkina E.V.** Regional differences in the Russian Federation: An empirical analysis of the influence of territorial localization of industry sectors on the level of regional economic activity 77

Industrial problems

- Denisov V.I.** Modern and promising opportunities to improve the economic efficiency of grain farming in Russia 91
He P., Kostyrin E.V. Managing Chinese and Russian healthcare development using a predictive Gray model and an autoregressive relationship model 100

Mathematical analysis of economic models

- Akopov A.S., Beklaryan A.L.** Optimization of behaviour strategies within the simulation model of a multi-agent socio-economic system 117
Kilmатов T.R. Dynamic model of economic agents including interaction and delay effects 132
Kuletskaya L.E., Demidova O.A., Semerikova E.V. Spatial econometric approach to modeling election results in Russia: Municipal level 137

* * *

- 90th anniversary of Academician Aleksandr Ivanovich Anchischkin (1933–1987) 149

P.A. Minakir

151

S.B. Baizakov

152

G.M. Tatevosyan

154

Флагман экономико-математического и компьютерного моделирования: 60 лет в строю

© 2023 г. Г.Б. Клейнер

Г.Б. Клейнер,

член-корреспондент РАН, ЦЭМИ РАН, Финансовый университет при Правительстве РФ, Государственный университет управления, Москва; e-mail: george.kleiner@inbox.ru

Поступила в редакцию 20.06.2023

Аннотация. В статье анализируются основные направления и траектория развития Центрального экономико-математического института (ЦЭМИ) как лидера отечественной экономической науки в сфере разработки и применения экономико-математических и информационно-компьютерных моделей социально-экономических процессов и систем. Уточняются взаимоотношения моделирования с такими компонентами экономики, как экономическая теория, экономическая политика, управление экономикой, хозяйственная практика. Показано, что экономико-математическая модель играет незаменимую роль в интеграции и систематизации знаний в сфере экономической теории и хозяйственной практики. На основе концепции модели как гомоморфного образа реального объекта в сфере онтологии («мира вещей»), идеологии («мира идей»), гносеологии («мира познания») и праксеологии («мира созидания») предложена обобщенная схема и последовательность этапов моделирования. Прослежена эволюция основных компонентов моделирования, существенно изменившая за последние 60 лет представления об объекте, предмете, целях, аппарате и эмпирической базе моделирования. Накопленный в этой сфере в ЦЭМИ РАН опыт позволяет предложить концепцию доказательного моделирования, — аналогичную идеологии доказательной медицины, доказательной политики, доказательного прогнозирования, — направленную на качественное повышение обоснованности и надежности результатов моделирования для применения в экономической теории и практике. Формулируются основные принципы доказательного моделирования, призванные сыграть роль стандартов доказательного моделирования. Процесс моделирования рассматривается как аналог инновационного проекта, каждый самостоятельный этап которого, как и весь проект в целом, должен осуществляться в соответствии с этими стандартами. Приводится перечень наиболее важных, по нашему мнению, пионерных работ ЦЭМИ РАН в области экономико-математического и компьютерного моделирования, определяющих значимые направления дальнейшего развития этой области науки.

Ключевые слова: экономико-математическое и компьютерное моделирование, этапы моделирования, доказательное моделирование, гомоморфизм, Центральный экономико-математический институт (ЦЭМИ).

Классификация JEL: С60.

Для цитирования: **Клейнер Г.Б.** (2023). Флагман экономико-математического и компьютерного моделирования: 60 лет в строю // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 3. С. 5–20. DOI: 10.31857/S042473880027042-5

ВМЕСТО ВВЕДЕНИЯ: ИСХОДНЫЙ ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ КАПИТАЛ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ ОЖИДАНИЯ

Создание в Академии наук СССР Центрального экономико-математического института в 1963 г. стало заметным событием в отечественной и мировой экономике. Советское общество проходило в то время этап, получивший название «оттепель» по одноименной повести И. Эренбурга, опубликованной в 1954 г. Это было время общественного подъема, прогрессивных экономических реформ, выдающихся технических достижений, потепления международных отношений и радикальной диверсификации отечественной экономической науки.

После многих лет господства марксистской политэкономии в экономическое мировоззрение общества, прежде всего через ученых-экономистов, стали проникать и развиваться элементы таких немарксистских экономических концепций, как неоклассическая (маржиналистская), эволюционная (шумпетерианская), институциональная (вебленовская) концепции. Идеи повышения

степени самостоятельности экономических отечественных агентов (предприятий), а также укрупненных территориально-административных образований (экономических районов) стали результатом творческого изучения опыта управления экономикой ряда западных стран, в то время как опыт ведения плановой экономики в СССР послужил отправной точкой для включения элементов планирования в экономику таких стран, как Франция, Япония, США и др. Впереди маячили «социализм с общечеловеческим лицом» и «капитализм общесоциальной направленности». Нуждался в объективном изучении опыт функционирования отечественной экономики за 45 лет, включая этапы военного коммунизма, НЭПа, индустриализации, Великой Отечественной войны, строительства развитого социализма. Разнообразие условий и результатов развития экономики требовало многообразия концепций и инструментов социально-экономического анализа. Обоснованные надежды связывались с применением достижений математики, кибернетики, производства ЭВМ.

В этих условиях на ЦЭМИ возлагалась ответственная миссия — разработать новую систему планирования и регулирования экономики, адекватную задачам социалистического строительства и основанную на прогрессе отечественной и мировой экономической науки и вычислительной техники. Сегодня, забегаая вперед, мы можем поставить вопрос, была ли выполнена эта миссия. По нашему мнению, ответ, безусловно, положительный: миссия была выполнена в том объеме, который определялся условиями функционирования ЦЭМИ.

Кроме того, ЦЭМИ АН СССР, а затем РАН внес значимый вклад в развитие экономической науки, отвечающий на многие актуальные вопросы и освещающий грядущие горизонты мировой экономики. Авторитет ЦЭМИ как институционального и идейного лидера экономико-математического направления в отечественной и мировой экономической науке стал непререкаемым.

У истоков ЦЭМИ стояла «могучая кучка» талантливых экономистов и математиков, собранная основателем ЦЭМИ академиком В.С. Немчиновым и выпестованная первым директором ЦЭМИ академиком Н.П. Федоренко. В эту группу с самого начала или чуть позже входили: В.С. Немчинов, Н.П. Федоренко, Л.В. Канторович, В.В. Новожилов, А.Л. Вайнштейн, А.Л. Лурье, Л.Е. Минц, Б.Н. Михалевский, С.С. Шаталин, С.А. Айвазян, Н.Я. Петраков, Э.Ф. Баранов, К.А. Багриновский, В.А. Волконский, Ю.Н. Гаврилец, Е.Г. Гольштейн, К.Г. Гофман, В.С. Дадаян, В.И. Данилов-Данильян, Э.Б. Ершов, Ю.Р. Лейбкин, Ю.В. Овсиенко, Ю.А. Олейник-Овод, В.Л. Перламутров, В.М. Полтерович, В.Ф. Пугачев, Е.Ю. Фаерман и др. С ЦЭМИ связаны имена таких математиков мирового уровня, как В.И. Данилов, Е.Б. Дынкин, Ф.Л. Зак, А.В. Каток, Б.С. Митягин, А.С. Немировский, Ю.В. Нестеров, Г.М. Хенкин и др.

Уникальный сплав экономистов и математиков представлял собой замечательный интеллектуальный и человеческий капитал, способный в принципе решить любую правильно поставленную задачу. Огромное число таких задач в сфере развития социально-экономической теории, разработки экономической политики и управления экономикой, а также исследований и обобщений хозяйственной практики, успешно выполненных сотрудниками ЦЭМИ за 60 лет (Трофимова, 2018; Клейнер, 2013), позволяет поставить новую задачу, решению которой посвящена данная статья: охарактеризовать траекторию движения ЦЭМИ как флагамена развития математического и компьютерного моделирования социально-экономических процессов в России.

Несмотря на активное развитие теории и практики моделирования в мировой науке, в обществе не сложилось общепринятой структуры методологии построения и использования экономико-математических и информационно-компьютерных моделей, в связи с чем в статье предложена обобщенная схема и последовательность этапов этого процесса. В качестве научной базы моделирования использовался подход, основанный на понятии гомоморфизма как отражения особенностей структуры и функции изучаемого объекта в его математической/компьютерной модели. Такой подход позволил раскрыть эволюцию основных компонентов моделирования, существенно изменившую за последние 60 лет представления об объекте, предмете, целях, аппарате и эмпирической базе моделирования. Накопленный в этой сфере опыт позволяет предложить концепцию доказательного моделирования, аналогичную идеологии доказательной медицины, доказательной политики, доказательного прогнозирования. В заключение мы приводим сквозной перечень наиболее важных (по нашему субъективному мнению) пионерных работ ЦЭМИ РАН в области экономико-математического и компьютерного моделирования, способных определить значимые направления дальнейшего развития этой области науки.

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ,
 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА,
 УПРАВЛЕНИЕ ЭКОНОМИКОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ПРАКТИКА

Взаимоотношения между моделированием, экономической теорией, экономической политикой, управлением экономикой и хозяйственной практикой до сих пор не имеют однозначной трактовки в экономической науке. Цель настоящего раздела — проанализировать эти взаимоотношения более глубоко, чем это обычно делается, уяснить фундаментальную роль моделирования в остальных четырех сферах. В совокупности экономическая теория, политика, регулирование и практика представляют собой приближенное разделение экономики на четыре относительно самостоятельные, хотя и тесно взаимосвязанные, сферы.

Взаимоотношения между экономической теорией, политикой, регулированием и практикой в общем случае имеют весьма сложный характер, но на обобщенном уровне производственно-воспроизводственный цикл отражается в движении информации по кольцевой траектории «теория — политика — управление — практика — теория» (рис. 1). При этом движение по часовой стрелке отражает прямые связи, реализующие производственно-управленческий цикл, а движение против часовой стрелки — обратные связи воспроизводственного характера. Показанные на рис. 1 взаимосвязи играют основную роль во взаимоотношениях между функциональными подсистемами экономики, что не исключает и взаимодействий по схеме «теория — управление» и «политика — практика».

В целом уровень развития экономики любой страны определяется развитием каждой из указанных четырех подсистем, а также институтами и особенностями их взаимодействия. В этом контексте экономико-математические и информационно-компьютерные модели играют роль своеобразных агрегаторов и концентраторов информации, исходящей от каждой из указанных сфер, и одновременно — поставщиков информации для них. Институты и регламенты непосредственных взаимосвязей между основными подсистемами экономики в общем случае дополняются, таким образом, неявными и нерегламентируемыми на формальном уровне связями, осуществляемыми за счет экономико-математических и информационно-компьютерных моделей и их систем. Такие модели осуществляют не только передачу фундаментальных знаний и оперативной информации, но и согласование элементов теоретической, управленческой и эмпирической информации, что

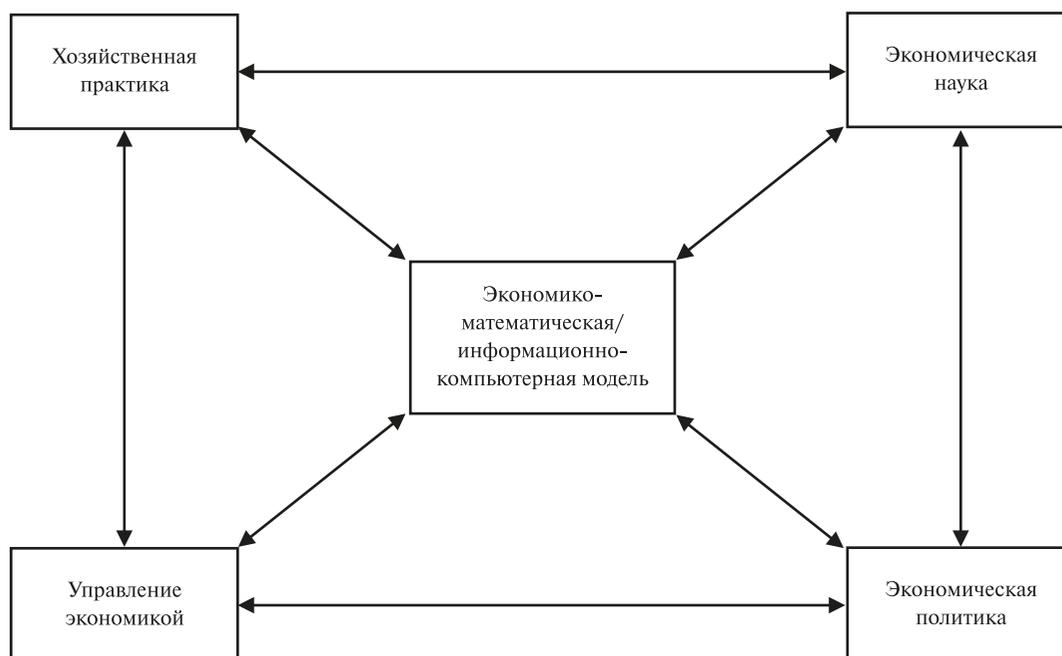


Рис. 1. Влияние экономико-математического и информационно-компьютерного моделирования на функционирование основных сфер экономики

позволяет выявить неполноту, неточность и несогласованность используемой в ходе экономической деятельности информации.

Суммируя, можно сделать вывод, что математические и компьютерные модели исполняют в общем случае следующие функции: накопление и хранение информации теоретического, планоуправленческого и эмпирического характера; получение и распространение новых знаний и сведений для функционирования указанных подсистем; индикация и смягчение фактов несогласованности, неполноты и неточности информации, используемой для принятия решений в каждой из сфер.

В итоге следует заключить, что компьютерно-математическое моделирование не входит целиком ни в теоретическую, ни в планоуправленческую, ни в хозяйственную сферы, а является самостоятельным направлением, обеспечивающим согласованное и эффективное функционирование основных подсистем экономики.

В сегодняшних условиях внешнего давления на российскую экономику развитие данного направления является одним из мощных средств консолидации и дефрагментации экономики, повышения ее преимущества и целенаправленности.

МОДЕЛИ И ГОМОМОРФИЗМЫ

Заголовок раздела воспроизводит название знаменитой книги Ю.А. Гастева «Гомоморфизмы и модели (логико-алгебраические аспекты моделирования)» (Гастев, 1975)¹. В книге раскрывается понятие модели как образа («двойника») объекта моделирования, рассматриваемого под определенным ракурсом как предмет моделирования. При этом модель должна удовлетворять следующим условиям: а) быть подобной объекту в определенном аспекте его изучения, т.е. воспроизводить структуру отношений между компонентами и/или характеристиками объекта; б) позволять исследователю (пользователю) получать новую информацию об объекте моделирования, его внутренней структуре и взаимодействиях с внешней средой. Выполнение этих условий обеспечивает качество модели: условие (а) — ее адекватность; условие (б) — эффективность. Для выполнения первого условия внутренняя структура модели должна отражать структуру объекта, что отвечает понятию *гомоморфизма*, т.е. (неформально выражаясь) сходства форм, а также структур модели с оригиналом. Выполнение второго условия обеспечивается погружением модели в исследовательскую сферу, которая предоставляет исследователю аппарат для изучения взаимосвязи модели с ее окружением. В случае математического моделирования такой сферой является мир математических конструкций и утверждений, в случае технического моделирования — мир технических систем, в случае музыкального моделирования — мир восприятия, интерпретации и анализа музыкальных произведений и т.п. Таким образом, операция моделирования опирается на понятия объекта моделирования, предмета моделирования, целей моделирования и аппарата моделирования. Если рассматривать моделирование как сферу деятельности человека, то неотъемлемым элементом процесса моделирования является субъект моделирования, или модельер — человек (группа людей), осуществляющий процесс построения, анализа и интерпретации результатов моделирования.

На рис. 2 изображены компоненты процесса моделирования и стилизованная схема их взаимосвязей (см. также (Клейнер, 2001)):

- объект моделирования представлен в виде системы, включающей внутреннее наполнение и внешнее окружение объекта;
- информация, используемая при построении модели, характеризует объект моделирования;
- аппарат моделирования представляет собой совокупность математических конструкций и методов, используемых для построения модели;
- цель моделирования отражает совокупность условных или безусловных вопросов, для ответов на которые предназначена модель;
- субъект моделирования;
- процессы идентификации различных компонент модели, включая определение ее вида, оценку параметров и показателей, необходимых для получения ответов на целевые вопросы;
- экономико-математическая и информационно-компьютерная модель объекта;

¹ Переиздано в 2009 г.

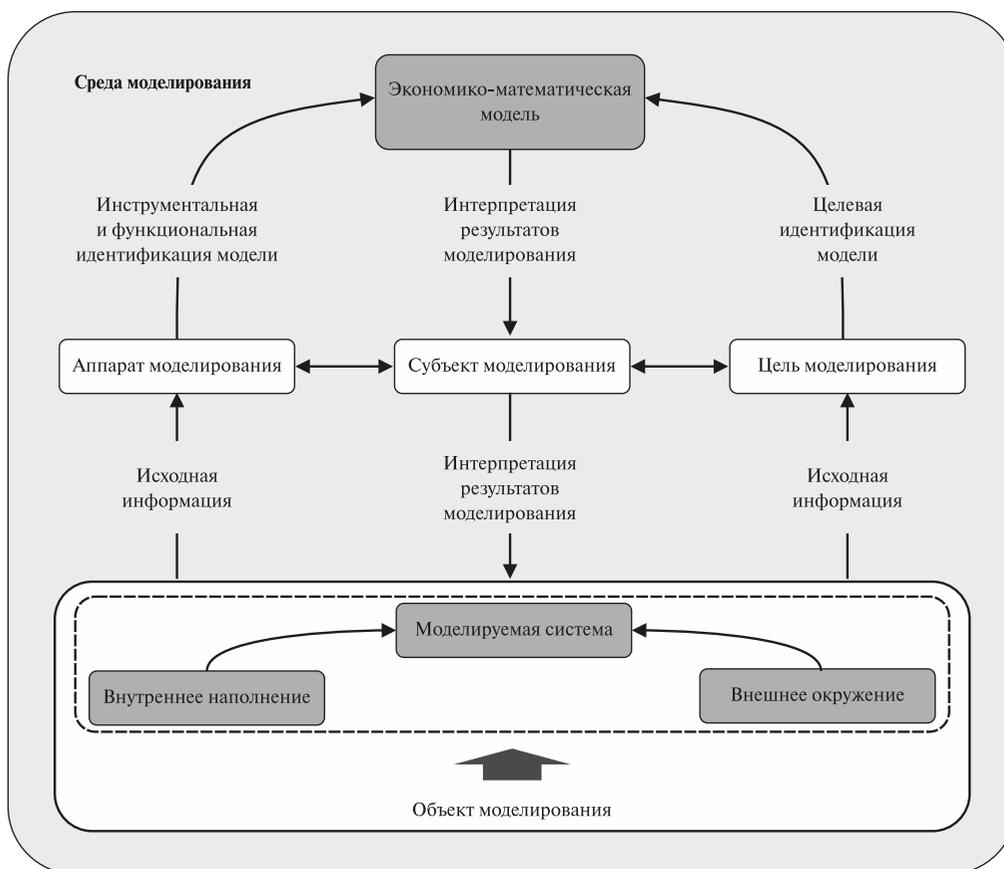


Рис. 2. Компоненты процесса построения и интерпретации модели

- интерпретация результатов моделирования, осуществляемая его субъектом;
- среда моделирования, представляющая собой суперсистему, включает все перечисленные компоненты процесса моделирования.

На схеме отсутствуют изображения этапа анализа построенной модели, осуществляемого средствами той сферы математики, к которой относится аппарат моделирования.

Приведем типовую последовательность реализации этапов моделирования; в конкретных случаях эта последовательность может быть изменена.

Этап 1. Определение пространства (среды) исследования, включая такие ее составляющие, как экономическая теория, социально-психологические характеристики общества, математический аппарат, информационно-компьютерные возможности и технологии, опыт разработки и применения моделей и др.

Этап 2. Определение объекта моделирования.

Этап 3. Определение предмета моделирования.

Этап 4. Формулирование цели моделирования. Постановка задачи.

Этап 5. Системное описание объекта (представление объекта и его непосредственного окружения в виде системы).

Этап 6. Определение предпосылок (допущений) при построении модели.

Этап 7. Выбор теоретической базы (парадигмы) модельного исследования.

Этап 8. Формирование информационной базы моделирования.

Этап 9. Выбор аппарата (инструментария и технологии) моделирования.

Этап 10. Построение и валидация (проверка адекватности и эффективности) модели объекта для решения поставленной задачи.

Этап 11. Системное описание модели (представление модели в виде системы).

Этап 12. Исследование модели, в том числе траекторий решения.

Этап 13. Интерпретация полученных результатов применительно к объекту и цели моделирования.

Этап 14. Возвращение к началу процесса моделирования, уточнение и корректировка этапов.

Мы видим, что этапы моделирования затрагивают ряд разнокачественных материальных и нематериальных систем, включая информационные, технические и социальные системы, в том числе элементы духовного мира человека. При этом каждый из компонентов, начиная с объекта моделирования и кончая его результатом, погружен в особую среду (систему), включающую аналогичные образования и функционирующую в целом, как правило, независимо от данного компонента. В итоге экономико-математическое и информационно-компьютерное моделирование представляет собой своеобразную систему систем, каждая из которых принадлежит отдельному миру, в том числе: миру экономики; миру математики; миру социума; миру науки; мировоззрению человека. Экономико-математическое и компьютерное моделирование, таким образом, имеет принципиально междисциплинарный и межсистемный характер.

Если в первое 20-летие своего существования основным продуктом ЦЭМИ были автономные экономико-математические модели отдельных объектов — предприятий, отраслей, регионов, то к началу 1990-х годов акцент переместился на создание систем моделей — модельных комплексов, отражающих взаимодействие более или менее самостоятельных объектов, функционирование, а порой, и развитие которых происходит согласованно. Наиболее значимым здесь является величественная разработка «Системы оптимального функционирования экономики» (СОФЭ) ((Вопросы оптимального планирования ..., 1982—1985), см. также (Федоренко и др., 2000)). Релевантной концептуальной основой математического моделирования в такой ситуации являются гомоморфизмы так называемых многоосновных алгебраических систем, представляющих собой Декартово произведение конечного числа множеств с различными операциями (Мальцев, 1970; Higgs, 1963). Отметим, что идея и конструкция масштабного замысла В.М. Глушкова создания «Общегосударственной автоматизированной системы учета и обработки информации» (ОГАС, 1950—1980-е годы) также базировались на концепциях общей алгебры (Глушков, 1962, 1972). Соответствующее системное описание объекта моделирования, включая его членение на различные подобъекты и исследование отношений между ними, а также аналогичное описание модели объекта позволяют в концептуальном плане рассматривать процесс моделирования как поиск и исследование гомоморфизмов алгебраических систем².

ЭВОЛЮЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

За минувшие после образования ЦЭМИ 60 лет все основные компоненты экономико-математического моделирования — объект, предмет, цели, аппарат и субъект моделирования — существенно эволюционировали, что нашло отражение в методологии моделирования и его результатах. Немалую роль в этом сыграли исследования и разработки ЦЭМИ. В целом ЦЭМИ не только вписался в процессы эволюции моделирования, но и стал провозвестником новых этапов этой эволюции методологии и инструментария моделирования.

Эволюция объекта моделирования. Вначале типовыми объектами моделирования были такие локальные экономические системы, как предприятие, отрасль, регион, государство, а также взаимоотношения между предприятиями, отраслями, регионами и странами. В состав моделей таких систем входили и подмодели, отражавшие предпочтения тех или иных вариантов развития (критерии оптимальности). Основные усилия при построении моделей объектов микро- и мезоэкономического уровней были направлены на все более адекватное отражение онтологических условий функционирования (модели производственных функций, межотраслевых и межрегиональных взаимодействий). В дальнейшем развитие получили модели обоснования плановых предпочтений

² Такое представление имеет, разумеется, условный характер, поскольку реальные объекты моделирования относятся к онтологии («миру вещей»), в то время как модели — к идеологии («миру идей»). Понятия «модель», «двойник», «образ» следует рассматривать как широкие обобщения понятия «гомоморфизм».

и принятия решений при выборе вариантов развития. В целом совокупность объектов моделирования расширялась, охватывая не только сферу онтологии («мира вещей»), но и сферы идеологии («мира идей»), гносеологии («мира познания») и праксеологии («мира созидания»), а также взаимодействие этих сфер. В перспективе объектами моделирования могут стать все компоненты окружающего мира, включая мир неживой природы, в том числе артефакты; мир живой природы, в том числе человек и его поведение; духовный мир человека, в том числе психологическое состояние и его факторы; мир социальной природы (общество); взаимное влияние указанных компонентов друг на друга. В числе объектов моделирования должны быть выделены системы с краткосрочным (например, флешмоб) и неограниченным (например, фирма) жизненным циклом, а также процессы концентрации и диссипации, обуславливающие появление относительно краткосрочных и долгосрочных объектов. В качестве относительно новых объектов моделирования в последние десятилетия стали появляться такие гибридные формы, как экосистемы, представляющие собой долгоживущие системы, способные самовоспроизводиться и адаптироваться к изменению внешних условий функционирования за счет внутреннего перераспределения ресурсов и возможностей.

Эволюция предмета моделирования. Предмет моделирования определяет ракурс, под которым исследователь рассматривает данный объект и его взаимоотношения с другими объектами. Первоначально взгляд исследователя концентрировался на процессах производства, распределения, обмена и потребления материальных благ. В более позднем периоде в фокус предмета моделирования попали нематериальные факторы, в том числе знания, способности, неформальные влияния со стороны систем, функционирующих в данном периоде, а также в прошлом и будущем. В ближайшем будущем предметами моделирования станут «дух времени» (zeitgeist) — совокупность ключевых идей и ценностей, доминирующих в обществе в определенный период и влияющих на поведение экономических агентов, и «гений места» (genius loci) — совокупность укорененных в определенной части пространства сил, влияющих на ход событий в рамках данной области пространства.

Эволюция целей моделирования. Несмотря на то что формулирование целей построения модели на первых этапах развития моделирования в отечественной экономике имело прагматический характер, в более поздние периоды общественные потребности вели к формированию полного спектра целей моделирования. Базовыми являются четыре вида целей: безусловный (хронологический) прогноз функционирования объекта на определенную дату (период); условный прогноз, описывающий функционирование объекта при условии наступления определенных событий; факторный анализ функционирования объекта в целях объяснения и оценки влияния на него тех или иных факторов; анализ возможностей создания нового объекта или структурной трансформации (реорганизации) имеющегося объекта в тех или иных условиях динамики внешней среды.

Отдельно следует выделить группу внутренних целей, направленных на исследование самих моделей, в том числе на анализ чувствительности моделей к изменению тех или иных параметров. По отношению к вышеперечисленным внешним целям цели данной группы имеют инструментальный характер, а их реализация должна предшествовать реализации указанных выше экзогенных целей.

В перспективе цели моделирования будут детализироваться и соотноситься с условиями конкретных ситуаций, вследствие чего будет возрастать актуальность задачи типологизации и паспортизации моделей для их использования как в исследовательской, так и в управленческой сфере.

В этой связи следует подчеркнуть, что прерогатива постановки задач и определения целей построения модели принадлежит исключительно человеку и вряд ли может быть передана каким-либо системам искусственного интеллекта.

Эволюция аппарата моделирования. На первых этапах математические конструкции, на основе которых строились модели, опирались на аппарат дифференциального и интегрального исчисления, теорию функций действительных переменных, дифференциальные и разностные уравнения; в дальнейшем — на аппарат функционального анализа, алгебраическую топологию и геометрию, в том числе теорию многообразий. Появляются модели, базирующиеся на конструкциях общей алгебры и структурах многоосновных логико-алгебраических систем, в том числе идемпотентной математики. Активно развивается математика иерархических, конфликтующих, оптимизирующих систем и теория поведения конечных автоматов. Теория вероятностей как основной способ отражения неопределенности данных дополняется теорией нечетких множеств, интервальной математикой, теорией величин, наделенных правдоподобием. Для решения проблемы нечеткости, неполноты и несовместимости информации, необходимой для построения моделей, требуется как развитие математического инструментария моделирования, так и разработка масштабной программы

организационно-экономических мероприятий для обеспечения актуальной информацией системы исследования планирования и регулирования экономики.

Следует ожидать дальнейшего расширения палитры измерительных и оценочных квазичисловых шкал за счет двух тенденций: 1) более глубокого учета взаимоотношений субъекта моделирования с математическими структурами, избираемыми в качестве значений шкал (персонализация аппарата моделирования); 2) учета особенностей взаиморасположения в пространстве/времени субъекта и объекта моделирования. Проблема состоит в том, что использование натурального ряда для нумерации периодов функционирования объекта, далеко отстоящих от периода деятельности субъекта, не позволяет отразить возрастающую неопределенность результатов измерения и оценки показателей объекта при удалении прогнозного периода. В первом случае речь идет об учете внутренней психологии субъекта моделирования, во втором — о разработке новой аксиоматики аналога натурального ряда с переменным расстоянием между соседними его членами. Особое значение эти тенденции приобретают при разработке модельной базы для развития стратегического планирования и управления.

Началось активное использование естественного языка как аппарата моделирования. Достижения структурной лингвистики применяются в контент-анализе, нарративном моделировании, моделировании рефлексивных структур. К этому направлению можно отнести и применение в качестве аппарата предметоматематического моделирования общей теории систем А. Богданова, Л. фон Берталанфи и новой теории экономических систем, инициатором развития которой стал ЦЭМИ РАН. Здесь аппарат моделирования занимает промежуточное место между лингвистическим и математическим аппаратом (Клейнер, 2021).

Агентно-ориентированное моделирование, возникшее первоначально на базе теории коллективного поведения автоматов, получило в последние десятилетия мощный импульс благодаря появлению высокопроизводительных и сверхвысокопроизводительных компьютерных средств, позволяющих имитировать результаты многотактового взаимодействия огромного числа самостоятельных агентов. Неоценимый вклад в это направление внесли работы В.Л. Макарова, А.Р. Бахтизина и их коллег (Макаров, Бахтин, Эпштейн, 2022; Макаров и др., 2022). Это открывает пути к получению и верификации фундаментальных знаний о закономерностях развития общества.

Альтернативное направление имитационного моделирования связано с развитием методологии и технологии искусственного интеллекта как метода моделирования, согласно которому функционирование исследуемой системы представляется в виде «черного ящика», взаимодействующего с динамичной окружающей средой³. В ближайшем будущем следует ожидать распространения синтетических структурно-функциональных моделей общественной динамики, сочетающих детализированное транспарентное представление объекта в виде структуры взаимодействующих элементов с агрегированным представлением объекта как целостного непрозрачного образования в окружающей среде.

Эволюция субъекта моделирования. Представления субъекта моделирования о методах, инструментах и целях моделирования существенно менялись в течение описываемого периода. В работах начального периода математические модели возникали как естественное продолжение качественных экономических рассуждений, основанных на статистических данных и измерениях. Моделирование тем самым не отделялось от общеэкономических исследований, и вопрос о качестве моделей не рассматривался как первостепенный. По мере развития в 1960–1980-е годы в СССР автоматизированных систем управления с применением ЭВМ к этому вопросу, как и к качеству используемой статистики, стало привлекаться общественное внимание, поскольку результаты моделирования не всегда удовлетворяли не только заказчиков, но и исполнителей. Вопросы об адекватности и эффективности моделей начали выходить на первый план. Построение и релевантное применение моделей стали самостоятельными направлениями профессиональной деятельности экономиста. Экономико-математические методы выделялись в самостоятельную область знаний и компетенций. Брендированные (т.е. получившие устойчивые наименования либо по фамилиям авторов, либо по названиям организаций) примеры построения и применения моделей переходили из разряда безусловных образцов в разряд кейсов не только для подражания, но и для критики. В зависимости от уровня аналитического мышления и широты экономико-математической эрудиции субъект моделирования приобретал профессиональную квалификацию, а результаты

³ Отметим, что В.Л. Макаров подчеркивал перспективность такого способа моделирования за несколько десятилетий до создания современных систем искусственного интеллекта (Макаров, 1986).

моделирования — доверие экономического сообщества. В настоящее время во весь рост встает задача воспитания нового поколения исследователей и управленцев, свободных от догматического следования известным образцам моделирования (зачастую не учитывающим условий культурно-исторического и экономико-политического развития данной страны) и в полной мере владеющих арсеналом и методами построения адекватных и релевантных экономико-математических и компьютерных моделей.

К сожалению, в последнее время в российской экономической науке наблюдается тенденция использовать упрощенные, и порой неадекватные, экономико-математические модели как в части выбора вида соотношений между показателями, так и в части выбора методов оценивания их параметров. «Бегство от сложности» моделей на фоне роста сложности экономики не позволяет разрабатывать и применять эффективные экономические решения.

Эволюция источников информации для построения моделей. В качестве таких источников в течение начального периода отечественного моделирования выступали данные официальной статистики, относящиеся к макроуровню, отраслевому и региональному развитию. Использовались также данные оперативного бухгалтерского и управленческого учета на предприятиях. Сотрудники ЦЭМИ приняли участие в организации первых опросов руководителей и работников предприятий для получения неформальных данных микроэкономического уровня. Несмотря на то что объем потенциально доступной информации для проведения модельных исследований в последние десятилетия необычайно расширился за счет развития интернета, технологии блокчейн (block-chain), социальных сетей и деятельности блогеров, информационная база моделирования остается недостаточной. Обращение к слабоструктурированным обширным массивам мелкомасштабных детализированных данных (big data; array of fine-scale detailed data) часто порождает путаницу и не позволяет базировать модели на достоверных и надежных данных. Альтернативную проблему представляет и учет редких и не имеющих достаточного статистического ореола событий — так называемых «черных лебедей», которые меняют качественные характеристики экономики. Технологии синтеза большого числа мелкомасштабных данных (big data) и малого количества крупномасштабных данных (small data) с учетом динамики общественного и индивидуального сознания для получения надежных исходных данных разработаны недостаточно. Своевременным представляется создание новой дисциплины, направленной на обеспечение экономико-математических исследований надежной информацией для преодоления проблем неполноты, неточности и несогласованности данных — *экономического источниковедения*. В рамках этой дисциплины должны быть проанализированы как в абсолютном, так и в относительном ключе источники экономической информации и выработаны методы поиска высококачественной исходной информации для моделирования.

ДОКАЗАТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

История применения экономико-математических и компьютерных моделей в решении экономических задач, в выборе экономической политики, прогнозировании и т.п. полна примеров как замечательных успехов, так и досадных неудач (Канторович и др., 1979; Макаров, Бахтизин, Логинов, 2022; Чернов, 2016; Boumans, Duarte, 2019). Очевидно, состояние методологии и методики построения экономико-математических и компьютерных моделей не позволяют быть уверенным в гарантированном результате. Следует заметить, что цена ошибки при использовании результатов экономико-математического и компьютерного моделирования в ходе принятия экономических решений может достигать значительных размеров. В том числе это связано с некоторой априорной и не всегда оправданной доверчивостью лиц, принимающих решения, к выводам, полученным на основе моделей. В этих условиях целесообразно было бы создание особой системы *доказательного моделирования (evidence-based modeling)* — нового направления в методологии моделирования, обеспечивающего в максимальной степени уверенность в возможности применения модели как надежного инструмента научного исследования (Knight, Parker, 2021; Клейнер, 2023). Речь идет фактически о разработке новой идеологии и стратегии моделирования — все этапы моделирования сопровождаются проверкой их эффективности и безопасности с точки зрения дальнейшего продвижения к построению модели. Разработка парадигмы доказательного моделирования была бы одним из возможных ответов на сомнения в практической эффективности экономической науки в целом (Полтерович, 1998; Балацкий, 2022).

Применение стратегии доказательного моделирования предполагает повышение ответственности модельера за качество и эффективность модели. В идеале процесс построения модели должен

быть подобен строительству здания, рассчитанному на долгий срок безопасной эксплуатации. В настоящее время, однако, в арсенале метода построения модели, в отличие от строительства, нет общепринятого документа, аналогичного системе строительных норм и правил.

Проблемы надежности и безопасности результатов исследования характерны, как известно, не только для моделирования, но и для ряда других сфер. Так, в медицине развивается течение *доказательной медицины (evidence-based medicine)*, согласно которому решения о применении тех или иных врачебных вмешательств принимаются исходя из имеющихся общепризнанных доказательств их эффективности и безопасности (Парфенова, 2022). Такие доказательства подвергаются оценке, сравнению, обобщению и широкому распространению для использования в интересах пациентов. В области политических исследований расширяется сфера *доказательной политики (evidence-based policy)*, основанной на строго установленных объективных доказательствах взаимосвязи тех или иных политических решений и их результатов (Галлямова, 2021; Соловьев, 2021). Подобный подход можно наблюдать и в сфере прогнозирования: *доказательное прогнозирование (evidence-based forecasting)* базируется на четко зафиксированных количественных и качественных исходных данных и правилах вывода из них прогнозных предположений (Green, Armstrong, 2012).

В настоящее время наиболее развитым аппаратом для проверки адекватности и эффективности моделей обладает эконометрика. Этот аппарат ориентирован главным образом на оценку параметров моделей на основе эмпирических данных с целью обеспечения максимального соответствия между результатами модельных расчетов и фактическими статистическими данными. Этап оценки параметров и калибровки моделей является, безусловно, одним из центральных этапов при построении модели. Он, однако, не является единственным, поэтому стратегия доказательного моделирования должна предусматривать проверку адекватности модели на всех этапах ее построения. Ниже приводятся эскизные формулировки принципов, которые можно положить в основу доказательного моделирования.

1. *Принцип дискретности (этапности)*, согласно которому весь процесс построения и интерпретации модели разделяется на последовательные самостоятельные этапы.

2. *Принцип компромисса*, согласно которому среди множества возможных проектных решений на каждом этапе моделирования приоритетным следует считать выбор промежуточных («средних») решений, необязательно отвечающих максимуму целевых показателей моделирования, но являющихся репрезентативными для всего множества допустимых решений. Именно компромиссные решения обладают, как правило, наибольшими шансами на развитие в рамках последовательности дальнейших этапов построения и применения модели⁴.

3. *Принцип транспарентности*, согласно которому на каждом этапе моделирования фиксируется и формулируется максимально полная система предпосылок (модельных решений), на которых базируется проведение конкретного этапа.

4. *Принцип рефлексивности*, согласно которому проведение каждого этапа сопровождается оценкой его качества и эффективности с точки зрения дальнейшего продвижения процесса моделирования.

5. *Принцип рационального соотношения между адекватностью и эффективностью модели*, согласно которому построение модели следует рассматривать как компромисс между стремлением к максимальному отражению в модели имеющейся информации об объекте и стремлением к максимальной реализации целей моделирования.

6. *Принцип многоуровневости*, согласно которому модель данного объекта должна представлять собой синтез детализированных и агрегированных подмоделей, отражающих сложную структуру социально-экономического объекта.

7. *Принцип экономико-теоретической обоснованности моделирования*, согласно которому построение модели должно базироваться на четко и явно сформулированных положениях экономической теории.

В контексте доказательного моделирования утверждение о том, что предложенная математическая конструкция действительно служит моделью данного объекта, рассматриваемого с позиций

⁴ Понимаемый подобным образом принцип компромисса можно рассматривать как широкое обобщение и распространение сформулированного В.М. Полтеровичем принципа приоритета промежуточных институтов, согласно которому из имеющегося множества институтов, предлагаемых для межстрановой трансплантации, следует выбирать не наиболее развитый (передовой) институт, но некоторый средний, обладающий высокими шансами быть укорененным (Полтерович, 2016).

данного ракурса (предмета) моделирования для достижения определенных целей, является своего рода теоремой. Условия такой теоремы отражают как объективные исходные данные об объекте и предмете моделирования, так и субъективную информацию о предпосылках (допущениях) процесса построения модели (более подробное изложение применительно к построению производственных функций экономических объектов можно найти в (Клейнер, 1986, 2001)). Поскольку объект моделирования и его модель принадлежат к различным сферам (как было сказано выше, объект, как правило, — к сфере онтологии, модель, как правило, — к сфере идеологии), строгое доказательство утверждения о том, что данная конструкция является моделью данного объекта, требовало бы полной аксиоматизации всей среды моделирования, что сегодня вряд ли возможно. В этой ситуации речь идет об эвристических методах, а объект заменяется его представлением в виде информации о структуре и функциях объекта.

В практике моделирования едва ли не общепринятым является принцип простоты, согласно которому простота модели служит приоритетным критерием на всех этапах моделирования и в процессе построения модели в целом. В качестве обоснования обычно используется принцип Оккама, требующий удаления «лишних сущностей» (читай — сложностей) без явной необходимости. По нашему мнению, однако, простота используемых математических конструкций обманчива и далеко не всегда упрощает решения задачи построения адекватной и эффективной модели объекта. Простые математические конструкции в виде линейных функций, однофакторных зависимостей или невязимозаменимых ограничений (факторов) требуют в рамках концепции доказательного моделирования серьезного обоснования с использованием значительного массива информации об особенностях моделируемого объекта: простота с точки зрения математики оборачивается сложностью с точки зрения информатики. Это приводит, по нашему мнению, к отказу при моделировании от безусловного приоритета движения «от простого к сложному» в пользу итерационного подхода «от абстрактного (аксиоматического) к конкретному (алгоритмическому) и обратно».

В литературе часто встречаются рекомендации сначала выбирать наиболее простые виды параметрических зависимостей, а затем усложнять их, если результаты расчетов на их основе оказываются неудовлетворительными. В контексте доказательного моделирования при выборе вида модельных зависимостей предлагается использовать другой подход. Сначала на базе имеющейся информации о моделируемом объекте формулируются допущения относительно характера взаимосвязей таких широко распространенных показателей, как средняя или предельная производительность ресурса (отдача фактора), предельная норма и эластичность замещения одного вида ресурса (фактора) другим и т.п.

Часто такие соотношения позволяют однозначно или с высокой долей уверенности определить вид зависимости как решения соответствующей системы дифференциальных, интегральных или разностных уравнений. На таком пути мы получаем возможность обоснования вида параметрических зависимостей, что обычно относят к наиболее уязвимым для критики этапам экономико-математического моделирования. (Заметим, что в сфере моделирования физических, технологических и природных процессов виды зависимостей часто могут быть выведены из фундаментальных законов природы, что в сфере моделирования социально-экономических процессов в настоящее время не представляется возможным.)

Процесс построения модели можно рассматривать как своего рода инновационный проект, задачей которого является создание новой экономико-математической и информационно-компьютерной модели, реализующей цели моделирования. При этом на каждом этапе должны приниматься только те модельные решения, которые допускают обоснования в соответствии со стандартами доказательного моделирования. Это означает, что каждый этап может рассматриваться как инновационный мини-проект, описание которого содержит: а) исходные данные для выбора решения; б) принимаемые предпосылки (допущения); в) результат выбора модельного решения. Принципы выбора решения в целом отражают сформулированные выше принципы доказательного моделирования. Тем самым процесс моделирования приобретает фрактальный характер. Качество построенной модели, отражающее ее адекватность и эффективность, зависит от качества проведения всех без исключения этапов моделирования.

Выполнение перечисленных выше принципов доказательного моделирования находится в сфере ответственности субъекта моделирования. В целом принятие значительного числа разнообразных проектных решений в процессе построения, интерпретации и применения моделей требует от субъекта моделирования ответственного отношения к данному процессу. В морально-этическом плане следует ставить вопрос об ответственном моделировании социально-экономических процессов и систем.

В настоящее время развернулась активная дискуссия по вопросу о том, существует ли универсальный методологический «золотой стандарт» в экономическом анализе (Капелюшников, 2023). Не занимая какой-либо однозначной позиции в этой общей дискуссии, мы хотели бы отметить, что в области доказательного моделирования такой стандарт необходим. Разработка и распространение стандартов доказательного моделирования социально-экономических процессов является сегодня, на наш взгляд, одной из граней миссии ЦЭМИ.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ: «СТРОЙ ЦЭМИ», «ДУХ ЦЭМИ», «ФЛАГ ЦЭМИ»

За прошедшие шесть десятилетий в стенах ЦЭМИ разработано и опубликовано огромное число новых моделей всех уровней и направлений развития экономики. В некоторых случаях пионерные решения ЦЭМИ становились импульсами для кардинального расширения объектной, предметной, аппаратной и информационной сферы моделирования. В фарватере ЦЭМИ как флагмана экономико-математического и компьютерного моделирования идут сотни организаций и тысячи исследователей, развивающих начатые в институте работы. Мы перечислим здесь лишь некоторые направления пионерных для отечественной экономической науки работ в сфере экономико-математического и компьютерного моделирования (оставляя в стороне не менее замечательные работы коллег, посвященные, главным образом, экономической проблематике, в том числе работы Б.А. Ерзнкяна, О.Б. Брагинского, Е.Ю. Хрусталева, А.А. Никоновой, С.Я. Чернавского, Р.М. Качалова, Д.А. Жданова, А.А. Кобылко и др.). Многие из приведенных ниже направлений стали «точками роста» российской и мировой экономической науки:

- моделирование общего экономического равновесия (CGE-моделирование) (В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, С.А. Айвазян и др.);
- моделирование развития экономики знаний и интеллектуальной экономики (В.Л. Макаров, Г.Б. Клейнер, А.Н. Козырев);
- комплексное агентно-ориентированное моделирование территориальных, демографических, транспортных и иных социально-экономических систем (В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, А.С. Акопов, Л.А. Бекларян, Е.Д. Сушко);
- моделирование длинноволновых процессов в экономике (В.Е. Дементьев);
- ценообразование на неконкурентных рынках и моделирование сетевых эффектов в экономике (Е.В. Устюжанина, В.Е. Дементьев);
- моделирование динамики качества жизни населения, в том числе социального неравенства (С.А. Айвазян, М.Ю. Афанасьев, А.Е. Варшавский и др.);
- сравнительный модельный анализ региональных экономик с учетом их сложности (М.Ю. Афанасьев, А.В. Кудров);
- развитие методов построения производственных зависимостей, включая новые виды производственных функций и стохастические границы производственных возможностей (Г.Б. Клейнер, М.Ю. Афанасьев);
- развитие методов переноса концепций непрерывности и выпуклости на случай дискретных множеств (В.И. Данилов, Г.А. Кошевой);
- исчисление институтов (В.Л. Макаров);
- моделирование диффузии инноваций в равновесных и неравновесных средах (В.М. Полтерович, Г.М. Хенкин);
- моделирование факторов кризисного состояния экономической теории (В.М. Полтерович);
- развитие методов линейного и нелинейного программирования, теории игр (Е.Г. Гольштейн);
- моделирование влияния СМИ, общественного и коллективного мнения на поведение социальных и экономических агентов (Ю.Н. Гаврилец);
- развитие алмазно-бриллиантового рынка, оптимизация процессов производства и реализации бриллиантов (А.А. Фридман, Л.Г. Бабат);
- разработка малоразмерных агрегированных моделей функционирования отечественных предприятий (Н.Е. Егорова, Г.Б. Клейнер);

- моделирование абсорбции и генерации инноваций в рамках национальной инновационной системы (О.Г. Голиченко, С.А. Самоволева);
- моделирование процессов согласованной трансформации вертикально связанных отраслей и предприятий (А.С. Плещинский);
- моделирование согласования плановых внутрифирменных решений (В.И. Данилин, В.А. Татаров);
- развитие методов оценки эффективности инвестиционных проектов в стационарных и нестационарных экономиках (В.Н. Лившиц, С.А. Смоляк);
- моделирование процессов стоимостной оценки машин и оборудования в условиях неопределенности (С.А. Смоляк);
- моделирование методов стимулирования реализации инвестиционных проектов (В.И. Аркин, А.Д. Слостников, Э.Л. Пресман);
- многоступенчатая оптимизация отечественной экономики (В.Ф. Пугачев);
- моделирование процессов экономической динамики и управления с учетом стохастической и фидуциальной неопределенности (В.З. Беленький; Н.А. Трофимова; В.И. Ротарь, Т.А. Белкина);
- информационное моделирование процессов научной коммуникации в экономике (М.Д. Ильменский, С.И. Паринов, А.А. Акиншин);
- моделирование экономики на базе новой теории экономических систем (Г.Б. Клейнер, М.А. Рыбачук, В.А. Карпинская).

За прошедшие годы организационная структура ЦЭМИ неоднократно менялась. Сегодня в структуре представлены все основные подсистемы экономики: экономическая теория (Отделение теоретической экономики и математических исследований, руководитель — академик РАН В.Л. Макаров); экономическая политика и хозяйственная практика (Отделение макроэкономики и моделирования региональных систем, руководитель — д.э.н., профессор Е.В. Устюжанина и Отделение моделирования производственных объектов и комплексов, руководитель — член-корреспондент РАН Г.Б. Клейнер); эконометрическое моделирование и информатика (Отделение эконометрики и прикладной статистики, руководитель — д.э.н., профессор М.Ю. Афанасьев и Отделение экономической информатики, руководитель — к.т.н. М.Д. Ильменский). В такой структуре содержится огромный потенциал экономико-математического и информационно-компьютерного синтеза, который, подобно термоядерному синтезу, способен стать мощным источником энергии дальнейшего развития российской экономической науки и практики.

Около 40 лет на капитанском мостике ЦЭМИ стоит, возглавляя отечественную экономико-математическую флотилию, академик РАН В.Л. Макаров. С 2017 г. он руководит ЦЭМИ в должности научного руководителя института. С этого же года в качестве директора института к нему присоединился член-корреспондент РАН А.Р. Бахтизин. Это сочетание символично. Здесь соединяются опыт всемирно признанного ученого и энергия молодого исследователя. Дух ЦЭМИ, возникший с самого его основания и абсорбирующий такие качества экономистов-исследователей, как широта взглядов, внимание ко всему новому, что возникает в экономической науке и практике, объективность оценок, готовность поддержать исследования и разработки коллег, общая нацеленность на перспективу, по-прежнему живет в стенах ЦЭМИ.

Флаг экономико-математического и компьютерного моделирования по-прежнему развевается над зданием института и служит ориентиром для всех, кто хотел бы присоединиться или уже присоединился к сообществу ученых, посвятивших свой талант и способности великому делу развития и процветания экономики России.

Общий итог: прошлое ЦЭМИ величественно, настоящее органично, а будущее прекрасно!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Балацкий Е.В.** (2022). Новые императивы экономического знания: на пути к соционимике // *Социальное пространство*. Т. 8. № 4. С. 1–15. DOI: 10.15838/sa.2022.4.36.2 [**Balatsky E.V.** (2022). The new imperatives of economic knowledge: On the way to socionomics. *Social Area*, 8, 4. DOI: 10.15838/sa.2022.4.36.2 (in Russian).]

- Вопросы оптимального планирования и управления социалистической экономикой (1982–1985). Серия коллективных монографий в 10 томах. М.: Наука. [*Questions of optimal planning and management of the socialist economy* (1982–1985). A series of collective monographs in 10 volumes. Moscow: Nauka (in Russian).]
- Галлямова Э.М.** (2021). Доказательная государственная политика: возможности и ограничения // *Социология*. № 2. С. 158–162. [**Gallyamova E.M.** (2021). Evidence-based public policy: Opportunities and limitations. *Sociology*, 2, 158–162 (in Russian).]
- Гастев Ю.А.** (1975). Гомоморфизмы и модели (логико-алгебраические аспекты моделирования). М.: Наука. [**Gastev Yu.A.** (1975). *Homomorphisms and models (logo-algebraic aspects of modeling)*. Moscow: Nauka (in Russian).]
- Глушков В.М.** (1962). Синтез цифровых автоматов. М.: GIFML. [**Glushkov V.M.** (1962). *Synthesis of digital automata*. Moscow: GIFML (in Russian).]
- Глушков В.М.** (1972). Введение в АСУ. Киев: Техника. [**Glushkov V.M.** (1972). *Introduction to ACS*. Kiev: Technology (in Russian).]
- Канторович Л.В., Данилов-Данильян В.И., Гольштейн Е.Г.** и др. (1979). Использование методов оптимизации в текущем планировании и оперативном управлении производством. Сб. тез. докл. Всесоюз. конф. (17–19 окт. 1979 г.). М.: ВИНТИ. [**Kantorovich L.V., Danilov-Danilyan V.I., Golshtein E.G.** et al. (1979). *The use of optimization methods in the current planning and operational management of production*. In: abstract report All-Union. conf. (17–19 Oct. 1979). Moscow: VINITI (in Russian).]
- Капелюшников Р.И.** (2023). «Рандомисты»: новая экономика развития // *Вопросы экономики*. № 6. С. 5–35. DOI: 10.32609/0042-8736-2023-6-5-35. [**Kapeliushnikov R.I.** (2023). “Randomistas”: A new development economics. *Voprosy Ekonomiki*, 6, 5–35. DOI: 10.32609/0042-8736-2023-6-5-35 (in Russian).]
- Клейнер Г.Б.** (1986). Производственные функции: теория, методы, применение. М.: Финансы и статистика. [**Kleiner G.B.** (1986). *Production functions: Theory, methods, application*. Moscow: Finansy i statistika (in Russian).]
- Клейнер Г.Б.** (2001). Экономико-математическое моделирование и экономическая теория // *Экономика и математические методы*. Т. 37. № 3. С. 111–126. [**Kleiner G.B.** (2001). Economic-mathematical modeling and economic theory. *Economics and Mathematical Methods*, 37, 3, 111–126 (in Russian).]
- Клейнер Г.Б.** (2013). Системные исследования в ЦЭМИ РАН: системная экономика как платформа развития экономической теории. В сб.: «Экономико-математические и инструментальные методы на службе модернизации народного хозяйства: сборник докладов и сообщений Всероссийской научной конференции». 28 ноября 2013 г. В 2 т. Т. 1. Под ред. В.Л. Макарова, Г.Б. Клейнера. М.: ЦЭМИ РАН. С. 82–104. [**Kleiner G.B.** (2013). System research at CEMI RAS: System economics as a platform for the development of economic theory. In: “*Economic-mathematical and instrumental methods in the service of the modernization of the national economy: A collection of reports and messages of the All-Russian Scientific Conference*”. November 28, 2013. In 2 vols. Vol. 1. V.L. Makarov, G.B. Kleiner (eds.). Moscow: CEMI RAS, 82–104 (in Russian).]
- Клейнер Г.Б.** (2021). Системная экономика: шаги развития. М.: ИД «Научная библиотека». 746 с. [**Kleiner G.B.** (2021). *Systems economy: Development steps*. Moscow: Nauchnaya biblioteka (in Russian).]
- Клейнер Г.Б.** (2023). Доказательное моделирование как перспективный инструмент научного исследования социально-экономических процессов // *Экономика и управление: проблемы, решения*. Т. 2. № 6. С. 5–16. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2023.06.02.001. [**Kleiner G.B.** (2023). Evidence-based modeling as a perspective tool for scientific research of socio-economic processes. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 2, 6, 5–16. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2023.06.02.001 (in Russian).]
- Макаров В.Л.** (1986). О развитии экономико-математического инструментария на современном этапе // *Экономика и математические методы*. Т. 22. Вып. 3. [**Makarov V.L.** (1986). On the development of economic and mathematical tools at the present stage. *Economics and Mathematical Methods*, 22, 3 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Логинов Е.Л.** (2022). Применение экономико-математических методов и моделей оптимального планирования в цифровой экономике будущего. ЦЭМИ АН СССР и ЦЭМИ РАН: прогностическая интерпретация и развитие научного наследия нобелевских лауреатов Л.В. Канторовича и В.В. Леонтьева. М.: ЦЭМИ РАН. [**Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Loginov E.L.** (2022). *Application of economic and mathematical methods and models of optimal planning in the digital economy of the future*. CEMI AS USSR and CEMI RAS: Predictive interpretation and development of the scientific heritage of Nobel laureates L.V. Kantorovich and V.V. Leontiev. Moscow: CEMI RAS (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сидоренко М.Ю., Хабриев Б.Р.** (2022). Агент-ориентированные модели. М.: ГАУГН. [**Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Sidorenko M.Yu., Khabriev B.R.** (2022). *Agent-based models*. Moscow: GAUGN (Stata academic university for the humanities) (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Эпштейн Дж.М.** (2022). Агент-ориентированное моделирование для сложного мира. М.: МАКС Пресс. [**Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Epshtein J.M.** (2022). *Agent-based modeling for a complex world*. Moscow: MAKS Press (in Russian).]

- Мальцев А.И.** (1970). Алгебраические системы. М.: Наука. [Maltsev A.I. (1970). *Algebraic systems*. Moscow: Nauka (in Russian).]
- Парфенова О.** (2022). Как развивалась доказательная медицина в России: от закрытых форумов к «доказательным» клиникам // *Laboratorium: Журнал социальных исследований*. Т. 14. № 1. С. 111–132. DOI: 10.25285/2078-1938-2022-14-1-111-132. [Parfenova O. (2022). How evidence-based medicine developed in Russia: From closed forums to evidence-based clinics. *Laboratorium: Russian Review of Social Research*, 14, 1, 111–132. DOI: 10.25285/2078-1938-2022-14-1-111-132 (in Russian).]
- Полтерович В.М.** (1998). Кризис экономической теории // *Экономическая наука современной России*. № 1. С. 46–66. [Polterovich V.M. (1998). Crisis of economic theory. *Economics of Contemporary Russia*, 1, 46–66 (in Russian).]
- Полтерович В.М.** (2016). Институты догоняющего развития (к проекту новой модели экономического развития России) // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. № 5 (47). С. 34–56. [Polterovich V.M. (2016). Institutions of catch-up development (to the project of a new model of economic development of Russia). *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 5 (47), 34–56 (in Russian).]
- Соловьев А.И.** (2021). «Доказательная политика» и «политика доказательств»: дилемма постсоветских обществ // *Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право*. Т. 14. № 5. С. 61–80. DOI: 10.23932/2542-0240-2021-14-5-3. [Soloviev A.I. (2021). “Evidence-based politics” and “evidence politics”: The dilemma of post-Soviet societies. *Outlines of Global Transformations: Politics, Economics, Law*, 14, 5, 61–80. DOI: 10.23932/2542-0240-2021-14-5-3 (in Russian).]
- Трофимова Н.А.** (2018). Per Aspera ad Astra. ЦЭМИ 55 лет // *Экономика и математические методы*. Т. 54. № 2. С. 1–17. [Trofimova N.A. (2018). Per Aspera ad Astra. CEMI is 55. *Economics and Mathematical Methods*, 54, 2, 1–17 (in Russian).]
- Федоренко Н.П., Шукин Е.П., Седых Е.А., Нанавян А.М.** (2000). Обоснование использования основных элементов СОФЭ в переходный период. В сб.: «Научные отчеты Института проблем рынка РАН». М.: Институт проблем рынка РАН. [Fedorenko N.P., Shchukin E.P., Sedykh E.A., Nanavyan A.M. (2000). Substantiation of the use of the main elements of SOFE in the transitional period. In: *Scientific reports of the institute for market problems of the Russian Academy of Sciences*. Moscow: Institute for Market Problems of the Russian Academy of Sciences (in Russian).]
- Чернов В.А.** (2016). Математика в экономике: иллюзии и возможности // *Инновационная экономика и общество*. № 3 (13). С. 53–65. [Chernov V.A. (2016). Mathematics in economics: Illusions and opportunities. *Innovative Economics and Society*, 3 (13), 53–65 (in Russian).]
- Boumans M., Duarte P.G.** (2019). The history of macroeconometric modeling: An introduction. *History of Political Economy*, 51, 3, 391–400. DOI: 10.1215/00182702-7551828
- Green K.S., Armstrong J.S.** (2012). *Demand forecasting: Evidence-based methods*. Available at: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3063308
- Higgins P.J.** (1963). Algebras with a scheme of operators. *Math. Nachrichten*, 27, 115–132.
- Knight C., Parker S.** (2021). How work redesign interventions affect performance: An evidence-based model from a systematic review. *Human Relations*, 74, 1, 69–104. DOI: 10.1177/0018726719865604

The flagship of economic, mathematical and computer modeling: 60 years in line

© 2023 G.B. Kleiner

G.B. Kleiner,

Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Financial University under the Government of the Russian Federation, State University of Management, Moscow, Russia; e-mail: george.kleiner@inbox.ru

Received 20.06.2023

Abstract. Main directions and evolution routes of the Central Economics and Mathematics Institute (CEMI) as a leader of domestic economic science in the development and application of economic-mathematical and information-computer models of socio-economic processes and systems were analyzed in the paper. The connection of modeling with such components of the economy as economic theory, economic policy, economic management and economic practice were clarified. It was shown that the economic and mathematical model plays an indispensable role in the integration and systematization of knowledge in the field of economic theory and economic practice. A generalized scheme and the sequence of modeling stages based on the concept of a model as a homomorphic image of a real object in the field of ontology (“the world of things”), ideology (“the world of ideas”), epistemology (“the world of knowledge”) and praxeology (“the world of creation”), were proposed. The evolution of the main components of modeling which had significantly changed over the past 60 years the ideas about the object, subject, goals, apparatus and empirical basis of modeling, were traced. The experience accumulated at CEMI RAS in this area allows us to propose the concept of evidence-based modeling, similar to the ideology of evidence-based medicine, evidence-based policy, evidence-based forecasting, aimed at qualitatively improving the validity and reliability of modeling results for applying in economic theory and practice. The main principles of evidence-based modeling that have to play the role of standards for evidence-based modeling were formulated. The modeling process was considered as an analogue of an innovative project, where every independent stage (likewise the entire project) should be carried out according to these standards. A list of the most important, in our opinion, pioneer works of CEMI RAS in the field of economic-mathematical and computer modeling, which determine significant directions for the further development of this field of science, was given.

Keywords: economic and mathematical modeling, computer modeling, modeling stages, evidence-based modeling, homomorphism, Central Economics and Mathematics Institute (CEMI).

JEL Classification: C60.

For reference: **Kleiner G.B.** (2023). The flagship of economic, mathematical and computer modeling: 60 years in line. *Economics and Mathematical Methods*, 59, 3, 5–20. DOI: 10.31857/S042473880027042-5 (in Russian).

К 60-летию ЦЭМИ РАН

Федеральному государственному бюджетному учреждению науки
Центральному экономико-математическому институту
Российской академии наук — 60 лет

© 2023 г. А.И. Ставчиков

А.И. Ставчиков,
ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: stav@cemi.rssi.ru

Поступила в редакцию 27.06.2023

Аннотация. Цель статьи состоит в обобщенном изложении моментов, связанных с подготовкой и реализацией процесса создания и формирования Центрального экономико-математического института АН СССР (РАН) как одного из событий на пути развития экономико-математического направления экономической науки в СССР и России. Указаны ведущие основоположники данного направления и их последователи, воспитанные в стенах ЦЭМИ. Отмечена роль Президиума АН СССР в формировании научного коллектива института и его научных направлений. Кратко изложены основные направления научных исследований и их совершенствование в процессе функционирования института, отмечены краткие результаты научных исследований по направлениям. Отмечено влияние деятельности ЦЭМИ на развитие в стране экономико-математического направления; образования; использования ЭММ и ВТ в науке, экономике и управлении. Приведены государственные и зарубежные награды за научные достижения института и его сотрудников в разные годы.

Ключевые слова: система оптимального планирования экономики; научное сообщество; экономическая теория; инструментальные средства, теория общего экономического равновесия кибернетики, проблемы экономической теории, теория экономики переходного периода, социальные аспекты экономической теории, теория реформ.

Классификация JEL: С60.

Для цитирования: Ставчиков А.И. (2023). Федеральному государственному бюджетному учреждению науки Центральному экономико-математическому институту Российской академии наук — 60 лет // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 3. С. 21–30. DOI: 10.31857/S042473880026989-6

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центральный экономико-математический институт Российской академии наук был создан как Центральный экономико-математический институт Академии Наук СССР в соответствии с Постановлением ЦК КПСС и Совета министров СССР от 21 мая 1963 г. «Об улучшении руководства внедрением вычислительной техники и автоматизированных систем управления в народном хозяйстве» и Постановлением Президиума АН СССР от 19 июля 1963 г. № 519 с целью разработки научных основ и математических методов оптимального планирования и управления народным хозяйством, обеспечивающих широкое использование для этих целей современных средств электронной вычислительной техники.

ЦЭМИ АН СССР в 1963 г. создан на базе организованной академиком В.С. Немчиновым пятью годами ранее Лаборатории экономико-математических методов АН СССР и четырех подразделений других организаций АН СССР и Госплана СССР.

У истоков создания института стояли выдающиеся отечественные ученые, заложившие фундамент для последующих работ института. Кроме основателя института академика В.С. Немчинова, это были первый директор института академик Н.П. Федоренко, лауреат Нобелевской премии по экономике 1975 г., академик Л.В. Канторович, профессор В.В. Новожилов, а также известные экономисты А.Л. Вайнштейн, А.Л. Лурье. Плеяда блестящих экономистов и математиков была воспитана в ЦЭМИ, строила его и составляет его историю и славу: С.А. Айвазян, Э.Ф. Баранов, К.А. Багриновский, В.А. Волконский, Ю.Н. Гаврилец, Е.Г. Гольштейн, К.Г. Гофман, В.С. Дадаян, В.И. Данилов, В.И. Данилов-Данильян, Ю.Р. Лейбkind, Н.В. Махров, Б.Н. Михалевский, А.А. Модин, Ю.В. Овсиенко, В.Л. Перламутров, В.М. Полтерович, В.Ф. Пугачев и др.

Деятельность большого числа членов Отделения общественных наук РАН тесно связана с ЦЭМИ. И это были академики РАН — А.И. Анчишкин, С.Ю. Глазьев, С.С. Шаталин, Н.Я. Петраков, Ю.В. Яременко в течение ряда лет работали в ЦЭМИ; академик РАН В.Л. Макаров с 1985 по 2017 г. — директор ЦЭМИ, с 2018 г. директором ЦЭМИ РАН избран член-корреспондент РАН А.Р. Бахтизин. Академик РАН Д.С. Львов, члены-корреспонденты РАН В.Е. Дементьев и Г.Б. Клейнер — заместители директора, член-корреспондент АН СССР Т.В. Рябушкин — заведующий лабораторией. В течение десятилетий сотрудничали с ЦЭМИ академики Л.В. Канторович, А.Г. Аганбегян, А.А. Анфиногентова, А.Г. Гранберг, П.А. Минакир, В.В. Окрепилов, А.И. Татаркин и др. Большую помощь в формировании института и организации его деятельности оказывали президент АН СССР, академик М.В. Келдыш и академик-секретарь ОЭ АН СССР, академик А.А. Арзуманян.

В настоящее время в ЦЭМИ работают академики РАН В.Л. Макаров и В.М. Полтерович; члены-корреспонденты РАН А.Р. Бахтизин, В.Е. Дементьев, Г.Б. Клейнер, А.В. Савватеев, иностранный член РАН В.Л. Квинт. Многие научные сотрудники ЦЭМИ занимали и занимают важные государственные посты: А.Р. Белоусов, Н.Я. Петраков, С.Ю. Глазьев, А.Н. Шохин, Е.Г. Ясин, А.А. Нечаев., Б.Г. Салтыков, А.Г. Фонотов, И.П. Биленкина, А.Л. Головков, В.Е. Цапелик, Б.Л. Рудник, А.А. Блохин, Э.Р. Норов.

Создание и функционирование института дали мощный импульс дальнейшему развитию экономико-математического направления, экономической науки, образованию, широкому использованию математических методов и ЭВМ в народном хозяйстве страны, регионов и предприятий.

Внутри ЦЭМИ сформировались, а затем выделились в качестве самостоятельных структурных образований РАН: Институт народнохозяйственного прогнозирования (1986), Институт социально-экономических проблем народонаселения (1988), Институт проблем рынка (1990). Усилиями сотрудников ЦЭМИ были созданы две кафедры экономического факультета Московского государственного университета: кафедра математических методов анализа экономики и кафедра прикладных проблем экономико-математического моделирования. На базе ЦЭМИ организована Российская экономическая школа, в которой преподают крупные ученые России, США, Великобритании, Израиля и т.п.

Постановлением Президиума Академии наук СССР от 11 октября 1963 г. № 603 институту утверждены основные направления научных исследовательских работ, в которых указывается, что главной задачей Центрального экономико-математического института АН СССР является разработка научных основ и математических методов оптимального планирования и управления народным хозяйством, обеспечивающих широкое использование для этих целей современных средств электронной вычислительной техники. Выполнение указанной задачи требует сотрудничества математиков, инженеров и экономистов и тесного взаимодействия научных отделов, обеспечивающих разработку проблем, экспериментальную проверку результатов и методологическое руководство внедрением разработанных методов.

Первым директором ЦЭМИ АН СССР (1963–1985) был назначен член-корреспондент АН СССР Н.П. Федоренко, известный советский экономист, сумевший сформулировать и добиться утверждения основных научных направлений исследований института в соответствии с поставленной задачей при его создании. Талантливый организатор, он сформировал основной кадровый состав и структуру ЦЭМИ, ВЦ, научную аспирантуру, построил здание, создал научную школу ЦЭМИ на базе нового типа экономического мышления. Им были организованы широкие экономико-математические исследования, направленные на разработку теории системы оптимального функционирования советской экономики. Возглавляя ЦЭМИ более 20 лет, он сделал его лидером советской экономической науки, получившим широкое международное признание.

Всего в структуре ЦЭМИ в момент его создания было предусмотрено пять научных отделов, информационно-методологический отдел и вычислительный центр. В состав научных отделов входило 26 лабораторий. Главное направление научной деятельности ЦЭМИ конкретизировалось в проблематике отделов и лабораторий.

С 1985 г. директором ЦЭМИ был назначен член-корреспондент АН СССР В.Л. Макаров, который возглавлял ЦЭМИ до 2018 г. Главная миссия ЦЭМИ, сформулированная при его создании, осталась неизменной. Она трансформировалась в разработку и совершенствование математического и компьютерного инструментария для анализа экономических и социальных процессов. За время работы на посту директора В.Л. Макарову удалось сохранить научный потенциал института, развить ряд новых научных направлений, укрепить материально-финансовую и вычислительную

базу института. Он активизировал деятельность института в сфере исследований фундаментальных проблем экономической теории, математической экономики и прикладных разработок. Под руководством В.Л. Макарова сложилась научная школа математического и компьютерного моделирования экономики.

Впоследствии направления научных исследований ЦЭМИ АН СССР неоднократно уточнялись в соответствии с решениями партийных и государственных органов, постановлениями Президиума Академии наук СССР № 229 от 3 июля 1964 г., № 801 от 18 сентября 1969 г., № 1550 от 15 декабря 1983 г. и т.д.

На основании Указа Президиума РСФСР № 228 от 21 ноября 1991 г. Распоряжением Президиума Академии наук СССР № 10103–790 от 4 декабря 1991 г. Центральный экономико-математический институт Академии наук СССР переименован в Центральный экономико-математический институт Российской академии наук.

В соответствии с постановлением Президиума РАН от 18 декабря 2007 г. № 274 институт получил наименование «Учреждение Российской академии наук «Центральный экономико-математический институт РАН»».

Постановлением Президиума РАН от 13 декабря 2011 г. № 262 институт получил наименование «Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Центральный экономико-математический институт Российской академии наук» (далее — ЦЭМИ РАН).

С 2018 г. ЦЭМИ РАН возглавляет член-корреспондент РАН А.Р. Бахтизин — известный российский экономист и математик международного уровня, имеющий научный авторитет в стране и за рубежом. Альберт Рауфович обладает обширным видением социально-экономических проблем современного мира и России, является специалистом в области математического и компьютерного моделирования социально-экономических процессов. Он разработал теорию построения и комплекс агент-ориентированных моделей для суперкомпьютеров, осуществил запуск крупномасштабной агент-ориентированной модели социально-экономической системы России на суперкомпьютерах «Ломоносов» (МГУ им. Ломоносова) и «Тяньхэ-2» (Гуанчжоу, Китай). С ним ученые ЦЭМИ связывают будущее института.

ЦЭМИ РАН — ведущий исследовательский институт Российской академии наук в области экономической теории, математического и компьютерного моделирования экономики. Как и другие исследовательские институты Российской академии наук классического типа, ЦЭМИ был создан для проведения фундаментальных научно-исследовательских работ, в основном теоретического характера. В советское время институт вел большую работу в области оптимального планирования развития предприятий, отраслей, регионов и народного хозяйства в целом (в том числе и с учетом неравновесной системы цен), а также проводил исследования в области неэкономической теории.

Сложившееся к настоящему времени в институте научное сообщество экономистов и математиков высшей квалификации, совместно работающих над решением актуальных проблем социально-экономического развития России, является в определенном смысле уникальным. В ЦЭМИ РАН накоплен значительный объем знаний и опыта, полученных в ходе многолетних исследований особенностей российской экономики в различных фазах ее развития, при разных социально-политических условиях. ЦЭМИ является одной из немногих научных организаций, профессионально специализирующихся на разработке и развитии методических и инструментальных средств математического и компьютерного моделирования экономических объектов и процессов.

Научные исследования, проводимые в ЦЭМИ за период его функционирования, можно сгруппировать по следующим основным направлениям:

- экономическая теория;
- инструментальные средства (математические методы, модели, алгоритмы, методологические разработки, системы поддержки принятия решений);
- прикладные работы: эмпирический анализ экономических процессов, социально-экономические измерения и их обработка, решение практических задач в различных сферах экономики.

В области экономической теории

В первые 20 лет деятельности ЦЭМИ стержневой темой была разработка теории оптимального функционирования экономики. Итоги многолетних исследований института в данной области были представлены в фундаментальном десятитомном издании «Вопросы оптимального

планирования и управления социалистической экономикой» (М.: Наука, 1982–1985). По своей природе эта теория имела нормативный характер, и усилия ЦЭМИ были направлены на внедрение ее результатов в реальную хозяйственную и плановую практику. В этом направлении в 1970–1980-х годах были достигнуты определенные успехи:

– разработаны и успешно применялись модели оптимального развития и размещения производства;

– разработаны, отражены в официальном нормативном документе и широко использовались в разных отраслях экономики методы оценки эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. При этом впервые в такого рода документах отражено наличие у предприятий собственных (хозрасчетных) интересов, не совпадающих с общественными (народнохозяйственными);

– разработаны методы стоимостной оценки природных ресурсов. Они нашли отражение также во «Временной типовой методике определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды», применявшейся в хозяйственных расчетах;

– разработан и отражен в официальном нормативном документе метод установления цен на новую промышленную продукцию, обеспечивающий их сближение с ценами оптимального плана.

После того как централизованная плановая экономика перестала существовать, результаты теоретических разработок не потеряли научной ценности. Многие из них вошли как органичная часть в современную теорию благосостояния, которая оперирует понятиями целевых и критериальных установок индивидуумов, коллективов, стран.

В настоящее время оптимизационный подход к управлению экономическими процессами и результаты соответствующих работ ЦЭМИ широко используются при разработке и экспертизе инвестиционных и инновационных проектов, а также при оценке стоимости имущества.

Кроме того, в ЦЭМИ выполнялись исследования другой направленности.

1. *Теория общего экономического равновесия* разрабатывалась в ЦЭМИ в течение всего времени его функционирования. Она не имела прямого отношения к экономике централизованного планирования, но позволяла исследовать экономические процессы, участники которых действуют в соответствии с собственными и несопадающими интересами. В этом направлении сотрудники ЦЭМИ получили ряд заметных результатов.

2. *Кибернетические проблемы экономической теории*. Исследования в этой области, и в период централизованной плановой экономики, и в период перехода к рынку связывались с развитием теории оптимального функционирования экономики.

3. *Теория экономики переходного периода*. ЦЭМИ внес существенный вклад в ее становление и развитие, особенно применительно к российской экономике, с учетом ее отличий от других стран, также находящихся в переходном периоде.

4. *Социальные аспекты экономической теории*. Проблемы измерения и моделирования качества и образа жизни населения, дифференциации бедности, потребительского поведения и социально-экономических установок различных слоев населения и связанные с этой тематикой задачи построения и анализа различных целевых функций, функций полезности и потребительских предпочтений с самого начала функционирования института также были и остаются до настоящего времени объектом пристального внимания ученых ЦЭМИ.

5. *Теория реформ*. Выполненный в ЦЭМИ анализ опыта проведения разного рода реформ в России и в других странах позволил заложить основы нового направления экономической теории — общей теории реформ. При этом удалось выявить некоторые общие закономерности процессов реформирования, провести систематическое исследование ошибок реформирования (в том числе с использованием разработанной в ЦЭМИ теории институциональных ловушек), сформулировать общие требования к стратегии реформирования.

В области инструментальных средств

ЦЭМИ РАН является ведущим отечественным исследовательским центром в области разработки различных *оптимизационных методов и алгоритмов*, а также в области *эконометрики и прикладной статистики*. Стержневая для ЦЭМИ первых лет своего существования проблема разработки

системы оптимального функционирования экономики (СОФЭ) стимулировала бурное развитие методов линейного, нелинейного, целочисленного программирования. В значительной мере благодаря усилиям ученых ЦЭМИ в начале 1990-х годов была восстановлена в своих законных правах в нашей стране *эконометрика* — одна из трех базовых (наряду с микро- и макроэкономикой) дисциплин экономического образования. Ученые ЦЭМИ стали авторами базовых положений концепции современного эконометрического образования в российской высшей школе, первых учебных программ и первых курсов лекций по эконометрике, первых отечественных учебников и задачников по этой дисциплине, первых исследовательских работ в области теории эконометрики и ее приложений.

Ряд этапных работ выполнен в институте в области *методологии* экономических исследований и экономического моделирования, а также в области развития и использования *современных информационных технологий* в экономических исследованиях.

1. Оптимизационные методы. Получили существенное развитие: теория дискретной выпуклости, теория информационной сложности выпуклой оптимизации, теория методов внутренней точки, позволившая распространить полиномиальные алгоритмы линейного программирования на ряд классов задач выпуклой оптимизации. Создана теория модифицированных функций Лагранжа, на основе которой разработаны методы выпуклой оптимизации, поиска седловых точек и выпуклой декомпозиции. Предложен новый подход к решению задач оптимальной остановки случайных процессов. Этот подход применен к задачам выбора рациональных мер государственной поддержки инвестиционных проектов, стимулирующих привлечение инвестиций в регионы, а также к задачам оценки стоимости недвижимого и движимого имущества.

2. Эконометрика и прикладная статистика. В ЦЭМИ разрабатывались новые и развивались существующие методы прикладной статистики и многомерного статистического анализа, на высоком уровне выполнялись *эмпирические* микро- и макроэкономические исследования.

3. Методология экономических исследований и моделирования. Большое внимание в ЦЭМИ уделяется исследованию *мезоэкономических* систем, занимающих в экономическом пространстве место между макро- и микроэкономическими уровнями. Разработана концепция формирования интегрированных корпоративных структур, показаны источники возникновения синергических эффектов интеграции. Эти разработки и соответствующие математические модели были использованы в практике создания российских бизнес-групп, при формировании их нормативной базы. В ЦЭМИ создан методологический аппарат и методические подходы к исследованию сетевых форм взаимодействия хозяйствующих субъектов, цепочек создания стоимости и экосистем, сформирован значительный задел в исследовании трансформации институтов в условиях сетевой экономики.

Разработана методология формирования *планового межотраслевого баланса* для страны в целом и ее отдельных регионов, методология построения системы моделей планирования, базирующаяся на динамическом межотраслевом балансе, развита методология создания вычислимых моделей экономики. Позже, в рамках этой методологии, разработана *компьютерная модель российской экономики (RUSEC)*, откалиброванная для решения различных прикладных задач. Создана *методика оптимизации текущего (среднесрочного) отраслевого планирования*.

Разработана динамическая большемерная вычислимая модель общего развития экономики, модель экономики знаний, позволяющая исследовать взаимодействие сектора науки и образования, инновационного сектора с остальной экономической системой.

Создана гибридная агент-ориентированная модель, позволяющая моделировать ограниченную рациональность в поведении людей и вместе с тем оценивать последствия финансово-экономических управленческих решений на уровне государства.

Исследована проблема формирования ипотеки в догоняющих экономиках на основе теории трансплантации институтов.

4. Современные информационные технологии в экономических исследованиях. Особенность подхода, развиваемого в ЦЭМИ в данной области исследований, состоит в комплексной, системной увязке собственно баз данных, компьютерных моделей экономики, для которых эти базы данных необходимы, самих компьютеров и их сетей, связей с Интернетом и другими дополнительными источниками данных. В рамках этого подхода в ЦЭМИ разработана концепция программно-технической платформы «Открытая наука» как виртуальной среды для научно-исследовательской деятельности и профессионального взаимодействия ученых на основе технологий

и сервисов системы «Соционет». Предлагаемый организационно-технический механизм «Открытой науки» является инновационным.

5. Разработаны теория построения и комплекс агент-ориентированных моделей для суперкомпьютеров; осуществлен запуск крупномасштабной агент-ориентированной модели социально-экономической системы России на суперкомпьютерах «Ломоносов» (МГУ им. М. В. Ломоносова) и «Тяньхэ-2» (Гуанчжоу, Китай). Результаты этой работы были отмечены в качестве важнейших результатов деятельности РАН.

6. Разработана методология построения иерархической системы CGE-моделей, рассматривающих отраслевые, региональные и институциональные аспекты экономики России, на основе которой были построены модели этого класса.

7. Разработан теоретико-методологический подход к моделированию социальных процессов с использованием агент-ориентированных моделей, построенных на базе геоинформационных систем. На основе методологии разработан ряд моделей этого класса, рассматривающих социально-экономическую систему России в региональном разрезе.

В области прикладных работ

На протяжении всей истории своего существования ЦЭМИ РАН проводит работы, связанные с мониторингом социально-экономических процессов и обработкой соответствующих измерений, анализом и прогнозами социально-экономического развития России в целом и в разрезе ее субъектов, отдельных отраслей, межрегиональных и межотраслевых взаимодействий. Эти работы опираются на созданные в институте методологии и модели и выполняются (их большая часть) по заказам министерств, ведомств и других вышестоящих органов.

1. Совместно с Федеральной службой охраны Российской Федерации разработана система мониторинга национальной силы и национальной безопасности для всех стран мира, позволяющая:

- оценивать и прогнозировать интегральные индексы национальной силы и национальной безопасности по странам мира и ранжировать страны на их основе;
- выявлять наиболее проблемные сферы России и других стран, создающие угрозу национальной безопасности;
- определять диапазоны допустимых значений для различных показателей, нарушение границ которых влечет угрозы как для отдельных сфер, так и в целом — для социо-эколого-экономической системы.

2. Совместно со специалистами Национального суперкомпьютерного центра КНР, Университета Гуанчжоу и Шанхайского университета разработана демографическая агент-ориентированная модель для всего мира (193 стран — членов ООН), позволяющая получать долгосрочные прогнозы численности населения, а также рассчитывать половозрастную структуру всех рассматриваемых государств. В этом смысле построенная модель является цифровым двойником планеты и представляет собой искусственное общество.

3. Разработан цифровой двойник социально-экономической системы России — агент-ориентированная модель, включающая 146 млн агентов. С помощью этого инструмента были получены прогноз численности населения России и оценка влияния на этот показатель некоторых мероприятий, направленных на улучшение демографической ситуации. Данная работа отмечена в качестве важнейшего результата работы Российской академии наук.

4. Построены матрицы финансовых потоков (social accounting matrix) для 12 экономических районов России в детализированном разрезе видов экономической деятельности. Эти матрицы могут быть практически использованы как в качестве самостоятельного инструмента анализа, так и в составе более сложных экономико-математических моделей (например, в составе вычислимых моделей общего равновесия).

5. Участие в разработке «Комплексной программы научно-технического прогресса» (КП НТП). Эта серьезнейшая работа, проводившаяся в 1976–1990 гг. в соответствии с постановлением ЦК КПСС и Совета министров СССР, была в существенной мере инициирована предложениями института. Ученые ЦЭМИ возглавили социально-экономическое направление Комплексной программы, в рамках которого была поставлена задача ответить на два главных вопроса: каковы предпосылки и условия ускорения НТП в стране и как отразится НТП на эффективности, росте производства, на изменении его структуры, а также на повышении благосостояния населения.

6. Макромоделирование российской экономики. Развита в институте методология создания вычислимых моделей экономики и разработанная на базе этой методологии компьютерная модель российской экономики использованы для решения ряда прикладных задач:

а) расчет сценариев развития российской экономики на ближайшую перспективу в ежемесячном разрезе в зависимости от изменения тех или иных внешних факторов;

б) расчет влияния политики налогообложения на развитие федеральных округов России;

в) расчеты влияния политики тарифов на газ на развитие секторов российской экономики.

Развита в институте методология построения эконометрических макромоделей использована для построения квартальной макромодели российской экономики, предназначенной для краткосрочного (на 1–2 квартала вперед) прогноза ключевых макроэкономических индикаторов и для сценарного анализа экономики России.

Разработана имитационная межотраслевая модель российской экономики, позволяющая давать рекомендации по государственному регулированию экономики. На ее основе выполнены исследования по минимизации инфляции, спада производства и безработицы, по оптимизации налоговой системы, включая рентное налогообложение, по народнохозяйственной оценке валюты и инвестиционных проектов, построению и анализу механизма стабильного экономического роста.

Разработана методика, включающая систему моделей, которая позволяет получать как комплексную оценку сценариев социальной политики, так и оценку тех или иных мероприятий в сфере социального реформирования.

Разработана концепция создания и функционирования «Ситуационного центра Министерства экономического развития и торговли», предназначенного для обеспечения интеллектуализированной модельной и информационно-технологической поддержки принятия управленческих решений в министерстве. Разработанная в институте концепция принята министерством для практического применения.

7. Решение отраслевых и региональных проблем. Создан программно-методический комплекс оптимизации использования и оценки октаэдрических алмазов — сырья высочайшей ценности.

Разработаны математические методы и программные комплексы для формирования оптимальных полей и ионизирующего излучения для лучевой терапии злокачественных опухолей.

Выполнены эконометрические измерения ценовой эластичности спроса на природный газ нескольких российских отраслей-потребителей газа: электроэнергетикой, цементной промышленностью, промышленностью по производству азотных удобрений, совокупностью обрабатывающих отраслей промышленности. Получены количественные оценки возможных реакций экономики на рост цен на природный газ.

Разработана методология и методика определения цен нефтяного попутного газа, основанные на имитации рыночных отношений между продавцами и покупателями нефтяного попутного газа. Выполненные расчеты легли в основу новой шкалы цен на нефтяной газ, введенной в действие Министерством экономического развития и торговли Российской Федерации.

Выполнен ряд работ, посвященных анализу, моделированию и прогнозу социально-экономического развития регионов России.

Разработана концепция реформирования российской электроэнергетики и системы ее регулирования, в том числе естественно монопольных сегментов. Основные элементы этой концепции использованы в докладе «О Единой государственной концепции реформирования электроэнергетики», подготовленном в 2001 г. Рабочей группой Президиума Государственного совета по вопросам реформирования электроэнергетики.

Разработана теория оценки эффективности инвестиционных проектов. При этом учитываются такие факторы, как неоднородная и неравномерная инфляция, неопределенность и риски, различие интересов отдельных участников. Результаты этих исследований отражены в официально утвержденных «Методических рекомендациях по оценке эффективности инвестиционных проектов», которые в настоящее время широко используются при разработке и государственной экспертизе инвестиционных проектов. В последнее время предложены новые методы учета экологических факторов в расчетах эффективности инвестиционных проектов. Разработан модельный

инструментарий для формирования федеральной и региональных инвестиционных программ и проектов, обеспечивающих воспроизводство водных ресурсов.

Исследование особенностей разработки месторождений углеводородов на базе соглашений о разделе продукции позволило выявить ситуации, когда условия этих соглашений стимулируют принятие неэффективных для страны технических и технологических решений, и предложить более совершенные организационно-экономические механизмы реализации соответствующих проектов.

Выполнен ряд работ, направленных на развитие теории оценки стоимости имущества. Предложены новые методы оценки движимого и недвижимого имущества, разработаны предложения по организации системы кадастровой оценки месторождений полезных ископаемых.

8. Работы в области управления предприятиями. Создана методика комплексного стратегического планирования и управления на предприятиях в условиях становления и развития рыночных отношений с учетом социально-экономической специфики России.

Разработана концепция и программа реформирования промышленных предприятий, направленного на их адаптацию к новым условиям функционирования, создание предпосылок для устойчивого развития в рыночной среде, повышение конкурентоспособности и эффективности предприятий. Материалы были использованы Минэкономики и Минпромнауки РФ при разработке комплекса методических разработок реструктуризации предприятий.

Результаты научных исследований сотрудников ЦЭМИ регулярно публикуются в ведущих экономических журналах России, общественно-политической периодике. Общая библиография составляет десятки тысяч наименований. В период 1982–1985 гг. в издательстве «Наука» вышла 10-томная серия коллективных монографий ученых ЦЭМИ, которая подвела итог работы коллектива за 20-летие, связанной с созданием системы оптимального функционирования экономики (СОФЭ). Впоследствии отдельные этапы научных исследований института и его подразделений неоднократно завершались выходом серьезных публикаций. Работы ученых института переведены на иностранные языки и опубликованы такими известными зарубежными издательствами, как Springer, North Holland, John Wiley & Sons, McGraw-Hill и др.¹

Институт проводит большую работу по подготовке квалифицированных кадров; имеет обширные научные связи с вузами. Многие сотрудники ЦЭМИ преподавали и преподают в МГУ, МФТИ, ГУУ, МЭСИ и других вузах. ЦЭМИ РАН организовал семь базовых кафедр в различных московских вузах. При его участии организована Российская экономическая школа (1992 г.). С 1998 г. на базе ЦЭМИ открыт экономический факультет Государственного академического университета гуманитарных наук. При содействии ЦЭМИ открыто 10 кафедр в различных вузах. В ЦЭМИ функционирует аспирантура и докторантура, работает три диссертационных совета. За последние 10 лет в трех диссертационных советах института защищено 42 кандидатских и 9 докторских диссертаций.

Институт издает шесть журналов: «Экономика и математические методы» (с 1965 г.), «Экономическая наука современной России» (с 1998 г.), «Концепция» (с 1995 г.), «Прикладная эконометрика» (с 2006 г.), «Искусственные общества» (с 2007 г.), «Цифровая экономика» (с 2018 г.).

Ученые ЦЭМИ РАН широко известны в научном мире, многолетние рабочие контакты связывают их со многими научными и образовательными учреждениями Азии, Европы и Америки. Ученые института принимали участие в разработке международных проектов «Plan Cons», координируемого ЮНЕСКО в 1970-е годы, и проекта «Link», разрабатываемого в 1990-х годах. Ряд сотрудников ЦЭМИ были избраны членами Эконометрического общества, зарубежных академий.

Научные достижения

Научные достижения института и его сотрудников в разные годы были отмечены:

- дипломами и медалями ВДНХ СССР (1965–1973 г.);
- государственными наградами:
 - юбилейным Почетным Знаком (1972 г.);

¹ Перечень наиболее важных публикаций за ряд лет указан на сайте ЦЭМИ: http://www.cemi.rssi.ru/publication/books/?section=pub_link

- грамотой Министерства науки и технологий РФ (1999 г.);
 - благодарностью Правительства Российской Федерации (2007 г.);
 - почетной грамотой Правительства РФ «За большой вклад в подготовку и проведение года Российской Федерации в Китайской Народной Республике и года Китайской Народной Республики в Российской Федерации (2009 г.);
- отечественными государственными ведомственными и зарубежными премиями:
- Ленинской премией (1965 г.);
 - пять сотрудников ЦЭМИ РАН стали лауреатами Государственной премии СССР (1960 г.);
 - шестью премиями Ленинского комсомола (1967, 1976, 1979, 1989 и 1982 г.);
 - премией Совета министров СССР (1989 г.);
 - тремя орденами «За заслуги перед Отечеством» IV степени (1997 г.), III степени (2007 г.) и II степени (2022 г.), тремя медалями ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени (2007) и одной медалью I степени (2014 г.);
 - премией АН СССР им. Г.М. Кржижановского (1979 г.);
 - восемью премиями АН СССР им. В.С. Немчинова (1981, 1993, 2002, 2005, 2008, 2011, 2014, 2020 и 2023 г.);
 - премией РАН им. Н.Д. Кондратьева (1994 г.);
 - тремя премиями РАН им. Л.В. Канторовича (1995 и 2002 г.);
 - Демидовской премией (2008 г.);
 - почетным званием «Заслуженный деятель науки РФ» (1991, 1998, 1999, 1999, 2000, 2002, 2003 и 2004 г.);
 - Фалкерсоновской премией Международного общества математического программирования и Американского математического общества (1982 г.);
 - премией Национального статистического конгресса Франции (1986 г.);
 - премией Европейского эконометрического конгресса, Турция (1988 г.);
 - премией Дж. Данцига Международного общества математического программирования и Общества индустриальной и прикладной математики (1991, 2000 г.);
 - научной премией Джона фон Неймана за совокупный вклад в развитие теории и методов оптимизации (2009 г.);
 - корпорацией «Майкрософт» неоднократно присваивался статус MVP сотрудникам института как специалистам в области информационных технологий (1998–2014 г.);
 - премией Американского математического общества Стефана Бергмана за фундаментальный вклад в теорию функций на комплексных многообразиях, теорию интегральных представлений многих комплексных переменных и многомерных уравнений Коши–Римана (2011 г.).

Научные контакты ЦЭМИ РАН с учеными зарубежных стран в разные годы осуществлялись в форме личных контактов, взаимных приглашений, а также в рамках двусторонних соглашений с такими видными научными учреждениями мира, как Женевский университет (Швейцария), Технический университет г. Хемниц (Германия), университеты Париж-1 (Сорбонна) и Париж-6 (Франция), Нью-Йоркский университет (США), Университет Хитоцубаши (Япония), Университет Тилбурга (Голландия), университеты Германии, Канады, Китая, Норвегии, Финляндии и других стран. Ведущих ученых ЦЭМИ постоянно приглашали зарубежные университеты и программные комитеты престижных научных форумов для чтения лекций и выступлений с докладами.

**Central Economics and Mathematics Institute of Russian Academy
of Sciences — 60**

© 2023 A.I. Stavchikov

A.I. Stavchikov,*Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences (CEMI RAS), Moscow, Russia;
e-mail: stav@cemi.rssi.ru*

Received 27.06.2023

Abstract. The article summarizes the moments associated with design and implementation of creating and organizing the Central Economics and Mathematics Institute of the USSR Academy of Sciences (RAS), as one of the events on the path of the economics and mathematics development in economic science in the USSR and Russia. The main founders of this trend, as well as the Institute, and their followers, brought up within the walls of CEMI, are named. The role of the Presidium of the Academy of Sciences of the USSR in the creation of scientific team of the Institute and its research areas is noted. Briefly outlined the main trends of scientific research and their improvement in the process of functioning of the Institute, brief results of scientific research in the areas are noted. CEMI activities influenced on development of the economic and mathematical methods in the country; on education; on use of EMM and VT in science, economics and management. The status and foreign awards for the scientific achievements of the Institute and its employees in different years are given.

Keywords: system of optimal economic planning; science community; economic theory; tools; theory of general economic equilibrium, cybernetics; problems of economic theory; theory of economy in transition; social aspects of economic theory; theory of reforms.

JEL Classification: C60.

For reference: **Stavchikov A.I.** (2023). Central Economics and Mathematics Institute of Russian Academy of Sciences — 60. *Economics and Mathematical Methods*, 59, 3, 21–30. DOI: 10.31857/S042473880026989-6 (in Russian).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Analysis of marginalism. Part 2

© 2023 J. Wu, V.L. Makarov, A.R. Bakhtizin, Z. Wu

J. Wu,

Guangzhou Milestone Software Co., Ltd.; Researcher at the Institute of Shandong Development, Shandong University; Researcher at the Center for Economic and Social Integration and Prediction, the Chinese Academy of Social Sciences; Visiting Professor at the Guangdong Academy of Social Sciences; Consultant at the National Supercomputer Center of China, China; e-mail: jw@gzmss.com

V.L. Makarov,

Scientific director at the Central Institute of Economics and Mathematics, the Russian Academy of Sciences (CEMI RAS), President of the Russian Academy of Economics, Director of the National School of Administration of the Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; e-mail: makarov@cemi.rssi.ru

A.R. Bakhtizin,

Director at the Central Institute of Economics and Mathematics, the Russian Academy of Sciences (CEMI RAS), Correspondent Member of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; e-mail: albert.bakhtizin@gmail.com

Z. Wu,

Vice-Chairman at Guangzhou Milestone Software Co., Ltd., China; e-mail: wzl@gzmss.com

Received 13.01.2023

Abstract. In recent years, based on the traditional theory of value — the labor theory of value and the theory of surplus value, as well as the hypothesis of Jevons, Tesla and Foley, — Chinese and Russian scholars have further adopted the mathematical paradigm of theoretical mechanics for reference to establish a mathematical model system for economics, which is called the New theory of value. Compatible with the traditional theory of value, the new theory of value puts forward the idea that the value depends on the force of labor expended in the process of commodity production, and the value appreciation depends on the labor gravitational force generated by the improving dexterity of workmen. That is to say, during the process of production, constant capital and variable capital as kinetic energy and potential energy of value, convert into each other under the value conservation theorem, playing a dominate role in generating value and surplus value of products. In addition, the law of diminishing marginal utility is not an axiom, but a special economic law under unbalanced supply and demand. Obviously, these theoretical conclusions are of great significance, which not only make the traditional theory of value a self-consistent logical system, but also complete the New theory of value by absorbing the rational components from both the classical economics based on the labor theory of value and the theory of surplus value, and the neoclassical economics based on the law of diminishing marginal utility. In this paper, we will analyze this problem by investigating the origin of the law of diminishing marginal utility.

Keywords: new theory of value, force of labor, labor gravitational force; law of value equilibrium; law of diminishing marginal utility; self-consistency.

JEL Classification: C62, D46, D58.

For reference: **Wu J., Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Wu Z.** (2023). Analysis of marginalism. Part 2. *Economics and Mathematical Methods*, 59, 3, 31–41. DOI: 10.31857/S042473880026984-1

3. INFLUENCE OF MARGINALISM ERRORS

3.1. Leading mainstream economics into the wrong direction of subjective utility theory of value

The marginalism also completely denied the traditional theory of value, which led the mainstream neoclassical economics into the wrong direction of the subjective utility theory of value, and also misguided the entire human economic practice into the quagmire. Specifically, after the marginal revolution, neoclassical economics gradually established an economic theoretical system based on the utility theory of value that was first proposed by Wieser, the successor of the Austrian school founded by Menger. According to F. von Wieser (Wieser, 1889, Preface), the value of commodities “comes from the satisfactions of wants which commodities assure” and subjective psychological evaluation of the utility of commodities, and the utility

value is determined by marginal value. Clearly, from the basic axioms to theoretical conclusions, the utility theory of value is sharply polarized from the labor theory of value, so that the latter must be completely denied. However, this was the error of Wieser, the subjective utility theory of value, even the marginalism. In fact, the theoretical conclusions derived from the basic axioms formed on the subjective utility theory of value are inconsistent with the objective economic reality, leading to unreasonable economic consequences in the social economic practices.

However, according to Axiom 1 in the new theory of value, a commodity with value is required to have use value first and then to be a product of labor. In order to meet the natural need of the physical body, man has to consume external useful things, which realize the utility of external useful things, then man will transform the utility of useful things into the force of labor consumed in the production process through the physiological metabolism of his body, and then compensate the force of labor consumed in the production process by consuming the useful things one again, so as to maintain the force of labor and to satisfy the needs and utilities.

It can be seen that the ultimate measure of use value will not be human's subjective wants, but instead the rational demand. Here, men have direct and indirect needs. The former refers to the natural needs for the means of subsistence, where the natural needs come from human physiological body (Aristotle, 1999, p. 24–25), while the latter refers to the needs related to working process and political activities. All indirect needs are ultimately rooted in direct needs. Down to natural needs that must be expressed in the form of certain subjective wants, they are either rational demands or irrational delusions. However, subjective wants should be within the upper and lower bounds of rational demand in any case, otherwise there will be subsistence crisis. Also, various subjective wants, deviating from the rational demand, no matter in what different forms, will always fluctuate around the rational demand, with the weighted average value ultimately tending to the rational demand (Wu, 2012, vol. I, p. 142–143). Therefore, rational demand is the only measure of utility value.

It must be pointed out that, if subjective wants were used as the measure of value of commodities, it would allow the harmful products to endow with market value, so that these products like drugs, weapons, common products and so on would become legal commodities. In this case, wrong economic theory would induce harmful consumption habits and irrational demands and desires, such as drug abuse, alcohol abuse, sexual indulgence, excessive diet, excessive medical treatment and so on. In particular, guided by Keynesian economics that extra work also creates value, on the one hand, it encouraged production of surplus products, on the other hand, it implemented quantitative easing policies to stimulate consumption and create false demand, resulting in huge waste of human labor. Just like a magic broom in a fairy tale, that went out of order one day, it kept providing endless extra services, and ultimately brought a disaster to its owner. The subjective utility theory of value regards satisfactions of the illusory and irrational subjective wants as legal means of capital profit, including the huge profits gained by the military-industrial complex of a country in launching a foreign war at the expense of the lives of other countries; the excess profits obtained by biochemical companies at the cost of harming the health of consumers through the production of low-quality foods to reduce production costs; the excess profits earned by pharmaceutical companies at the cost of endangering the life safety of patients by producing viruses and drugs at the same time, and so on, which finally makes itself an economic theory that misguides more silly and disastrous mankind behaviors.

3.2. Hindering the study of the universal measure of value in economics

The subjective utility theory of value attached great emphasis to the utility on value, complementing the overlook of use value in the traditional labor theory of value, which indeed has contributed to a theoretical progress. However, it was absolutely correct by mistakenly rejecting the traditional labor theory of value. According to the subjective utility theory of value, the utility value depends on satisfactions of wants, which will vary in evaluation of the same commodity by different people, so that it is impossible to find a universal subjective measure of the utility value. Therefore, it was concluded and acknowledged by the utility theory of value that the utility value cannot be measured (Say, 1803, p. 26). Henceforth, the study of the universal measure of value in economics was seriously hindered.

It must be acknowledged that in the history of economic theory, the universal measure of value was always an outstanding issue. In the period of classical economics, A. Smith (Smith, 1776) tried to use labor as a universal measure of value. However, D. Ricardo (Ricardo, 1817, ch. 1, sec. 6) found that labor productivity is always changing. So, it is difficult to find the universal measure of value. In addition, K. Marx (Marx,

1894) pointed out that the concept of labor value defined by Smith was ambiguous¹ and could not unify the measure of value under the assumption that labor determines value and labor creates surplus value and profit. However, Marx's opinion on the solution to production price that spontaneous capital competition can average the profit rate and eliminate the difference between the surplus value rate and the average profit rate of industries with different organic compositions of capital was questioned, arising a well-known long-term debate on "value transformation" in the history of economic theory. Therefore, E. von Böhm-Bawerk (Böhm-Bawerk, 1896) believed that there was a contradiction between the first volume and the third volume of "Das Kapital", which was hard to convince. Then in the period of neoclassical economics, in order to complement the deficiencies of the traditional labor theory of value, L. Walras, W. Jevons, K. Menger and F. von Wieser proposed the utility theory of value based on the law of diminishing marginal utility. Although the existence and stability of the general equilibrium price can be proved, due to the individual demand preferences, individuals vary the measures for evaluating the utility of the same commodity. Then according to K.J. Arrow (Arrow, 1951), there is an "impossible theorem" of the utility value order relation converting from individual preference to social preference. On this ground, the relative universal measure of value for satisfactions of different individual demands can only be found in partial order (Debreu, 1959). Finally K.J. Arrow and G. Debreu (Arrow, Debreu, 1954) drew a conclusion that the utility value could not be measured by a universal measure of value, which in the following time was gradually acknowledged by neoclassical economics.

Is it true that the value of commodities cannot be measured? This is not the case. We believe that just as the forces in the physics can be accurately measured, so can the values of commodities. According to the new theory of value (Wu et al., 2020), the value of commodities consists of labor value and use value, which depends on the forces of labor consumed and compensated, formulated by the three basic quantities of value — quantity, quality and time — in the form of acceleration of economic motion during the production and consumption of wealth.

Here, the production and consumption of wealth are cyclical economic process. Then, a value complex variable function of ordinary differential equations was established, including labor value and use value with the three basic quantities of value — quantity, quality and time. That is to say, if investigating both quantity and quality of products in the ongoing production process, also considering the consumption and compensation of the force of labor, both labor value and use value, then the functional form of commodity value will be converted into the complex form of an ordinary differential equation of value, — that is, the value of wealth has both real and imaginary parts, where the real part is the labor value, and the imaginary part is the use value. Therefore, the value of commodities is expressed in the form of an independent function. Also based on the above discussion, the complex variable function of commodity value was strictly proved to be second-order differentiable under the conditions of the first-order differentiable holomorphic function and the second-order differentiable harmonic function. In this case, the complex variable function of commodity value will have global optimal solution (Wu J., Wu Z., 2021).

Comparing the subjective utility value function based on the law of diminishing marginal utility with the value complex variable function based on the new theory of value, we can easily find that the latter is more reasonable. Here, the theoretical progress is seen in two aspects: one is the value of commodities depending not only on the quantity, but also on the quality of products. The other is the force of labor, derived from the quantity and quality of products, able to convert into both labor value and use value. In this case, the new theory of value absorbs and integrates the rational components from both the labor theory of value of classical economics and the utility theory of value of neoclassical economics.

3.3. Misunderstanding Marx's theory of production price

Production price is an important component of Marx's theory of surplus value. According to Marx, production price is a transformation of commodity value in the process of capitalist social production. In the production process of a single product, the value of constant capital is converted into cost according to the original price, but variable capital — "living labor power" (Marx, 1867, vol. 1, ch. 10) — creates surplus value on the basis of the original price. In particular, in the process of simple reproduction, the circulation of capital not only brings about surplus value, but also maintains the conservation of value. Therefore, let c be constant capital, v be variable capital, m be surplus value, I be products of Department I, and II be the products of Department II. Then in the process of social reproduction, the conservation of value in simple

¹ According to A. Smith (Smith, 1776), the value of commodities depends on three factors with ambiguity: 1) the quantity of labor spent in the production (ch. 5); 2) the quantity of labor which enables the laborer to purchase or command (ch. 5); 3) wages, profit and rent (ch. 6).

reproduction will be expressed as: $I(c + v + m) = I(c) + II(c) \Rightarrow I(v + m) = II(c)$. Similarly, in the production of multi sectors (multi industries), surplus values and the rates of surplus value, profits and the rates of profit will vary in different sectors according to different composition of capital (Marx, 1894, vol. III, ch. 10). In fact, the economic laws in the total production of multiple sectors are the same as that in the production of a single product. Also, the theoretical logic of Volume I of “Das Kapital” is consistent with that of Volume III, demonstrated in details by F. Engels (Marx, 1996, vol. III, Supplement; first published in 1867). Later, over the past 100 years, Marxist scholars represented by L. von Bortkiewicz did a lot of work comprehensively and deeply on this problem and made positive conclusions².

Looking back into the history of economic theory, the theoretical difficulty of value transformation lies in the understanding of the economic law of conservation of value in the capitalist social production (Marx, 1894, vol. III, ch. 10, Supplement). Marx clearly pointed out that in the process of capital movement, the production price of commodities fluctuated around and tended to the labor value; the result of the whole capital operation is: the sum of surplus values = the sum of average profits; and the total production price of all commodities = the total value of all commodities. Therefore, this led to the conservation of value in the capitalist social production. That is to say, in the social production, on the one hand, capitals in different sectors yield surplus values; on the other hand, the social production does not increase the total value of commodities. In this way, it seems to be a logical contradiction of “square circle”: since the value of commodities depends on the average labor necessarily consumed in the production, as well as a value appreciation, namely surplus value, — why this value appreciation does not bring an increase to the total value in the simple reproduction. For this conclusion, some marginalists like A. Loria are difficult to understand, and exclaimed that it is a logical contradiction that labor determines value and creates surplus value (Marx, 1894, vol. III, Supplement), that is, Volume III of “Das Kapital” denies Volume I. This is obviously wrong.

Probably, the conservation of value in the process of value transformation is one of the most abstract and misleading economic problems in the history of economic theory. While in theoretical mechanics, the conservation of energy is a common sense, although which still had to overcome many difficulties was recognized and understood during the history of scientific development. For example, two objects with different weights falling from the same height will reach the ground at the same time, the Brachistochrone line is an arc, and etc., which is proved by scientific experiments. However the objective laws hidden behind them are all against human daily life experience, so that there was a long journey full of tortuousness and controversies to understanding these objective laws. To be specific, in the process of free falling, the potential energy of the particle is converted into kinetic energy, so that the particle reaches the ground with acceleration still under the law of conservation of energy.

So does Marx’s theory of production price reveal the economic law of conservation of value. That is to say, according to the axioms of surplus value, value and surplus value depend on the force of labor and the labor gravitational force respectively, then in a conservative system of value, there is conservation of energy of value, expressed as the value Lagrangian function (Wu et al., 2020, Axiom 4): *the first derivative of value kinetic energy + the first derivative of value potential energy = 0*. Therefore, although the simple reproduction yields surplus value, its total value always maintains constant. Here, it should admit Marx’s genius in independently deducing the conservation of value for production price from surplus value theory without reference to the Lagrange function. However, some economists such as Loria and Böhm-Bawerk (Böhm-Bawerk, 1896), without any patience to understand the connotation of Marx’s theory of production price, rushed to conclude that the Volume III of “Das Kapital” negates the Volume I, which was close to Marx’s system. Unfortunately, although the conclusions by Loria and Böhm-Bawerk were wrong, the traditional theory of value was forced to leave the center of the world economic stage for more than a century. It can be seen that in the history of economic theory, there were more twists and difficulties to understand the conservation of value than those in theoretical mechanics to understand the conservation of energy.

Here are four key points for better understanding the conservation of value in value transformation.

A. *The relationship between the force of labor and the labor gravitational force in the formation of commodity value.* It is noted that when Marx put forward the theory of surplus value in the first volume of “Das Kapital” (Marx, 1867, ch. 5–6). He pointed out that “surplus value” is the product of workers’ unpaid labor, i.e. the value created by “living labor” exceeds “the value of labor power”, which we call “Marx’s second law”. Here, it is controversial that “surplus value” is the product of workers’ unpaid labor — which is not a conclusion deduced from

² (Bortkiewicz, 1952, first published in 1906–1907; Bortkiewicz, 1949, first published in 1907; Sweezy, 1942, 1949; Winternitz, 1948; Meek, 1956a, 1956b, 1961; Seton, 1957; Morishima, 1973, 1974a, 1974b; Zhang, 2001, 2004; Bai, 2006; Ding, 2012) and other scholars analyzed this problem from different perspectives.

any certain axiom. But a large number of cases of capitalists exploiting workers as evidence for the theoretical proposition that labor creates surplus value. In this way, it fell into a logical contradiction of circular argument in theoretical deduction. Scientifically, any proof should clarify the logical relationship between theoretical propositions and cases. However, Marx did not clarify this in the Volume I of “Das Kapital”. In order to make up for this deficiency of Marx’s theory of surplus value, the new theory of value put forward Axiom 4, that there must be a labor gravitational force in the labor process (Wu et al., 2020), so as to logically prove the theoretical conclusion that the force of labor creates value and the labor gravitational force creates surplus value.

Accordingly, we can further draw two conclusions: one is the labor productivity of a certain commodity always increasing under the labor gravitational force — the acting force of improving skill and dexterity of workmen. The other is the value of commodities always being equivalent in any period of time under the law of conservation of value that the values of labor products in different periods of time will not change with the labor gravitational force, but change only the composition of value, i.e. the rate of surplus value — the ratio of labor cost to surplus value. In other words, in the simple reproduction, production prices of commodities are constant. Here, the average force of labor necessary consumed for the same commodity will not change with the improvement of labor productivity. Because the force of labor saved by the improvement of labor productivity is used to produce more surplus products, and the production price of the commodity consists of cost and surplus value³.

B. *The improving skill and dexterity of workmen.* Only understanding that the labor gravitational force does not change the value of commodities, can we comprehend the compatibility between Marx’s two axioms that value and surplus value depend on the force of labor and the labor gravitational force respectively. According to the law of conservation of value, the labor gravitational force creates surplus value due to the mankind intelligence and wisdom, which helps improving skill and dexterity of workman as the production of a single commodity repeats and continues. Therefore, labor can create surplus value. However, there is no value appreciation during this process since the labor gravitational force does not require more labor cost of a workman⁴.

There is inverse ratio between the spent force of labor and the improvement of labor productivity. Here, the rate of surplus value, or the average rate of profit of this commodity (Wu et al., 2020, Theorem) changes. In other words, in the scenario of the same division of labor for the production of the same commodity, although the measure of commodity value is the average of forces of labor necessary consumed by all workmen, which does not prevent someone with higher intelligence and wisdom than the average from getting more remuneration by producing more products within certain labor time. In this case, with the same organic composition of capital, the forces of labor are located in the same inertia system of capital quality. Although there are both complex and simple labors in the consumed average labor necessary, one unit force of labor consumed in the complex labor process can be converted into times of that in the simple labor process⁵. Despite this, it does not mean that complex laborers pay the same force of labor to generate more labor value. To obtain corresponding labor capacities to complete their work, complex laborers pay more price — training and learning costs — than simple laborers, for complex labor requires higher proficiency and qualification.

C. *The universal measure of value.* According to the law of conservation of value, under the ever-changing labor productivity, there is a universal measure of value of commodities. To be specific, from the axiom that the force of labor determines the value, it can further conclude that the size of the module of vector of the force of labor is the measure of labor value and use value of commodities (Wu J., Wu Z., 2021). Then, we can construct a Riemannian metric manifold of commodity value in the complex domain. In this case, the Riemann metric of the complex domain is the universal measure of value⁶. In the complex Riemannian metric space:

³ See Theorem 1 in new theory of value (Wu et al., 2020) for mathematical argumentation and analysis. Actually, it is not easy to understand the logic relationship implied in the above conclusions. In this regard, Ricardo (Ricardo, 1817), drew a contradictory conclusion that wealth increases but value decreases. This is essentially “an apple falling from the tree” in economics. Everyone knows that when the apple is ripe, it will fall from the tree. However, in the thousands of years of civilization before I. Newton, no one explore that the apple falls due to a profound law of gravity. Here, for value transformation, the real difficulty lies in the fact, that the labor gravitational force improves labor productivity and creates surplus value, without spending more labor costs, — just like the gravity attracting the apple falling down with acceleration but without any other force.

⁴ The basic nature of labor gravitational force is that it does not come from the force of labor. Just like the conservation of energy during the free falling movement, with the labor gravitational force, the labor productivity improves in the labor process, yet with no more force of labor.

⁵ It should be noted that in industries with different organic compositions of capital, the mutual conversion between complex and simple labors will never be so simple, which needs to be in line with the below principle of equivalence of value.

⁶ The core of post-Keynesianism is Sraffa’s theory of value. According to P. Sraffa (Sraffa, 1960), the traditional labor theory of value failed to solve the problem of universal measure of value under the ever-changing labor productivity, then even worse, neoclassical

- if the quality or quantity of commodities is a constant, and the Riemannian curvature is zero, the measure of commodity value is an Euclidean metric, under the constant labor productivity. Here, the commodity value is a convex function in the Euclidean metric space and a normed linear function in the normed linear space (Wu J., Wu Z., 2021);
- if the quality or quantity of commodities is a constant, and the labor productivity changes under a second order homogeneous condition, the measure of commodity value is a Riemann metric of the Riemann metric space in the wealth value differential fiber bundle of the real domain. Here, the commodity value function is Lie groups in various forms (Wu, 2012, vol. II, p. 38–70);
- if the quality or quantity of commodities is a variable, and the labor productivity changes under a second order homogeneous condition, the measure of commodity value is a Riemannian metric of the complex Riemannian metric space in the wealth value differential fiber bundle of the complex domain. Here, the commodity value is a complex variable function in the complex domain, consisting of the quantity, quality, labor value and use value of commodities (Wu J., Wu Z., 2021).

The above research results helped to provide a preliminary solution to the problem of universal measure of value with ever-changing labor productivity pointed out by Ricardo in the early 18th century⁷.

D. *The equivalence of value.* Although there are different organic compositions of capitals in different industries, the effects of work done by the forces of labor in the inertia systems of capital of different qualities are equivalent. Here, the equivalence principle of value always plays a dominant role. Specifically, for any theory developing to a certain height, it needs to study the equivalence of the theory. For example, in physics, it needs to study Galileo transformation, Lorentz transformation, Hamilton principle, universal field theory and so on. In the history of economic theory, the equivalence of value actually was studied, for example, by Ricardo on the exchange between the labor value and the gold and silver coins in Bullionist Controversy; and by Marx — on how to realize the average rate of profit among industries with different organic compositions of capitals under the premise of equivalent forces of labor in the social production. In fact, it is assumed that the amounts of labor are equivalent in all economic fields.

We know that, the absolute space-time concept is the basis of the entire axiomatic system of Newtonian mechanics. That is to say, the basic laws in Newtonian mechanics are established relative to the inertial frame of reference.

In this inertial frame specified by Newton's absolute space-time concept, time and space are uniform and isotropic, and the Galileo relativity principle holds, the kinetic equation is required to maintain the form under Galileo transformation

$$\begin{cases} r = r + Vt; \\ t = t, \end{cases}$$

which indicates the change from the inertial frame K to the inertial frame K' with a motion of constant velocity V relative to K , where V is constant velocity; r is the initial velocity; t is the initial time.

As we suppose, the basic axiomatic system of the new theory of value is comparable to that of Newtonian mechanics. Therefore, for the new theory of value, there is also a phenomenon in economics that satisfies the kinetic equation maintaining the form under Galileo transformation. Specifically, in industries with

economics took a wrong concept of subjective “marginal utility” to explain value. In response, Sraffa designed a “standard commodity” to serve as the measure of value. Since the rate of profit depends on the inverse ratio between the quantity of surplus products and wages, as long as the quantity and wages of the standard commodity are known, the cost, profit, and production price of the commodity can be attained, where the quantity depends on the production technology, and not on the supply and demand. Wages also depend on the results of negotiations between capitalists and trade unions. Therefore, the value of commodities is ultimately determined by labor productivity. The post-Keynesian school believes that Sraffa's principle of “reduction” not only adhere to Ricardo's labor theory of value, but also solves Marx's transformation from value to production price. Obviously, Sraffa's opinion is similar to the conclusion by the new theory of value according to which “acceleration determines the value of commodities”. In other words, Sraffa's research results are close to scientific conclusions. However, Sraffa's theory of value did not give the mathematical expression of labor productivity that determines the value of commodities, and the basic axiomatic system that deduces this mathematical expression. This is the fundamental difference between post-Keynesianism and the New theory of value.

⁷ With in-depth theoretical study, the new theory of value will further complete its mathematical model with the measure of wealth value on Kähler manifold based on complex domain in more general modern differential geometry. In recent year, there were major breakthroughs in the field of differential geometry of Kähler manifolds (Chen, Wang, 2020) that successfully proved the Hamilton–Tian Conjecture and the Zero-Order Estimation Conjecture, offering solutions to the constant scalar curvature metric and Calabi extremal metric variable with time. Obviously, the economic research in the universal measure of value will be greatly improved by introducing the mathematical achievements of modern differential geometry.

different organic compositions of capitals or countries with different levels of development, there are equivalent commodity values obtained by consuming equivalent forces of labor. Just as in the inertial systems with different velocities — on a table at a fixed site or on a table of a running train — the same object will move along the same distance under equivalent forces. Analogous to Newtonian mechanics, Marx's axiom that labor creates value, as well as the axioms of the new theory of value that the force of labor determines value and the labor gravitational force creates surplus value, are actually “apples falling from trees” in economics. Hence, there is also a “law of universal gravitation of value” in economics, that is, a force generated by improving skill and dexterity of workmen from mankind intelligence and wisdom, so that men will always obtain a “value inertia” in the process of labor production, leading to equivalent wealth created by equivalent forces of labor in different organic compositions — the inertia quality — of capitals in different industries, that is, equivalent forces of labor create equivalent commodity values and surplus-values. Obviously, the same logic applies to countries with different levels of development.

Here, it should be noted that the degrees of complexity in force of labor are different in industries with different organic compositions of capitals and countries with different levels of development, where accordingly the forces of labor consumed in unit time will be different. Here, under the law of average rate of profit, the quality potential energies of forces of labor in industries with higher organic compositions of capitals are higher than those in industries with lower organic compositions of capitals, and ultimately bring about an average rate of profit equivalent in all industries⁸. To be specific, assuming that the total amount of advanced capital in each industry is equivalent, given the amount of constant capital and the quality potential energy coefficient of each industry, there must be a set of linear equations, which can attain the coefficient of average degree of complexity in force of labor in each industry. Under the constraints specified by Marx that the sum of surplus values and the sum of average profits are equivalent so that the sum of production prices and the sum of values are also equivalent. Then there will be an average profit rate in the industries with different organic compositions of capitals (Wu et al., 2020, Case 2). In other words, the inertia quality of variable capital composed of complex labor is greater than that composed of simple labor. Therefore, although in the same labor time, the labor cost of complex labor during the production in industries with different organic compositions of capitals is equivalent, to that of simple labor, yet the surplus values they create are different. Obviously, the conservation of value also plays a dominant role in Marx's theory of production price, and proves the compatibility between the new theory of value and Marx's theory of surplus value.

We must admit that Marx's argument on production price (Marx, 1894, Vol. III, Supplement) is not perfect, where Marx ignored the equivalence of value and the quality inertia of capital, and attempted to explain production price through spontaneous adjustment mechanism of capitalist competition. This argument was questioned a lot, yet Marx's theory of production price is still essentially correct. In fact, if there was the equivalence principle of value in Marx's “Das Kapital”, then it would be never difficult for people to understand value transformation according to Marx's theory of production price as we discussed above.

To sum up, the new theory of value and the traditional labor and theory of surplus value — are consistent as one scientific theoretical system. If the criticism of “value transformation” by marginalism was to correct some partial errors in Marx's theory of production price, then this criticism would be of certain significance. However, regrettably, this criticism was an attempt to completely deny Marx's theory of surplus value, which was unacceptable. Specifically according to marginalism, the study of economics starts from the law of diminishing marginal utility, which applies to all historical stages of human society, and the capitalist mode of production is the eternal and ultimate rational social form of mankind. Therefore, under the spontaneous capitalist competition, the natural law of the jungle, including the wealth distribution system in which all surplus values belong to the bourgeoisie, also applies to all stages of human history. Such view of marginalism is obviously wrong.

In human history, there were various distribution systems, including the “natural distribution system” of the primitive commune; the slave distribution system of surplus products belonging to the slave owners; the feudal distribution system of rents belonging to the landlords; the capitalist distribution system of surplus values belonging to the capitalists; the socialist distribution system of “from each according to his ability, to each according to his work”, and the communist distribution system of “from each according to his ability, to each according to his needs”. According to Marx's historical materialism, at different historical stages,

⁸ Complex and simple labors are labor costs paid by laborers with different division of labor in the production of the same product. Although the force of labor cost by complex labor in unit labor time can be converted into several times of that by simple labor in unit labor time, complex laborers pay more training and learning costs for higher proficiency and qualification, then the variable capital formed by complex labor has higher quality inertia, with capacity to create more labor value. Here, the basic axiom that labor determines value still holds.

there are distribution systems of wealth that adapt to the level of productivity at that time. Therefore, the capitalist distribution system of wealth is just one that adapts to the level of modern productivity, which is a relatively rational existence. Here, the error of neoclassical economics is based on marginalism, it regards the rational existence in the historical stage of capitalism as eternal rationality, leading to two fatal drawbacks in the 21st century:

- the irreconcilable contradiction between the pursuit of true equality and liberty by the vast majority of countries and nations in the world with the rapid development of the global economy and the pursuit of hegemonism and unilateralism by neoclassical economics for maximizing the interests of the bourgeoisie, especially the monopoly bourgeoisie;
- the ideology composed of modern capitalist civilization and bourgeois values that hesitates or even rejects to adapt to a higher level of communist mode of production improved by a coming qualitative leap — artificial intelligence technology taking place of the most of human labor — of modern productivity, which was proved by historical facts to be the blocks in the progress of modern society and even threats to the survival of mankind⁹.

4. SIGNIFICANCE OF ANALYSIS OF MARGINALISM

The analysis on marginalism will be a revolution of negation of negation in the history of economic theory. Since the marginal revolution denied the traditional theory of value, economic science was gone astray. In order to return economics towards the highway of science, it is of great historical significance to reanalyze marginalism with the new theory of value.

4.1. Helps to distinguish right from wrong and realize the truth

Through the above analysis, it is clear that the traditional theory of value is a scientific system of economic theory that can accommodate marginalism. In particular, in recent years, through great efforts the traditional theory of value made significant progress in mathematization and computerization, that is, the theoretical paradigm of mechanics to become a mature science. However, it still faces a major challenge: how to eliminate the opposition and divergence from neoclassical economics and bring itself back to the mainstream, which is an important work for the development of modern economics.

We believe that reanalyzing marginalism, distinguishing right from wrong and learning from each other is a shortcut to make the traditional theory of value return to the center of the economic historical stage. To be specific, neoclassical economics and the new theory of value share some common conclusions in some aspects of the mainstream general equilibrium theory, including convexity of value function (Wu J., Wu Z., 2021, Theorem 3.1), fixed point of equilibrium price (Wu J., Wu Z., 2021, Theorem 3.2), etc. In this case, the traditional theory of value should critically inherit the rational components of the general equilibrium theory, especially the various research achievements in mathematical category of neoclassical economics, which certainly will achieve twice the result with half the effort in mathematization and computerization for the traditional theory of value.

In the same way, the traditional theory of value should also critically absorb the rational components of various minority branches of neoclassical economics, for example:

- the market adjustment mechanism that deviates the market price from the labor value compatible with the rational components of disequilibrium theory of Keynesian economics;
- the social wealth redistribution theory compatible with the rational components of welfare economics;
- the theory of the state compatible with the rational components of institutional economics;
- the monetary theory compatible with the rational components of monetarist economics;

⁹ Unfortunately, the marginal revolution finally pushed the traditional theory value — Smith's labor theory of value and Marx's theory of surplus value — out of the center of the world economic stage for more than a century. This has not only seriously affected the normal development of scientific economic theory, but also led to overcapacity, the gap between rich and poor, vicious competition and periodic economic crisis, which were lingering nightmares of human society. In fact, according to the inference conclusion in this paper, scientific economic theory can fundamentally eliminate these long-term social parasitic warts that threaten human survival and development. At present, against the background of the confrontation between China and the United States and the Russia—Ukraine conflict, facing the threat of the Third World War, mankind moves on the verge of survival. Saving mankind requires not only optimized economic development and strong military support, but also the truth. In particular, what mankind lacks now is not money and weapons, but truth.

- the mathematical model compatible with the rational mathematical components of neoclassical economics, including the research method of differential topology applied by Debreu;
- the computer model compatible with the rational components of computable general equilibrium model, econometrics model, system dynamics model, and the agent-based computational economic model, and other neoclassical economic models.

So, to be a mature scientific theoretical system, the traditional theory of value with the paradigm of mechanics should include all branches of neoclassical economics, absorb its essence and discard its dross. Only in this way can the traditional theory of value rapidly develop and give full play to its due role.

4.2. Help to transform the traditional theory of value into science, technology and productivity

According to Qian's system theory (Qian et al., 1990), any transformation from scientific theory into technology and products should go through system engineering, which is composed of conceptual model, mathematical model and computer model. So does the traditional theory of value with the paradigm of mechanics:

- the conceptual model (Wu, 2012) refers to the use of qualitative analysis to explain the research object. Therefore, as a theoretical system dominated by qualitative analysis, the traditional theory of value comes from Smith's "*An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*", Ricardo's "*On the Principles of Political Economy and Taxation*" and Marx's "*Das Kapital*";
- the mathematical model (Wu, 1999a, 1999b; Wu, Qin, 2008; Wu et al., 2020) refers to the paradigm of mechanics;
- the computer model (Wang et al., 2022) established by agent-based modeling follows the mathematical model with the paradigm of mechanics.

In recent years, China has made some progress in the research and development of computer models based on the traditional theory of value, and has begun to apply them in scientific research and economic practice¹⁰.

In economics, the basic function of computer models is to combine theory with practice through computational experiments. Specifically, the economy is a social system with participation of mankind. Without an economic laboratory, it is vulnerable to irrational factors, and of high cost of trial and error through actual social economic practices to verify whether various economic theories and plans are correct and feasible. While with an economic laboratory, economic theories and plans will not be implemented until the verification through computer simulation experiments, so as to improve the feasibility, success probability, even benefits of economic decisions. In fact, one of the main reasons for the serious setback of the international communist movement in the 20th century is that the traditional theory of value was not yet a system engineering, insufficient to formulate scientific production plans for socialist countries, and through scientific experiments to guide social economic practices and improve labor productivity. Now we have preliminarily established such an economic laboratory, which in the future will certainly play an important role in the economic construction of all countries around the world.

To sum up, it is of great theoretical significance to reanalyze marginalism. Looking back to history, any change in the mode of social production, including the economic base and superstructure, went through a long and tortuous journey. The capitalist mode of production began from the "enclosure movement" in Britain in the 15th century to the success of the bourgeois revolution in France at the beginning of the 19th century, which went through more than four centuries and suffered numerous setbacks and hardships. Until today, the modern capitalist society is still suffering from the negative influence of errors of marginalism, and cannot get rid of the nightmare of the huge gap between rich and poor and the periodic economic crisis. The fundamental reason for this situation is that mainstream theory in the field of modern economics goes wrong. We believe that the scientific theory of value is the guidance for the development of modern society and economy. Adhering to the mathematization and computerization to the theory of value and the scientific experiment to assist the macroeconomic management, will help to better develop economies in the world, even beyond the level of current developed countries. In particular, in this historical process, economics will eventually develop into a more profound, advanced and mature scientific theoretical system than physics at the peak of modern science. We have no doubt about this.

¹⁰ The computer model is a system simulation model of social economic dynamics (SED). At present, the SED model has been successfully applied in the simulation analysis of the international economy, macroeconomy, industrial economy, and regional economy (Wang et al., 2022).

REFERENCES / СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Aristotle** (1999). *Politics*. Transl. by Benjamin Jowett. Kichener: Batoche Books.
- Arrow K.J.** (1951). *Social choice and individual values*. 2nd ed. N.Y.: John Wiley & Sons. Reprinted by New Heaven, CT: Cowles Foundation, Yale University in 1970.
- Arrow K.J., Debreu G.** (1954). Existence of an equilibrium for a competitive economy. *Econometrica*, 22, 3, 265–290.
- Bai B.** (2006). *Research on value transformation problem*. Peking: The Commercial Press.
- Bortkiewicz L. von** (1949). *On the correction of Marx's fundamental theoretical construction in the third volume of capital*. Appendix. Clifton: A.M. Kelly. Originally published in 1907.
- Bortkiewicz L. von** (1952). Value and price in the Marxian system. Transl. by Kahane J. *International Economic Papers*, 2, 36–51. Originally published in 1906–1907.
- Böhm-Bawerk E. von** (1896). *Karl Marx and the close of his system*. London: T.F. Unwin.
- Chen X., Wang B.** (2020). Space of Ricci flows (II). Part B: Weak compactness of the flows. *J. Differential Geom.*, 116 (1), 1–123 (September). DOI: 10.4310/jdg/1599271253
- Debreu G.** (1959). *Theory of value: An axiomatic study of economic equilibrium*. N.Y.: John Wiley & Sons.
- Ding B.** (2012). On Samuelson's criticism of the labour theory of value. *Social Sciences in China*, 2, 79–93.
- Engels F.** (1947). *Anti-Duhring: Herr Eugen Duhring's revolution in science*. Moscow: Progress Publishers. Originally published in 1878.
- Marx K.** (1867). *Das Kapital*. Vol. I. Hamburg: Verlag von Otto Meissner. (Transl. from the German in: “*Marx and Engels. Collected works (Vol. I)*”. Vol. 35. London: Lawrence & Wishart in 1996.)
- Marx K.** (1894). *Das Kapital. Kritik der Politischen Ökonomie*. Vol. III. Hamburg: Otto Meissners. (Transl. from the German in: “*Marx and Engels. Collected works (Vol. III)*”. Vol. 37. London: Lawrence & Wishart in 1996.)
- Meek R.** (1956a). *Studies in the labour theory of value*. London: Lawrence and Wishart.
- Meek R.** (1956b). Some notes on the transformation problem. *Economic Journal*, 66, 261, March.
- Meek R.** (1961). Mr. Sraffa's rehabilitation of classical economics. *Scottish Journal of Political Economy, Scottish Economic Society*, 8 (2), June, 119–136.
- Morishima M.** (1973). *Marx's economics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Morishima M.** (1974a). Marx in the light of modern economic theory. *Econometrica*, 42, 611–633.
- Morishima M.** (1974b). The fundamental Marxian theorem: a Reply to Samuelson. *Journal of Economic Literature*, 12 (1), 71–74.
- Qian X., Yu J., Dai R.** (1990). A new discipline of science — the Study of open complex giant system and its methodology. *Chinese Journal of Nature*, 13 (1), 3–10.
- Ricardo D.** (1817). *On the principles of political economy and taxation*. London: John Murray. (Reprinted by Kitchener: Batoche Books in 2001.)
- Say J.-B.** (1803). *Traité d'économie politique: ou Simple exposition de la manière dont se forment, se distribuent, et se consomment*. Paris. (Transl. and reprinted from French by C.R. Prinsep “*A treatise on political economy; or the production, distribution and consumption of wealth*”. N.Y.: Augustus M. Kelley Publishers in 1971.)
- Seton F.** (1957). The transformation problem. *Review of Economic Studies*, 24, 3, 149–160.
- Smith A.** (1776). *An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations*. London: Printed for W. Strahan; and T. Cadell. (Reprinted by New York: Random House in 1994.)
- Sraffa P.** (1960). *Production of commodities by means of commodities — a prelude to a critique of economic theory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sweezy P.** (1942). *The theory of capitalist development*. New York: Monthly Review Press.
- Sweezy P.** (1949). *Karl Marx and the close of his system*. New York: Augustus Kelly.
- Wang J., Wang T., Shi Y., Xu D., Chen Y., Wu J.** (2022). Metaverse, SED model and new theory of value. *Complexity*. Article ID4771516. 26 p. DOI: 10.1155/2022/4771516
- Wieser F.** (1889). *Natural value*. Transl. and reprinted by Ch.A. Malloch. London, New York: Augustus M. Kelley Publishers, Macmillan and Co.
- Winternitz J.** (1948). Value and prices: A solution of the so-called transformation problem. *Economic Journal*, 58, 230, June, 276–280.
- Wu J.** (1999a). On the causes of commodity price and market equilibrium at the critical point of price (I). *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 7, 21–28.

- Wu J.** (1999b). On the causes of commodity price and market equilibrium at the critical point of price (II). *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 8, 40–47.
- Wu J., Qin Y.** (2008). Commodity exchange model based on Marxist economics. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2, 149–160.
- Wu J.** (2012). *On wealth*. Vol. I–II. Peking: Peking University Press.
- Wu J., Wu Z.** (2021). Analysis of market equilibrium based on the new theory of value. *SCIREA Journal of Economics*, 6 (4), 71–113. DOI: 10.54647/economics79260
- Wu J., Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Wu Z.** et al. (2020). The new theory of Value. *Economics and Mathematical Methods*, 56 (4), 5–19. [Wu J., Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Wu Z. et al. (2020). The new theory of value // *Экономика и математические методы*. Т. 56. № 4. С. 5–19.]
- Zhang Z.** (2001). The final solution to the transformation problem. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 18 (2), 4.
- Zhang Z.** (2004). *Solving the centennial problem*. Peking: People's Publishing House.

Анализ маржинализма. Часть 2

© 2023 г. Ц. Ву, В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, З. Ву

Ц. Ву,

Председатель правления компании *Guangzhou Milestone Software Co., Ltd.*; исследователь Шаньдунского института развития, Шаньдунский университет; исследователь Центра экономической и социальной интеграции и прогнозирования Академии общественных наук КНР; приглашенный профессор Академии социальных наук провинции Гуандун, консультант Национального суперкомпьютерного центра КНР, КНР; e-mail: jw@gzmss.com

В.Л. Макаров,

Академик РАН; научный руководитель ЦЭМИ РАН, президент Российской экономической школы, директор Высшей школы государственного администрирования МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва; e-mail: makarov@cemi.rssi.ru

А.Р. Бахтизин,

Директор ЦЭМИ РАН, член-корреспондент РАН; Москва; e-mail: albert.bakhtizin@mail.ru

З. Ву,

Заместитель председателя правления *Guangzhou Milestone Software Co., Ltd.*; КНР; e-mail: wzl@gzmss.com

Поступила в редакцию 13.01.2023

Аннотация. В последние годы, китайские и российские ученые, сохраняя в качестве основы традиционную теорию стоимости, — трудовую теории стоимости и теорию прибавочной стоимости, а также гипотезу Джевонса, Теслы и Фоули — использовали математическую парадигму теоретической механики для создания системы математических моделей экономики, которую назвали новой теорией стоимости. Совместимая с традиционной теорией, новая теория стоимости выдвигает идею о том, что потребляемая в процессе производства рабочая сила определяет стоимость товара, а сила притяжения рабочей силы определяет оценку ее самой. В процессе производства постоянный и переменный капитал — как кинетическая и потенциальная виды энергии — переходят друг в друга, согласно теореме сохранения стоимости, что играет важнейшую роль в создании стоимости и добавленной стоимости продуктов. Эти теоретические положения имеют большое значение, поскольку превращают традиционную теорию стоимости в самодостаточную логическую систему в виде новой теории стоимости, которая вобрала рациональные элементы как из классической экономики, основанной на трудовой теории стоимости, и теории прибавочной стоимости, так и из неоклассической экономики с ее законом убывающей предельной полезности. В этой части статьи мы обращаемся к этой проблематике, исследуя происхождение закона убывающей предельной полезности.

Ключевые слова: новая теория стоимости, рабочая сила, гравитационный параметр рабочей силы, закон равновесия стоимости, закон убывающей маржинальной полезности, непротиворечивость.

Классификация JEL: C62, D46, D58.

Для цитирования: **Wu J., Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Wu Z.** (2023). Analysis of marginalism. Part 2 // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 3. С. 31–41. DOI: : 10.31857/S042473880026984-1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Средний класс: анализ зависимости размера от уровня неравенства доходов

© 2023 г. А.Е. Варшавский

А.Е. Варшавский,

ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: varshav@cemi.rssi.ru; varshavae@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.03.2023

Аннотация. В статье исследуется зависимость размеров среднего класса от уровня неравенства доходов. Для этой цели анализируются показатели, которые характеризуют размеры среднего класса (доли дохода среднего класса в целом и отдельных его слоев в совокупном доходе). При этом использовались аналитические выражения, которые были найдены с помощью разработанной автором модели распределения доходов на основе конечной функциональной последовательности, описанной ранее в нескольких статьях. Полученные в данной работе результаты свидетельствуют об определенной стабильности доли дохода среднего класса в целом в достаточно широком диапазоне изменения уровня неравенства доходов. Вместе с тем показано, что одновременно имеют место существенные отличия в зависимости доли дохода различных слоев среднего класса от уровня неравенства. С помощью полученных на основе разработанной модели аналитических выражений построена диаграмма для ориентировочной оценки размеров среднего класса в зависимости от уровня неравенства доходов. Эта диаграмма позволяет оценить размеры среднего класса при различных его определениях по отношению к медиане доходов. На основе полученных результатов были рассмотрены различные варианты возможной реакции среднего класса в целом и его отдельных слоев на повышение неравенства доходов. Делается вывод, что средний класс, являясь источником стабильности, в то же время при высоком уровне дифференциации доходов может стать инициатором сокращения неравенства.

Ключевые слова: средний класс, неравенство, доход, распределение, показатель неравенства доходов.

Классификация JEL: D63, D31, D30, C51.

Для цитирования: **Варшавский А.Е.** (2023). Средний класс: анализ зависимости размера от уровня неравенства доходов // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 3. С. 42–55. DOI: 10.31857/S042473880026990-8

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время большое внимание уделяется значительному повышению уровня неравенства и ухудшению положения среднего класса. Средний класс (СК) — основа стабильности общества — в условиях чрезмерного неравенства испытывает серьезные проблемы во многих странах. Как отмечает нобелевский лауреат Дж. Стиглиц, «неравенство душит, ограничивает, тормозит наш рост» (Стиглиц, 2013). Он выделяет следующие главные проблемы СК, вызванные ростом неравенства: ослабление СК (в США в 2010 г. реальные доходы СК были меньше, чем в 1996 г.). С начала 1970-х годов СК лишен возможности инвестировать в будущее — в свое образование и образование детей, в развитие бизнеса. Из-за ослабления СК сокращается поступление налогов, причем наиболее богатые «научились избегать налогообложения и требовать налоговых послаблений».

Можно напомнить, что еще Аристотель уделял СК очень много внимания. Его мысли актуальны и сегодня. Аристотель отдавал предпочтение среднему слою населения, так как трудно следовать доводам разума «человеку сверхпрекрасному, сверхсильному, сверхзнатному, сверхбогатому или, наоборот, — человеку сверхбедному, сверхслабому, сверхуниженному по своему общественному положению. Люди первого типа становятся по преимуществу наглецами и крупными мерзавцами. Люди второго типа часто делаются злодеями и мелкими мерзавцами. А из преступлений одни совершаются из-за наглости, другие — вследствие подлости. Сверх того, люди обоих этих типов не уклоняются от власти, но ревностно стремятся к ней...». Аристотель подчеркивал: «Те государства имеют хороший строй, где средние представлены в большем количестве... Но когда за отсутствием средних граждан неимущие подавляют своей многочисленностью, государство оказывается в злополучном состоянии и быстро идет к гибели» (Аристотель, 2016).

Современные проблемы СК подробно рассмотрены в докладе ОЭСР (ОЕСД, 2019), причем к СК авторы в соответствии с медианным подходом относят домохозяйства, имеющие доход в размере от 0,75 до 2 медиан (М) дохода. При этом выделяются три группы СК: имеющие низкий доход (0,75М–1М), средний (1М–1,5М) и высокий доход (1,5М–2М); домашние хозяйства с доходом ниже 0,75М относятся к бедным, а имеющие доход выше 2М, — к богатым.

За 30 лет с середины 1980-х годов в странах ОЭСР доля всех домохозяйств со средним уровнем дохода в общем доходе в целом снизилась с 64 до 61%. Обострились проблемы социальной мобильности, представители СК обеспокоены перспективами своих детей, у которых становится меньше возможностей для достижения уровня жизни родителей. По оценке авторов доклада, доля СК составляла примерно 50% населения в Чили, Мексике, США, Израиле; около 70% — в Скандинавских и некоторых других странах ЕС и примерно 30% — в ЮАР. В России — около 50%, хотя, по оценкам отечественных авторов, СК составляет около 40% населения страны (Тихонова, 2020), и даже менее (Мареева, 2021). При этом в целом в странах ОЭСР идентифицируют себя с СК около 2/3 населения.

Во многих странах ОЭСР наблюдалась стагнация или снижение уровня жизни домохозяйств со средним доходом, в то время как более богатые продолжали накапливать богатство (на 10% имеющих наибольший доход приходится почти 50% общего богатства, в то время как на 40% самых бедных — только 3%). В докладе отмечалось, что улучшение ситуации возможно на основе справедливого налогообложения, решения проблем, связанных с повышением стоимости жилья и образования, возможности повышения квалификации, а также снижения рисков чрезмерной задолженности и улучшения условий для бизнеса.

Следует отметить, что во многих странах богатая часть населения возражает против повышения налогов для улучшения ситуации в обществе и хочет сама распоряжаться своими доходами. Более того, предлагается снижать налоги для наиболее богатых, а также для — крупных корпораций с целью инвестирования высвободившихся средств в бизнес и сокращения за счет этого неравенства (теория Trickle-down economics («экономика просачивания»)). Иными словами, предполагается, что именно богатые будут помогать бедным, а средний класс останется в стороне. Против этой идеи выступают многие, в том числе и церковь — Папа Франциск, выступая в Конгрессе США, отметил: «Борьба с бедностью и голодом должна вестись постоянно и на многих фронтах, особенно в отношении их причин» (Elavia, 2016).

Значительная зависимость численности и особенностей поведения СК от уровня неравенства делает актуальным получение соответствующих аналитических зависимостей, в том числе зависимости доли дохода СК в целом и отдельных его слоев и групп (квинтилей, децилей) от уровня неравенства. В данной статье приводятся и анализируются такие зависимости, найденные с помощью разработанной автором модели распределения доходов на основе конечной функциональной последовательности (Варшавский, 2007, 2010, 2020, 2021, 2022; Varshavsky, 2009, 2010). Были получены следующие результаты: показана относительная стабильность доли доходов СК для достаточно широкого диапазона изменения уровня неравенства, что теоретически подтверждает эмпирические результаты (Palma, 2011, 2014). Представлен метод, позволяющий с помощью диаграммы получить ориентировочную оценку размеров СК в зависимости от уровня неравенства для различных диапазонов относительно медианы доходов. Выявлены особенности зависимости доли дохода различных слоев СК (квинтилей, децилей) от уровня неравенства в обществе, что позволило рассмотреть гипотезы возможной реакции различных слоев СК на повышение неравенства сверх определенного уровня.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЗМЕРА СРЕДНЕГО КЛАССА

Следует отметить, что оценки размера СК могут значительно отличаться в зависимости от используемого подхода (см., например, Григорьев, Салмина, Кузина, 2009)).

В социологических исследованиях СК анализ доходов является основой изучения «социальных действий» людей, с учетом различных видов их ресурсов (Тихонова и др., 2018). В общем случае СК определяется на основе размера дохода, уровня образования, рода занятий, социального статуса. Например, в работе (Средний класс в современной России ..., 2016) авторы используют методологию, основанную на стратификации в соответствии с четырьмя следующими критериями:

образование (наличие, как минимум, среднего специального образования); профессиональный статус (нефизический характер труда); уровень благосостояния (среднемесячный душевой доход не ниже его медианы или количество имеющихся товаров длительного пользования не ниже медианы для населения в целом); самоидентификация. На основе данной методологии были получены оценки СК России: в конце 2015 г. доля СК составляла 44% населения, в том числе ядро СК — 18% (в 2010 г. — 15%) и периферия ядра — 26% (в 2010 г. — 21%), потенциальный СК — 21% (в 2010 г. — 20%), остальное население — 35% (в 2010 г. — 44%).

В (Мареева, 2021) СК определяется несколько иначе — на основании стратификации по трем критериям: социально-профессиональный статус (работники нефизического труда, за исключением работников сферы торговли и услуг); уровень образования (высшее, включая незаконченное высшее у продолжавших на момент опроса обучение в вузе); уровень дохода не ниже медианного по типу поселения. На основе данных проведенного в 2019 г. опроса было определено, что доля ядра СК составила 11,4% населения, и для 23,5% характерны два из трех приведенных выше (периферия ядра СК), т.е. СК оказался меньше — 34,9% населения (остальная часть населения характеризуется только одним из признаков и не входит в СК). Результаты этого исследования показали также особенности отношения различных слоев СК к ситуации в стране. Так, с утверждением «правительство скорее неуспешно/совсем неуспешно сокращает в настоящее время различия в доходах населения» периферия СК была согласна на 11 п.п. больше (85,8%), чем ядро СК (74,9%); причем несколько более 70% среди ядра и периферии СК полагали, как и все население, что «налоги в России для тех, кто имеет высокие доходы, низкие или слишком низкие», но 6,2% СК считали налоги высокими.

В последнее время социологами используется и распределение доходов относительно среднего или медианного дохода. В (Тихонова, 2020) было принято, что в России «границей относительного благополучия» является уровень доходов, примерно равный 1,25М, а группа с доходами в диапазоне 0,75М-1,25М находится выше черты бедности. На основе результатов опроса в СК были включены: имеющие среднедушевые доходы в домохозяйствах свыше 1,25М — с профессиональным статусом и высшим образованием (ядро СК — 7,9% взрослого населения), а также лица с нетипичными для СК профессиональными статусами или без высшего образования (ближняя периферия ядра СК — 12,3%); имеющие среднедушевые доходы ниже 1,25М и более 0,75М, с высшим образованием и занимающие профессиональные позиции, характерные для СК, — 6,9%; имеющие относительно высокие доходы, но не входящие в соответствующие СК профессиональные группы и не имеющие высшего образования — 12,6%. СК по этим оценкам в начале 2019 г. составлял 39,7% населения России. При этом было отмечено, что граница между СК и остальными слоями населения — с медианным классом (23,6%) и низшим классом (36,7%) — достаточно условна, причем необходимо учитывать и мобильность представителей СК.

Необходимо при этом учитывать, что при определении размера СК путем проведения обследований полученные по данным опроса оценки могут дать различную картину. Так, в соответствии с критерием самоидентификации, доля СК в России была значительно выше, чем при использовании имущественных критериев, что объясняется высоким уровнем знаний и квалификации при низком уровне доходов в результате непродуманного перехода к рыночной системе, развала промышленности и беспрецедентного сокращения доходов большей части населения. Можно привести отличающиеся от рассмотренных выше данные опроса ВЦИОМ, проведенного в октябре 2018 г. Они показали следующее: 10% опрошенных считают, что занимают в обществе положение «выше среднего»; считающих, что они занимают «среднее» положение, оказалось 64%; а занимающих положение «ниже среднего» и «низкое» — 13 и 7% соответственно (Формула успеха, 2018).

Одновременно в странах с социально-ориентированной экономикой, например в Финляндии, наблюдается обратная картина: доля населения, идентифицирующего себя с СК, ниже официальных данных, что можно объяснить, по-видимому, желанием еще более повысить свой доход. При этом доля считающих себя бедными респондентов (на основе самооценки уровня собственных доходов) может быть в два раза выше официальной оценки, а относящих себя к СК — ниже официальных данных даже на 20 п.п.

Можно также отметить еще два варианта стратификации. В (Масионис, 2004) выделяются три слоя СК в США: высший слой (имеет ценное имущество, комфортабельный дом в хорошем районе, несколько автомобилей, осуществляет инвестиции; дети обычно заканчивают колледж, получают ученые степени, делают успешную карьеру врачей, инженеров, юристов, бухгалтеров

и руководителей компаний); средний слой (руководители среднего звена, учителя средней школы, продавцы или высококвалифицированные работники среди «синих воротничков»); их доход примерно равен среднему по стране, они накапливают небольшое состояние, заканчивают среднюю школу, 50% получает высшее образование. Далее — низший слой, или «рабочий класс». Наконец, М. Вебер выделял в СК мелких собственников с невысоким уровнем образования (мелкие торговцы, предприниматели) и тех, кто не имел собственности, но обладал высокой квалификацией и имел возможность хорошо зарабатывать (интеллигенция, специалисты) (Вебер, 2003).

В экономических исследованиях СК используются два основных подхода: абсолютный, когда диапазон доходов различных групп населения задается в денежном выражении; относительный, при котором используется среднее значение, или медиана доходов (по квинтилям, децилям и т.п.). Обычно для развивающихся стран используют абсолютный подход (например, доходная стратификация Всемирного банка), а для развитых — относительный. Так, например, специалисты компании Pew Research Center (США) относят к СК домохозяйства, имеющие годовой доход в диапазоне от 2/3М до 2,0М (America's shrinking ..., 2016; Хвостик, 2016). Эти диапазоны незначительно отличаются от используемых в отчете ОЭСР (см. выше). По их оценкам, в 2010 г. доля взрослого населения в домохозяйствах, принадлежащих СК, составляла в Дании и Норвегии 80% всего взрослого населения, в Испании — 64% и в США — 59%.

Несколько отличающиеся диапазоны использовались в исследовании на основе данных Российского мониторинга экономического положения и здоровья населения (РМЭЗ НИУ ВШЭ, при котором выделялись пять доходных групп: бедные — доход менее 0,5М; уязвимые (0,5М–0,75М); медианная группа (0,75М–1,25М); СК (1,25М–2М); высокодоходные (более 2 М). Результаты этого исследования показали, что медианная группа выросла с 26,0% в 1994 г. до 36,6% в 2016 г. Доля СК повысилась с 19,6 до 25,7% (ниже, чем приведенные выше оценки других авторов). Доли групп с доходами ниже 0,5М и более 2М сократились с 19,0 до 8,4% и с 20,0 до 12,6% соответственно. При этом важно отметить, что верхние 3–4% сверхбогатых не попадают в выборку (Мареева, 2017).

При относительном подходе часто используется также более простой подход, основанный на разделении населения по квинтилям и децилям. В соответствии с этим подходом возможны несколько вариантов определения СК: к СК относят три средние 20%-ные группы (Q_4 , Q_3 , Q_2) либо два квинтиля и дециль (D_9 , Q_4 , Q_3), а также другие группы квинтилей и децилей — например (D_9 , Q_4), (D_9 , Q_4 , D_6), (Q_4 , Q_3), (Q_4 , Q_3 , D_4) (см., например, (Easterly, 2000; Palma, 2011, 2014; Пикетти, 2016)). Этот подход, а также медианный метод используются в данной работе.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СК ОТ УРОВНЯ НЕРАВЕНСТВА

В данном разделе рассмотрен подход к оценке зависимости размера СК в целом и его различных слоев от уровня неравенства, основанный на использовании разработанной автором модели распределения доходов на основе конечной функциональной последовательности. Приведено краткое описание модели. Показана возможность оценки зависимости доли СК от уровня неравенства на основе медианного подхода. Теоретически подтверждена стабильность доли дохода основной части СК (50% населения, децили D_5 – D_9), а также анализируется характер зависимости доли дохода различных слоев СК от уровня неравенства доходов населения.

Краткое описание модели распределения доходов на основе конечной функциональной последовательности

Ниже дается краткое описание модели распределения доходов на основе конечной функциональной последовательности (Варшавский, 2007, 2020, 2021, 2022; Varshavsky, 2009, 2010).

Как показано автором в указанных выше статьях, относительные (по отношению к доходу наиболее богатой группы — пятой) размеры дохода всех пяти равных по численности групп населения в совокупном доходе могут быть приближенно представлены в виде конечной функциональной последовательности $A(a, 5)$, в которой изъяты второй и предпоследний члены:

$$A(a, 5) = \{a^{-6}, a^{-4}, a^{-3}, a^{-2}, 1\}, a \geq 1. \quad (1)$$

Каждый член i этой последовательности определяется как отношение доходов соответствующей группы i населения к доходу наиболее богатой группы ($i = 5$) и зависит от параметра a , характеризующего уровень неравенства и определяемого как *показатель неравенства*.

Доли соответствующих 20% доходных групп (квинтили) Q_i , $i = 1, \dots, 5$, в общем доходе определяются при этом как

$$\begin{aligned} Q5(a) &= 1 / A(a^{-1}), \quad Q4(a) = a^{-2} / A(a^{-1}), \quad Q3(a) = a^{-3} / A(a^{-1}), \\ Q2(a) &= a^{-4} / A(a^{-1}), \quad Q1(a) = a^{-6} / A(a^{-1}), \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$A(a^{-1}) = 1 + a^{-2} + a^{-3} + a^{-4} + a^{-6} \quad (3)$$

является характеристическим многочленом базовой конечной степенной последовательности $A(a, 5)$, о его особенностях см. (Варшавский, 2020, 2021, 2022) и др.

Модель (1)–(3) для 20% групп используется как базовая при переходе к распределению для 10, 5, 2,5, 1,25% и т.д. групп населения. Например, для 10% групп населения децили распределения доходов равны:

$$\begin{aligned} D10(a) &= (a^m / (1 + a^m)) / A(a^{-1}), \quad D9(a) = (1 / (1 + a^m)) / A(a^{-1}), \quad D8(a) = b^{-3} / ((1 + b)A(a^{-1})), \\ D7(a) &= b^{-4} / ((1 + b)A(a^{-1})), \quad D6(a) = b^{-5} / ((1 + b)A(a^{-1})), \quad D5(a) = b^{-6} / ((1 + b)A(a^{-1})), \\ D4(a) &= b^{-7} / ((1 + b)A(a^{-1})), \quad D3(a) = b^{-8} / ((1 + b)A(a^{-1})), \quad D2(a) = b^{-12} (a^m / (1 + a^m)) / A(a^{-1}), \\ D1(a) &= b^{-12} (1 / (1 + a^m)) / A(a^{-1}), \end{aligned} \quad (4)$$

где $b = a^{1/2}$, $A(a^{-1})$ определяется в соответствии с (3); $m = 1,8 - 2$ (при выводе аналитических выражений предполагается, что $m = 2$). Как показывают расчеты, для $D10(a)$ разница в величине при $m = 1,8$ и $m = 2$ не превышает 4,5%, а для $D9(a)$ при $a < 1,55$ она меньше 10% и при $a = 1,6 - 2$ не превышает 18%.

Показатель неравенства a можно определить с помощью метода наименьших квадратов по реальным данным о долях дохода 20% групп для каждой отдельной страны, а также с помощью соотношения фактических значений квинтилей либо децилей, что следует из (2) и (4):

$$a = (Q5 / Q1)^{(1/6)}, \text{ или } a = (D10 / D1)^{(1/8)}, \text{ или } a = (Q4 / Q2)^{(1/2)}. \quad (5)$$

При этом последний вариант оценки показателя неравенства a в ряде случаев может быть более точным (5) из-за сложности получения достоверных данных о доходах самых богатых и самых бедных.

Приближенное соотношение между показателем неравенства a и индексом *Gini*, а также соответствующие квинтильный ($Q5 / Q1$) и децильный ($D10 / D1$) коэффициенты фондов приведены в табл. 1.

С помощью этой модели оказывается возможным, как показано в указанных выше статьях автора, получить зависимость размера доли дохода 20% и 10% групп населения (квинтилей и децилей) от показателя неравенства; выявить соотношения между доходами отдельных групп населения при определенной величине уровня неравенства; выбрать уровень гармоничного распределения доходов, а также оценить возможные варианты поведения различных слоев СК при повышении уровня неравенства.

Таблица 1. Связь показателя неравенства a с индексом *Gini* и квинтильным ($Q5 / Q1$) и децильным ($D10 / D1$) коэффициентами фондов (Варшавский, 2020, 2021)

A	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7	1,75	1,8
<i>Gini</i> *	22	26	30	34	37	40	44	47	49	52	55	57	59
$Q5 / Q1$	3,0	3,8	4,8	6,1	7,5	9,3	11,4	13,9	16,8	20,2	24,1	28,7	34,0
$D10 / D1$	4,3	6,0	8,2	11,0	14,8	19,5	25,6	33,3	42,9	54,9	69,8	88,0	110,2

* Приблизительная оценка.

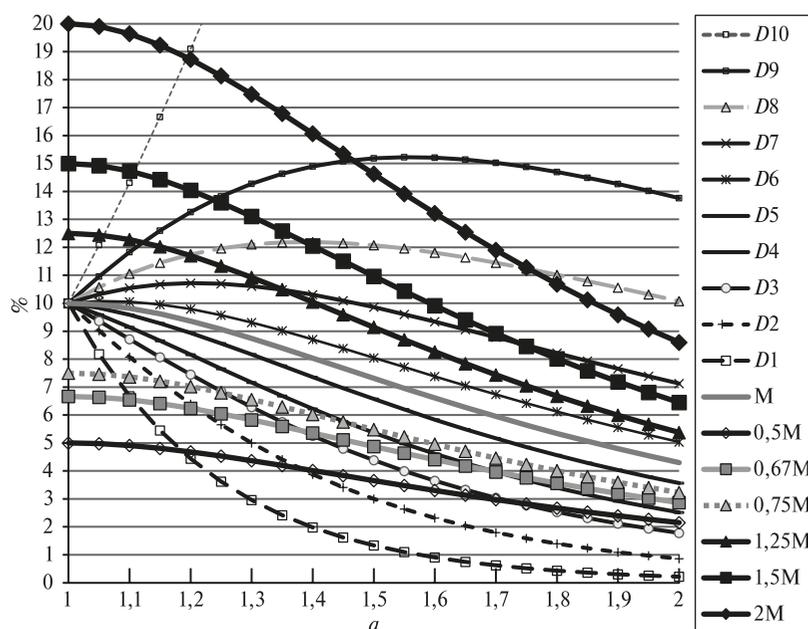


Рис. 1. Диаграмма для ориентировочной оценки размеров СК в зависимости от уровня неравенства при различных определениях СК по отношению к медианному доходу: (0,5M–1,5M); (0,75M–1,25M); (0,67M–2M); (D1–D10) — децили, кривая *M* определяет зависимость медианы от показателя неравенства a

Оценка зависимости доли СК от уровня неравенства на основе медианного подхода

На основе выражений (4) для децилей СК ($D9 — D3$) можно построить диаграмму, с помощью которой легко получить ориентировочную оценку доли СК в зависимости от уровня неравенства при различных определениях СК по отношению к медианному доходу: (0,5M–1,5M); (0,75M–1,25M); (0,75M–1,25M); (0,67M–2M) (рис. 1). При этом медиана приближенно определяется как $M = (D5 + D6)/2 = (Q3)/2$.

В качестве примера рассмотрим, как изменится доля СК при снижении неравенства от уровня, характеризующегося показателем неравенства $a = 1,5$ ($Gini \approx 44$), до уровня $a = 1,3$ ($Gini \approx 30$). Как видно из данных на рис. 1, если считается, что доход СК находится в диапазоне 0,5M–1,5M, его доля увеличится приблизительно с 50% (децили $D3–D7$) до 70% ($D2–D8$); для диапазона 0,75M–1,25M — с 20% ($D5–D6$) до 40% ($D4–D7$); для диапазона (0,75M–1,5M) — с 30% ($D5–D7$) до 50% ($D4–D8$); для диапазона (0,67M–2M) — с 50% ($D4–D8$) до 70% ($D3–D9$). При высоком уровне неравенства из СК выходят не только низкодоходные децили, но также и наиболее богатые: так, $D9$ выходит из СК при верхней границе 2M, когда $a \approx 1,5$ ($Gini \approx 44$), $D8$ — при $a \approx 1,75$ ($Gini \approx 57$) и т.д.

Следует отметить, что для России в настоящее время, как показывают оценки, приведенные в (Овчарова, Попова, Рудберг, 2016), а также оценки автора, уровень неравенства характеризуется показателем не ниже, чем $a = 1,5$ ($Gini \approx 44$), а по оценке, приведенной в работе (Матыцин, Ершов, 2012), он еще выше — $Gini = 47$ (по данным Росстата: $Gini \approx 40–41$). При этом в России значительно пространственное (территориальное) неравенство — так, оценка уровня неравенства доходов в Москве, полученная автором по данным компании ЭКЦ «Инвест-Проект» за 2014 г., показала, что $a \approx 1,57$ ($Gini \approx 48$), а по данным Росстата, $Gini \approx 45,2$ (2014 г.), причем ранее Росстат публиковал более высокие данные — $Gini \approx 56,7$ (2005 г.) и $62,7$ (2002 г.).

Фактически в настоящее время в России неравенство доходов вновь стало таким же, каким оно было до 1917 г. В (Варшавский, 2019) приведены оценки индекса $Gini \approx 56–60$, что корреспондирует с оценками, представленными в работе (Novokmet, Piketty, Zucman, 2017).

В (Тихонова и др., 2018) отмечается, что Россия отличается чрезмерным «отрывом элитных и субэлитных групп от массовых слоев общества, характерным для неевропейских ареалов развития». В этой связи следует напомнить то, что сказал Патриарх Кирилл на открытии VII Рождественских Парламентских встреч в 2019 г.: «Социальное неравенство создает внутри общества

пропасть, которая, подобно черной дыре, поглощает духовные силы народа. Неравенство разъедает ткань народного единства... Разделенность власти и народа рано или поздно способна привести к печальным последствиям для государства и его граждан»¹.

Следует обратить внимание и на соотношение медианного и среднего дохода и, соответственно, на соотношение между медианной и средней заработной платой, которые также характеризуют уровень неравенства. По данным (Median income by country 2022, 2022), соотношение медианного и среднего дохода в России составляет 0,76 — как и в США. Однако соотношение медианной и средней заработной платы значительно ниже — 0,63 (32 422 и 51 352 руб. в 2020 г., по уточненным данным Росстата), что свидетельствует о высокой диспропорции в оплате труда верхнего и нижнего слоя СК, в том числе из-за отсутствия рабочих мест для представителей СК, соответствующих их специальности и квалификации.

Так, по результатам опроса ВЦИОМ 2019 г., 47% работников в России работают не по специальности, причем 28% никогда не работали по специальности. При этом существует проблема не только недостаточной, но и избыточной квалификации. Необходимо учитывать значительное разрушение обрабатывающих производств в результате перехода к рынку. Так, только за 2000–2020 гг. численность занятых в обрабатывающих производствах сократилась на 26,6% — с 12 297 до 9 713 тыс. человек; существенно сократились высокотехнологичные отрасли, например производство авиационной техники: если в 1991 г. был выпущен 81 гражданский самолет (без легких), то в 2022 г. — всего 12. Неудивительно, что в Москве из-за отсутствия заказов можно увидеть за рулем такси кандидата технических наук, бывшего научного сотрудника одного из НИИ, тоже представителя СК. В итоге складывается ситуация, когда на низкооплачиваемых, но требующих высокого уровня квалификации работах, заняты не только высококлассные специалисты, но и люди, не обладающие достаточным уровнем квалификации, так как многие представители СК, имеющие высокую квалификацию, вынуждены уходить работать в другие сферы деятельности с более высокой оплатой труда. Вместе с тем, например, в некоторых организациях сферы управления вы-

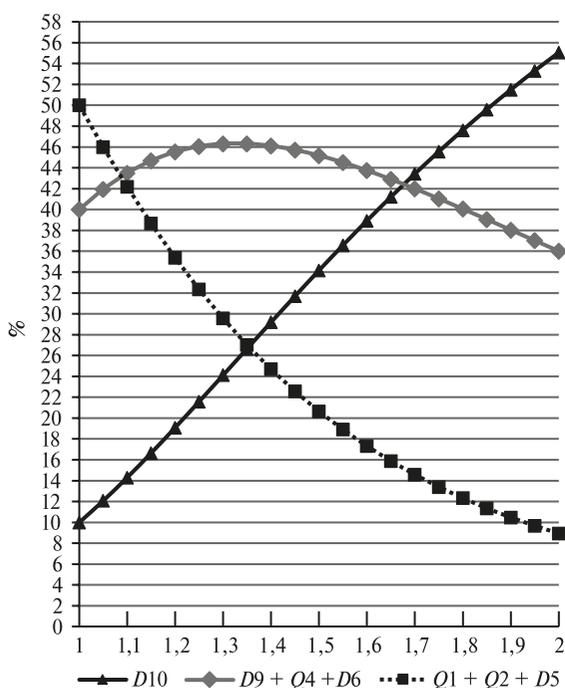


Рис. 2. Зависимость доли дохода 10% наиболее богатых (D10), 40% наиболее бедных (Q1 + Q2) и 50%, принадлежащих к СК (Q3 + Q4 + D9), от показателя неравенства a

сокую заработную плату могут получать работники с недостаточным уровнем квалификации и знаний (что подтверждается реформами образования, здравоохранения и науки, в частности РАН, основанных на обезьянстве — простом копировании зарубежных образцов без учета собственного опыта и особенностей развития своей страны).

Анализ стабильности доли дохода основной части СК при изменении уровня неравенства

В соответствии с моделью (1)–(5) может быть рассчитана доля дохода СК при различных его распределениях. Например, аналогично Х. Пальма (Palma, 2011, 2014) рассмотрим долю дохода пяти децилей (Q3 + Q4 + D9), т.е. 50% населения, относимых им к СК. На рис. 2 показана зависимость доли дохода 10% наиболее богатых (D10), 40% наиболее бедных (Q1 + Q2) и СК (Q3 + Q4 + D9) от показателя неравенства a . Доля дохода пяти децилей (Q3 + Q4 + D9), принадлежащих к СК, в соответствии с полученными с помощью модели оценками находится в диапазоне приблизительно от 45 до 55% при изменении показателя неравенства от 1 до 1,8 (что соответствует изменению $Gini$ от 0 примерно до 60).

Этот результат хорошо согласуется с эмпирическими данными, полученными Х. Пальма

¹ Михайловская М. «Патриарх Кирилл предупредил о негативных последствиях социального неравенства» // *Парламентская газета*. 30.01.2019 (<https://www.pnp.ru/social/patriarkh-kirill-predupredil-o-negativnykh-posledstviyakh-socialnogo-neravenstva.html>).

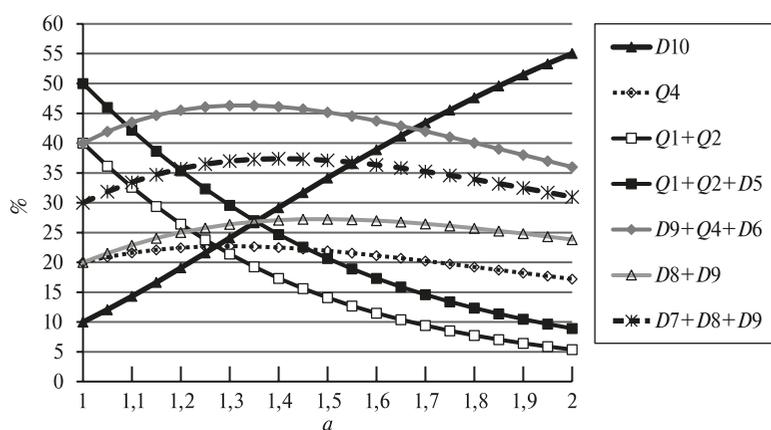


Рис. 3. Зависимость доли дохода различных слоев СК от показателя неравенства a

(Palma, 2011, 2014), который проанализировал данные для 135 стран за 2005 г. Эти данные характеризовались большим диапазоном индекса *Gini* — от 23 (Швеция) до 70,7 (Намибия), а также доли доходов наиболее богатых 10% населения ($D10$) — от 20,8% (Словакия) до 65% (Намибия). Для этой выборки стран доля дохода пяти децилей ($Q3 + Q4 + D9$), принадлежащих к СК, изменялась также в диапазоне приблизительно от 45 до 55%, а суммарная доля дохода трех децилей — от седьмого до девятого ($D7 + D8 + D9$) не выходила за пределы 35–40%, что также подтверждается с помощью модели (рис. 3), где показаны зависимости доли дохода в совокупном доходе различных слоев СК от уровня неравенства, причем доля этих трех децилей не превышает 38%.

В то же время диапазон изменения доли дохода наиболее богатых 10% ($D10$) и наиболее бедных 40% населения ($Q1$ и $Q2$) — существенно больше. Эти результаты позволили Пальма сделать вывод: так как 50% населения, составляющих СК ($Q3 + Q4 + D9$), сохраняют свою долю в общем доходе и из них у 30% (три наиболее богатых дециля ($D7–D9$)) доля в общем доходе меняется незначительно, то возможность снизить неравенство в стране зависит от поведения именно СК.

Полученные с помощью модели оценки свидетельствуют также о том, что доля дохода 50% населения, составляющего СК, наиболее высока при уровне неравенства, характеризующемся показателем неравенства a в диапазоне примерно от 1,2 до 1,3 ($Gini \approx 22–30$), что соответствует уровню гармоничного распределения дохода, имеющего место в странах с социально-ориентированной экономикой (Варшавский, 2021).

Характер зависимости доли дохода различных слоев СК от уровня неравенства

Модель распределения доходов с помощью конечной функциональной последовательности (1)–(5) позволяет также углубить понимание процессов, связанных с ростом неравенства доходов. В частности, с ее помощью можно определить характер изменения доли доходов определенных групп населения в зависимости от уровня неравенства, используя аналитические выражения (2) и (4) для доли доходов квинтилей ($Q1–Q5$) и децилей ($D1–D10$). Соответствующие зависимости, представленные на рис. 3 и 4, показывают следующее.

С ростом уровня неравенства происходит постоянное увеличение доли дохода лишь одной наиболее богатой группы населения — десятого дециля $D10$ при распределении по 10% группам (или пятого квинтиля $Q5$ при распределении населения по 20% группам). Одновременно для нижних квинтилей ($Q3–Q1$), т.е. для децилей ($D6–D1$), характерно непрерывное снижение доли доходов.

Для более богатых децилей СК (от $D9$ до $D6$) зависимость доли дохода от уровня неравенства характеризуется при этом наличием максимума, который имеет место при различных уровнях неравенства для каждого дециля, причем чем выше номер дециля, тем больше уровень неравенства, при котором достигается максимум, после которого с ростом неравенства начинается снижение доли доходов соответствующей группы. Кроме того, следует рассмотреть и совместно доли дохода: двух верхних децилей ($D9$ и $D8$), которая будет максимальной при $a = 1,49$ ($Gini \approx 43$), трех децилей ($D9$, $D8$ и $D7$) — максимум при $a = 1,4$ ($Gini \approx 37,4$) и четырех децилей ($D9$, $D8$, $D7$, $D6$) — при $a = 1,33$ ($Gini \approx 32,5$).

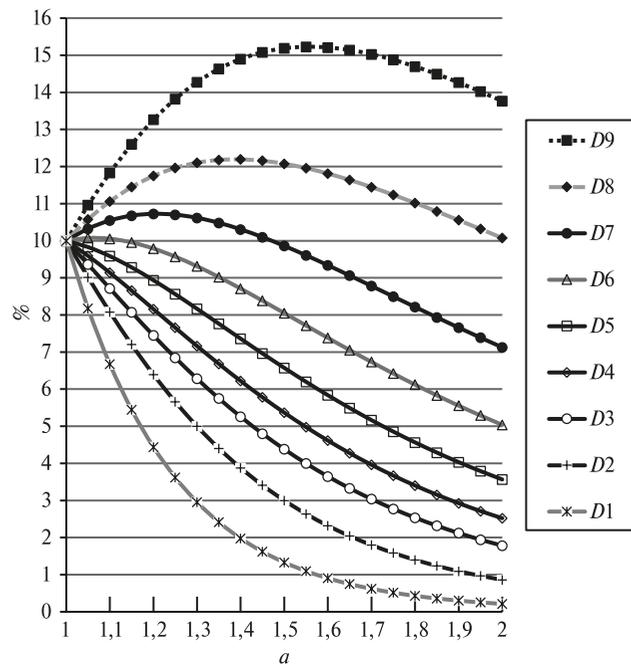


Рис. 4. Зависимости доли дохода (в %) децилей (D9–D1) от уровня неравенства; a — показатель неравенства

Как отмечалось выше, именно у 10% наиболее богатых (дециль $D10$) доходы непрерывно возрастают с повышением уровня неравенства (см. рис. 3). Это происходит, в первую очередь, за счет наиболее бедных 50%, доля доходов которых с ростом неравенства неуклонно падает (см. рис. 2 и 3). Но при дальнейшем возрастании неравенства, как показывают расчеты, проведенные с помощью разработанной автором модели, начиная примерно с уровня неравенства, характеризуемого показателем неравенства порядка $a = 1,6$ ($Gini \approx 50$), доходы наиболее богатых возрастают уже и за счет более заметного снижения доходов СК (см. рис. 2 и 3).

Следует отметить, что в абсолютном выражении снижение доходов соответствующих групп может не происходить с ростом неравенства при компенсирующем повышении национального дохода Y , т.е. когда $Z_i = Y \cdot Q_i = \text{const}$, где Z_i — абсолютная величина дохода группы i (в этом случае многие представители группы i могут не сразу почувствовать негативные результаты роста неравенства).

ВОЗМОЖНАЯ РЕАКЦИЯ СК НА ЧРЕЗМЕРНОЕ НЕРАВЕНСТВО

Как отмечалось ранее, представителей СК отличает наличие знаний, умений, профессиональных навыков. Этот груз снижает мобильность, отягощает СК, затрудняя переход его представителей в одну из крайних групп населения, и одновременно обеспечивает ему относительно стабильное положение в обществе.

Наличие максимума у доли доходов более богатых слоев СК (см. выше) свидетельствует о том, что их представители могут либо не замечать возрастания неравенства, либо могут быть даже заинтересованы в его росте до определенного уровня — пока повышается их доля доходов в совокупном доходе населения. Это может происходить, однако, при различных уровнях неравенства (см. рис. 4).

Так, для дециля $D7$ максимум (10,7%) имеет место при $a = 1,21$ ($Gini \approx 22,7$); для дециля $D8$ максимум равен 12,2% при $a = 1,39$ ($Gini \approx 37$), и для дециля $D9$ максимум (15,2%) достигается при еще более высоком уровне неравенства, когда $a = 1,56$ ($Gini \approx 47$). У дециля $D6$ также имеет место максимум доли дохода (10,1%), но он достигается при очень низком уровне неравенства, характеризуемом показателем $a = 1,06$ ($Gini \approx 7,4$), т.е. при почти равном распределении дохода.

Отсюда следует, что некоторые представители наиболее богатого дециля СК ($D9$) могут быть заинтересованы в росте неравенства до достаточно высокого уровня, и даже препятствовать до определенного момента его снижению за счет увеличения ставки НДС (что типично для ряда чиновников, особенно верхнего уровня).

Большое значение имеет, как уже было сказано, и мобильность внутри СК, которую также следует учитывать. Например, в (Пишняк, 2020) приведены следующие данные о мобильности СК в России: в период 2015–2017 г. доля домохозяйств, стабильно принадлежавших обобщенному СК, составляла 51,7%; выбывших из него — 25,9% и вошедших в него — 22,4%, а в период 2000–2004 г. — 39,8, 25,6 и 34,7% соответственно. Также и в (Reeves, Kimberly, 2014) показано, что 39% детей, чьи родители находились в пятом квинтиле $Q5$, остались в этом же квинтиле, а 61% детей опустились в СК, и более бедные квинтили, после того как стали взрослыми. Аналогичные показатели составили для квинтиля $Q4$ —32 и 42% и для квинтиля $Q3$ —23 и 41% соответственно.

Поэтому следует учитывать также и общие показатели для нескольких слоев СК. Так, у двух верхних децилей ($D9$ и $D8$) совместная доля дохода будет максимальной при $a = 1,49$ ($Gini \approx 43$); у квинтиля $Q4$ (децили $D8$ и $D7$) — при $a \approx 1,3$ ($Gini \approx 30$); у трех децилей ($D9$, $D8$, $D7$) — при $a = 1,4$ ($Gini \approx 37,4$) и у четырех децилей ($D9$, $D8$, $D7$, $D6$) — при $a = 1,33$ ($Gini \approx 32,5$). Эти данные подтверждают значительное различие интересов этих слоев СК и свидетельствуют о том, что после превышения определенного уровня неравенства их представители могут стать более внимательными к его росту, ощущая его негативные последствия, и, соответственно, начать проявлять озабоченность ухудшением положения не только более бедных, но также и своего собственного. При этом у трех указанных выше последних групп СК уровень неравенства, соответствующий максимуму доли дохода, близок к тому, который имеет место в социально-ориентированных экономиках.

Таким образом, рост уровня неравенства может сдерживаться влиянием не только наиболее бедной части населения, но также противодействием этому со стороны определенных слоев СК. Особое внимание следует обратить при этом на четвертый квинтиль ($Q4$), максимум которого достигается при 1,3 ($Gini \approx 30$). Напомним, что в социально-ориентированных экономиках наличие значительных этических факторов противодействия росту неравенства способствует удержанию его на низком уровне, который характеризуется показателем неравенства в диапазоне $a = 1,25$ – $1,35$ или индексом $Gini$, примерно равным 25–34 (Варшавский, 2021).

Очевидно, в случае чрезмерного неравенства, когда его уровень становится выше определенного предела, СК начинает ощущать все негативные последствия снижения как своих доходов, так и доходов более бедных слоев населения и, соответственно, начинает на это реагировать.

Исторические события показывают, что, являясь источником стабильности, СК в то же время при высоком уровне неравенства, характеризуемого показателем неравенства a более 1,55–1,6 ($Gini \approx 47$ – 50), становился инициатором изменения ситуации для большей части населения в направлении сокращения неравенства. При этом решающую роль играли представители более образованных слоев СК (см. также (Alfani, 2019)).

В этой связи можно напомнить, что писали классики.

К. Маркс отмечал, что «главные меры, которые были предприняты Коммуной, были предприняты для спасения среднего класса — класса-должника Парижа от класса-кредитора» (Маркс, 1960).

Ф. Энгельс подчеркивал революционную роль среднего класса: «Когда Европа вышла из Средневековья, поднимавшийся городской средний класс был <...> революционным элементом... Развитие среднего класса, буржуазии, стало уже несовместимо с феодальной системой, поэтому феодальная система должна была пасть» (Энгельс, 1960).

В.И. Ленин в статье «Попытное движение в русской социал-демократии» выделял несколько средних слоев: слой передовых образованных рабочих, называя его «рабочей интеллигенцией», из которого выходят, как правило, рабочие лидеры; «широкий слой средних рабочих» и массу «низших слоев пролетариата»: «За численно небольшим слоем передовиков идет широкий слой средних рабочих. И эти рабочие жадно стремятся к социализму, принимают участие в рабочих кружках, читают социалистические газеты, участвуют в агитации» (Ленин, 1967).

Позже французский философ А. Бергсон отмечал: «Вообще инициатива в атаках против неравенства <...> явилась скорее сверху, из сферы лучше обеспеченных, а не снизу, как можно было бы ожидать, если бы действовали только классовые интересы. Так, именно буржуа, а не рабочие сыграли ведущую роль в революциях 1830 и 1848 годов, направленных (особенно вторая) против

привилегий, связанных с богатством. Позднее именно представители образованного класса потребовали образования для всех» (Бергсон, 1994).

Следует напомнить, однако, что революции всегда сопровождались большим числом человеческих жертв — по различным оценкам, их число в среднем составляло несколько процентов всего населения страны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, полученные с помощью модели на основе конечной функциональной последовательности результаты позволяют оценить зависимость доли в совокупном доходе СК в целом, а также его различных слоев от уровня неравенства доходов. Построенная диаграмма для оценки размеров СК при использовании медианного подхода может быть использована при разработке программы расширения размеров СК до уровня, наблюдаемого в социально-ориентированных экономиках.

В случае роста неравенства, когда его уровень становится выше определенного предела в результате безудержного стремления элиты к еще большему обогащению, СК в целом также начинает ощущать негативные последствия этого процесса и, соответственно, оказывает ему сопротивление. Являясь источником стабильности, СК в то же время при высоком уровне неравенства становится инициатором изменения ситуации для большей части населения в направлении сокращения неравенства, в том числе, как свидетельствует история развития человеческого общества, революционными методами.

Полученные результаты свидетельствуют об определенной стабильности доли дохода СК в целом и одновременно существенных различиях в изменении доли дохода его различных слоев в зависимости от уровня неравенства. При этом наиболее существенные различия наблюдаются у наиболее богатого дециля (D_9), доля дохода которого возрастает до достаточно высокого уровня неравенства ($Gini \approx 47$), что может способствовать нежеланию его отдельных представителей значительно увеличивать ставку НДФЛ на высокие доходы.

Эти особенности должны учитываться в России, где необходим переход к неравенству, типичному для социально-ориентированной экономики ($a \approx 1,3-1,35$; $Gini \approx 30-35$) для располагаемого дохода) на основе установления прогрессивной ставки НДФЛ и совершенствования системы налогового администрирования. При этом передача богатыми государству части своего высокого дохода с помощью прогрессивной ставки НДФЛ, характерной для социально-ориентированной экономики, должна морально поощряться. Особое внимание следует обратить на снижение пространственного неравенства, подъем СК во всех регионах, особенно на удаленных территориях, путем введения мер (территориальных надбавок и др.), применявшихся ранее в СССР.

Очевидно, переход к социально-ориентированной экономике будет способствовать решению демографической проблемы, а также ослабит стимулы уезжать из страны и увеличит число желающих в ней жить постоянно.

Следует еще раз напомнить слова Аристотеля: «Те государства имеют хороший строй, где средние представлены в большем количестве, где они — в лучшем случае — сильнее обеих крайностей или по крайней мере каждой из них в отдельности <...> Поэтому величайшим благополучием для государства является то, чтобы его граждане обладали собственностью средней, но достаточной <...> средний вид государственного строя наилучший, ибо только он не ведет к внутренним распрям; там, где средние граждане многочисленны, всего реже бывают среди граждан группировки и раздоры <...> Они должны жить в труде, так как не могут оставаться праздными» (Аристотель, 2016).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Аристотель** (2016). Политика. Пер. с древнегреч. С.А. Жебелева. М.: АСТ. [Aristotle (2016). *Politics*. Transl. from Ancient Greek by S.A. Zhebelev (in Russian).]
- Бергсон А.** (1994). Два источника морали и религии. Пер. с фр. М.: Канон. С. 304–305. [Bergson H. (1994). *The two sources of morality and religion*. Transl. from French. Moscow: Kanon, 304–305 (in Russian). Originally published in 1932 as “Les deux sources de la morale et de la religion”. Paris: F. Alcan.]
- Варшавский А.Е.** (2007). Значительное снижение неравенства доходов — важнейшее условие перехода к инновационной экономике, основанной на знаниях // *Экономика и математические методы*. Т. 43. № 4.

- С. 35–55. [Varshavsky A.E. (2007). Significant reduction of income inequality is the most important condition for the transition to an innovative economy based on knowledge. *Economics and Mathematical Methods*, 43, 4, 35–55 (in Russian).]
- Варшавский А.Е.** (2010). Проблемы взаимного изменения основных составляющих социальной стратификации при шоковых воздействиях // *Экономика и математические методы*. Т. 46. № 2. С. 3–22. [Varshavsky A.E. (2010). Problems of mutual changes of the main components of social stratification under the shocks. *Economics and Mathematical Methods*, 46, 2, 3–22 (in Russian).]
- Варшавский А.Е.** (2019). Чрезмерное неравенство доходов — проблемы и угрозы для России // *Социологические исследования*. Т. 10. № 19. С. 52–61. DOI: 10.31857/S013216250006136-2 [Varshavsky A.E. (2019). Excessive income inequality — problems and threats for Russia. *Sociological Studies (Socis)*, 10, 19, 52–61 (in Russian).]
- Варшавский А.Е.** (2020). Модель распределения доходов на основе конечной функциональной последовательности и ее применение для анализа неравенства // *Экономика и математические методы*. Т. 56. № 4. С. 20–31. [Varshavsky A.E. (2020). Model of income distribution on the basis of a finite functional sequence and its application for inequality analysis. *Economics and Mathematical Methods*, 56, 4, 20–31 (in Russian).]
- Варшавский А.Е.** (2021). Использование гармонических пропорций для обоснования справедливого уровня распределения доходов // *Экономика и математические методы*. Т. 57. № 3. С. 5–16. DOI: 10.31857/S042473880016407-6 [Varshavsky A.E. (2021). [Using harmonic proportions to justify fair level of the income distribution]. *Economics and Mathematical Methods*, 57, 3, 5–16 (in Russian).]
- Варшавский А.Е.** (2022). Модель для анализа неравенства доходов на основе конечной функциональной последовательности (проблемы адекватности и применения) // *Компьютерные исследования и моделирование*. Т. 14. № 3. С. 675–689. DOI: 10.20537/2076-7633-2022-14-3-675-689 [Varshavsky A.E. (2022). A model for analyzing income inequality based on a finite functional sequence (adequacy and application problems). *Computer Research and Modeling*, 14, 3, e675–e689. DOI: 10.20537/2076-7633-2022-14-3-675-689 (in Russian and in English).]
- Вебер М.** (2003). Сословие и классы // *Вестник МГУ. Серия 18. Социология и политология*. № 4. С. 141–148. [Weber M. (2003). Estate and classes. *Moscow State University Bulletin. Series 18. Sociology and Political Science*, 4, 141–148 (in Russian).]
- Григорьев Л.М., Салмина А.А., Кузина О.Е.** (2009). Российский средний класс: анализ структуры и финансового поведения. М.: Экон-Информ. [Grigoriev L.M., Salmina A.A., Kuzina O.E. (2009). *The Russian middle class: Analysis of structure and financial behavior*. Moscow: Ekon-Inform (in Russian).]
- Ленин В.И.** (1967). Полное собрание сочинений. Т. 4. С. 269, 270. [Lenin V.I. (1967). *The complete works*. Vol. 4, 269, 270 (in Russian).]
- Мареева С.В.** (2021). Представления среднего класса о неравенствах на фоне других россиян: консенсус или раскол? // *Социологические исследования*. № 1. С. 38–49. DOI: 10.31857/S013216250012166-5 [Mareeva S.V. (2021). Middle class perceptions of inequality compared to other Russians: Consensus or disagreement? *Sociological Studies (Socis)*, 1, 38–49. DOI: 10.31857/S013216250012166-5 (in Russian).]
- Мареева С.В.** (2017). Потребительское поведение средних слоев в условиях кризиса // *Журнал институциональных исследований*. Т. 9. № 1. С. 88–104. [Mareeva S.V. (2017). Consumer behavior of the middle layers in a crisis. *Journal of Institutional Studies*, 9, 1, 88–104 (in Russian).]
- Маркс К.** (1960). Первый набросок. — Коммуна. В кн.: «К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения». 2-е изд. Т. 17. С. 558–559. М.: Государственное издательство политической литературы. [Marx K. (1960). The first sketch. — Commune. In: K. Marx and F. Engels. *Essays*. 2nd ed. Vol. 17, 558–559 (in Russian).]
- Масионис Дж.** (2004). Социология. Пер. с англ.: З. Замчук, С. Комаров, А. Смирнов. 9-е изд. СПб.: Питер. 752 с. [Macionis J.J. (2004). *Sociology*. Saint Petersburg: Piter. 752 p. (in Russian). Originally published in 2003 by Upper Saddle River: Prentice Hall.]
- Матыцин М.С., Ершов Э.Б.** (2012). Исследование дифференциации российского населения по реальным доходам // *Экономический журнал ВШЭ*. Т. 16. № 3. С. 318–340. [Matytsin M.S., Ershov E.B. (2012). A study of the differentiation of the Russian population by real income. *HSE Economic Journal*, 16, 3, 318–340 (in Russian).]
- Овчарова Л.Н., Попова Д.О., Рудберг А.М.** (2016). Декомпозиция факторов неравенства доходов в современной России // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 3 (31). С. 170–185. [Ovcharova L.N., Popova D.O., Rutberg A.M. (2016). Decomposition of income inequality factors in modern Russia. *Journal of the New Economic Association*, 3 (31), 170–185 (in Russian).]
- Пикетти Т.** (2016). Капитал в XXI веке. Пер. с англ. А.А. Дунаев. М.: Ад Маргинем Пресс. [Piketty T. (2016). *Capital in the Twenty First Century*. Transl. from English by A.A. Dunaev. Moscow: Ad Marginem Press (in Russian). Originally published in 2013 “Le Capital au XXI^e siècle. Paris: Seuil.]
- Пишняк А.И.** (2020). Динамика численности и мобильность среднего класса в России в 2000–2017 гг. // *Мир России*. Т. 29. № 4. С. 57–84. DOI: 10.17323/1811-038X-2020-29-4-57-84 [Pishnyak A.I. (2020). Dynamics of

- the number and mobility of the middle class in Russia in 2000–2017. *Universe of Russia*, 29, 4, 57–84. DOI: 10.17323/1811-038X-2020-29-4-57-84 (in Russian).]
- Средний класс в современной России. Опыт многолетних исследований (2016). Под ред. М.К. Горшкова, Н.Е. Тихоновой. М.: Весь Мир. [*The middle class in modern Russia. Long-term research experience* (2016). M.K. Gorshkov, N.E. Tikhonova (gen. eds.). Moscow: Ves' Mir (in Russian).]
- Стиглиц Дж. (2013). Неравенство тормозит восстановление // *Мир перемен*. № 1. С. 60. [Stiglitz J. (2013). Inequality is holding back the recovery. *The World of Transformations*, 1, 60 (in Russian). Originally published in 2013, *The New York Times*, January 19.]
- Тихонова Н.Е., Лежнина Ю.П., Мареева С.В., Аникин В.А., Каравай А.В., Слободенюк Е.Д. (2018). Модель доходной стратификации российского общества: динамика, факторы, межстрановые сравнения. Под ред. Н.Е. Тихоновой. М., СПб.: Нестор-История. [Tikhonova N.E., Lezhnina Yu.P., Mareeva S.V., Anikin V.A., Karavai A.V., Slobodenyuk E.D. (2018). Model of income stratification of Russian society: Dynamics, factors, cross-country comparisons. N.E. Tikhonova (ed.). Moscow, Saint Petersburg: Nestor-Istorija (in Russian).]
- Тихонова Н.Е. (2020). Средний класс в фокусе экономического и социологического подходов: границы и внутренняя структура (на примере России) // *Мир России*. Т. 29. № 4. С. 34–56. DOI: 10.17323/1811-038X-2020-29-4-34-56 [Tikhonova N.E. (2020). The middle class in the focus of economic and sociological approaches: Borders and internal structure (on the example of Russia). *Universe of Russia*, 29, 4, 34–56. DOI: 10.17323/1811-038X-2020-29-4-34-56 (in Russian).]
- Формула успеха. Пресс-выпуск (2018). ВЦИОМ Новости. 19.10.2018. Режим доступа: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=9377> [The formula for success. Press release (2018). VCIOM News. 19.10.2018. Available at: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=9377> (in Russian).]
- Хвостик Е. (2016). Америка теряет свой средний класс // *Коммерсантъ*. 12.05.2016. [Khvostik E. (2016). America is losing its middle class. *Kommersant*, 12.05.2016 (in Russian).]
- Энгельс Ф. (1960). Предисловие к английскому изданию «Развитие социализма от утопии к науке». В кн.: «К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения». 2-е изд. Т. 22. [Engels F. (1960). Preface to the English edition of “The development of socialism from utopia to science”. In: “K. Marx and F. Engels. Essays”. 2nd ed. Vol. 22 (in Russian).]
- Alfani G. (2019). *Handbook of Cliometrics*. С. Diebolt, М. Hauptert (eds.). Springer Nature Switzerland, 1173–1201.
- America's shrinking middle class: A close look at changes within metropolitan areas* (2016). Pew Research Center, May 11. Available at: <https://www.pewresearch.org/social-trends/2016/05/11/americas-shrinking-middle-class-a-close-look-at-changes-within-metropolitan-areas/>
- Easterly W. (2000). The middle class consensus and economic development. *World Bank Policy Research Working Paper*, 2346.
- Elavia S. (2016). Pope Francis addresses income inequality in speech to congress. *FOX Business*, March 4. Available at: <https://www.foxbusiness.com/politics/pope-francis-addresses-income-inequality-in-speech-to-congress>
- Median income by country 2022 (2022). *World Populace*. May 24. Available at: <https://worldpopulace.com/median-income-by-country/>
- Novokmet F., Piketty T., Zucman G. (2017). From Soviets to oligarchs: Inequality and property in Russia, 1905–2016. *NBER Working Paper no. 23712*, August.
- OECD (2019). *Under pressure: The squeezed middle class*. Paris: OECD Publishing. DOI: 10.1787/689afed1-en
- Palma J.G. (2011). Homogeneous middles vs. heterogeneous tails, and the end of the ‘Inverted-U’: The share of the rich is what it’s all about. *Cambridge Working Papers in Economics (CWPE) 1111*. Cambridge: Cambridge University. Available at: <http://www.econ.cam.ac.uk/dae/repec/cam/pdf/cwpe1111.pdf>
- Palma J.G. (2014). Has the income share of the middle and upper-middle been stable over time, or is its current homogeneity across the world the outcome of a process of convergence? The ‘Palma Ratio’ revisited. *Cambridge Working Papers in Economics (CWPE) 1437*. Cambridge: University of Cambridge, Faculty of Economics.
- Reeves R.V., Kimberly H. (2014). *The glass floor: Education, downward mobility, and opportunity hoarding*. Washington, DC: Brookings Institution.
- Varshavsky A. (2009). A new model of income distribution based on polynomial with roots on the unit circle. 8th International Conference of the International Development Ethics Association (IDEA) on “Ethics of human development and global justice: Responsibilities of institutions and citizens for action on poverty”. F. Arenas-Dolz, L.C. Sanahuja, L. Palop, L. Giancristofaro(eds.). Valencia: Eiticadeldesarrollohumano y justicia global, 451–456. ISBN: 978-84-7642-791-0. Available at: <http://naullibres.com/libro/etica-del-desarrollo-humano-y-justicia-global>
- Varshavsky A. (2010). Assessing reasonable limits of inequality on the basis of a new model of income distribution. *Intellectual Economics*, 1 (7), 63–75. Available at: <https://www.mruni.eu/upload/iblock/451/Varshavsky.pdf>

The middle class: An analysis of the dependence of size on the level of income inequality

© 2023 A. E. Varshavsky

A. E. Varshavsky,

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences (CEMI RAS), Moscow, Russia;
e-mail: varshav@cemi.rssi.ru; varshavae@yandex.ru

Received 22.03.2023

Abstract. The article examines the dependence of the middle class size on the level of income inequality. For this purpose, the indicators that characterize the size of the middle class (the share of income of the middle class as a whole and the shares of its different strata) are analyzed. For this the analytical expressions were used which were found using the income distribution model based on the finite functional sequence that was developed by the author and described earlier in several articles. The results obtained in the work show a certain stability of the income share of the middle class as a whole in a rather wide range of the level of income inequality. At the same time, it is shown that there are significant differences in the dependence of the income shares of various middle class strata on the level of inequality. With the help of analytical expressions obtained on the basis of the developed model, a diagram is constructed for an approximate assessment of the middle class size depending on the level of income inequality. This diagram allows to estimate the size of the middle class for its various definitions in relation to the median income. Based on the results obtained, some variants of the possible reaction of the middle class as a whole and its individual strata to the increase in income inequality were considered. It is concluded that the middle class, being a source of stability, at the same time can become the initiator of the income inequality reduction when the inequality level is very high.

Keywords: middle class, inequality, income, distribution, indicator of inequality, golden ratio.

JEL Classification: D63, D31, D30, C51.

For reference: **Varshavsky A. E.** (2023). The middle class: An analysis of the dependence of size on the level of income inequality. *Economics and Mathematical Methods*, 59, 3, 42–55. DOI: 10.31857/S042473880026990-8 (in Russian).

Факторы формирования благоориентированной международной помощи развивающимся странам

© 2023 г. М.Д. Микитчук

М.Д. Микитчук,

ЦЭМИ РАН, ИШЭ МГУ, Москва; e-mail: mikitchuk_md@mail.ru

Поступила в редакцию 20.02.2023

Автор выражает благодарность научному руководителю академику РАН В.М. Полтеровичу за большое внимание к работе и поддержку, а также профессору Д. Фантаццини за ценные комментарии.

Аннотация. В статье впервые приводятся результаты межстранового исследования факторов формирования благоориентированной официальной помощи в целях развития (ОПР), под которой понимается помощь, направляемая донором без корыстного интереса с целью повышения благосостояния реципиента. На этапе предварительного анализа в работе была предложена новая мера благоориентированности, позволяющая исследовать трансферты донора в условиях смешивания мотивов. Последующий регрессионный анализ панельных данных 18 доноров Организации экономического сотрудничества и развития за 2010–2019 гг. показал, что наличие благоориентированного мотива обеспечивается прежде всего высокой степенью доверия, распространённостью альтруистического поведения в обществе и социально-экономическим благосостоянием страны-донора. Также есть основания утверждать, что дополнительными факторами осуществления благоориентированной помощи является демократическое устройство власти, толерантность граждан и удовлетворённость жизнью. Политическое участие населения косвенно влияет на мотивацию донора как фактор альтруизма. Также расчеты показали, что с увеличением подушевого ВВП донора могут усиливаться не только благоориентированные, но и корыстные мотивы ОПР, при этом другие факторы не демонстрируют интегрального эффекта такого рода. Полученные выводы подтверждают известные теоретические утверждения философии сотрудничества о возникновении и распространении коллаборативных отношений и позволяют их уточнить. Результаты настоящей работы могут быть использованы для усовершенствования принципов и механизмов предоставления международной помощи, а также для формирования прогнозов динамики благоориентированных трансфертов.

Ключевые слова: альтруизм, коллаборативные механизмы, благоориентированная помощь, философия сотрудничества, панельный анализ данных.

Классификация JEL: O19, B52, C53.

Для цитирования: Микитчук М.Д. (2023). Факторы формирования благоориентированной международной помощи развивающимся странам // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 3. С. 56–68. DOI: 10.31857/S042473880026991-9

1. ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на интенсификацию усилий, направленных на преодоление разрывов в социально-экономическом развитии регионов, проблема межстранового неравенства, несомненно, остается острой и актуальной. Одним из важных аспектов в данном вопросе является мотивация международной помощи. В исследованиях анализируются последствия различных мотивов доноров, приводятся многочисленные доказательства отрицательного влияния «связанной» помощи¹ на благосостояние реципиента (например, (Chimia, 2013)).

В данной работе впервые проводится межстрановое изучение факторов формирования «несвязанной» (в широком смысле), или благоориентированной, официальной помощи в целях развития

¹ «Связанная» помощь ('tied' aid) — помощь, ведущая к обогащению спонсора через эксплуатацию реципиента посредством контрактов, которые обязывают приобретать произведенные донором товары и услуги. Однако в литературе термин не ограничивается исключительно экономическим контекстом, поэтому здесь и далее под «связанной» помощью подразумевается помощь, способствующая удовлетворению (экономических, политических и иных) интересов страны-донора, и, соответственно, под «несвязанной» — помощь, совершенная из благоориентированных мотивов (без корыстного интереса, с намерением повысить благосостояние реципиента).

(далее — ОПР)². Для решения поставленной задачи предлагается исследовать международную помощь с позиции философии сотрудничества (Polterovich, 2017; Полтерович, 2018б), которая трактует благоориентированную ОПР в качестве коллаборативного механизма, обеспечивающего поступательное движение в направлении мира всеобщего благосостояния.

Выполненный на межстрановой выборке анализ показал фундаментальную роль альтруизма, обобщенного доверия и социально-экономического благосостояния донора в увеличении благоориентированных трансфертов. Новая постановка вопроса в проблематике исследования международной помощи может способствовать углублению представлений об эффективных механизмах предоставления ОПР.

2. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ

Задача изучения факторов формирования благоориентированной международной помощи является новой в исследовательской традиции, поэтому раздел посвящен описанию теоретических выводов, а также эмпирических результатов, близких к исследуемому вопросу.

2.1. Теоретические предпосылки философии сотрудничества

Согласно теории официальная помощь определена как коллаборативный механизм развития своего фундамента — феномена *альтруизма*, гарантирующего возможность и эффективность сотрудничества (Полтерович, 2018б). Наряду с альтруизмом исследователи предполагают определяющее влияние *совершенствования гражданской культуры*. Речь прежде всего о распространении толерантности и обобщенного доверия, а также о других проявлениях процессов интериоризации норм морали в обществе (Polterovich, 2017): неприятии неравенства, стремлении к построению долгосрочных стратегий, росте частной осознанности и ответственности (культуре индивидуализма в просоциальных формах³).

Помимо культурных изменений, формирование коллаборативных механизмов связывается с *технологическим развитием*, современные формы которого приводят к массовой децентрализации управления и согласованию интересов (Полтерович, 2018а; Полтерович, 2021). Такие выводы демонстрируют возможность косвенного воздействия инновационного прогресса на распространение «несвязанной» международной помощи — через социокультурные механизмы.

Кроме того, философия сотрудничества предполагает, что развитие коллаборативных отношений обеспечивается высоким уровнем *политического развития*. Согласно исследованиям становление демократии, несомненно, обеспечивает справедливость и, как правило, является закономерным продолжением совершенствования гражданской культуры. Однако при изучении демократического режима как фактора сотрудничества принципиально важно учитывать локальный контекст политического института и присутствие элемента консенсуса (Полтерович, 2018б).

В исследованиях выделяется еще один фактор формирования коллаборативных механизмов — *социально-экономическое благосостояние*. Теоретические работы ссылаются на эконометрический анализ зависимости показателей сотрудничества от компонент благосостояния (например, (Das, DiRienzo, Tiemann, 2008)). Детерминанта кажется естественной предпосылкой и в контексте определения благоориентированной помощи. Однако тестирование объемов ВВП и ВНД, которые оказались единственными показателями, исследованными в качестве факторов официальной помощи на эмпирическом уровне, не продемонстрировало значимых результатов (Adelman, Barnett, Riskin, 2016; Gulrajani, Calleja, 2019).

2.2. Альтруистическое поведение

Фундаментальная роль фактора альтруистического поведения в увеличении объемов «несвязанной» помощи обуславливает обращение к основным результатам исследования феномена в качестве социокультурной характеристики общества. Межстрановой анализ (Микитчук, 2022) выявил среди факторов формирования альтруистического поведения толерантность, социальное

² В данной работе под иностранной помощью понимается официальная помощь в целях развития, что обусловлено используемым эмпирическим материалом — его обширностью и полнотой, а также возможностью включать расчетные экспортные индексы, построенные на основе данных ОПР.

³ Важно заметить, что часть компонент культуры имеет двойственное влияние на развитие сотрудничества. Например, индивидуализм положительно воздействует только в созидательных формах — при гармонизации общественного и личного интереса. К такому же типу переменных относится и религиозное сознание.

благополучие, политическую активность и удовлетворенность жизнью, причем для развитых стран последние два показателя оказываются определяющими. Кроме того, приоритизация технологического развития является дополнительным⁴ фактором альтруизма для группы доноров с менее высокими показателями экономического благополучия и гражданской культуры; индивидуализм — для группы стран-лидеров по этим показателям; доверие — для всей выборки. Такие выводы показывают, что некоторые компоненты могут оказывать косвенное воздействие на рост благоориентированной ОПР через феномен альтруизма.

2.3. Особенности изучения мотивации помощи

Ряд эмпирических исследований посвящен проблеме идентификации мотива ОПР. В работе (Gulrajani, Calleja, 2019) приводится наиболее подробный анализ намерений доноров Организации экономического сотрудничества и развития (далее — ОЭСР). Авторы выделяют три крупных блока критериев, по которым определяется степень доминирования благоориентированного мотива над корыстным: помощь в соответствии с потребностями реципиента; помощь из общественных побуждений страны-донора; помощь из потребности в глобальном сотрудничестве. В первый блок входят объемы помощи самым бедным странам, мигрантам и беженцам, пострадавшим в конфликтах государствам, а также средства, перечисленные на борьбу с гендерным неравенством. Во второй — показатели сокращения экономически «связанной» помощи, уменьшения согласованности между ОПР и результатами голосований в ООН, падения экспорта вооружения и роста прямых потоков помощи реципиенту. В третий блок критериев включены показатели расширения перспектив международной торговли, предоставления помощи через институты многосторонних доноров, борьбы с последствиями изменения климата и стабилизации эпидемиологической обстановки.

В других эмпирических исследованиях показатель снижения объемов экономически «связанной» помощи изучается, как правило, через косвенные признаки. Так, например, тестируются объемы помощи странам с бедными ресурсами, отсутствие постоянного набора реципиентов, трансферты, выполненные в соответствии с программами международных организаций, объемы продовольственной помощи и помощи, направленной на содействие развитию социальной инфраструктуры и человеческого капитала, внедрение мягких условий кредитования, сохранение размеров помощи в кризисные периоды (см., например, (Морозкина, 2019; Дегтерев, 2016)).

Кроме того, вопрос дифференциации мотивов изучается с философско-методологической перспективы. Сложная организация института многосторонней помощи, широкий спектр разнообразных форм помощи и видов агентов-доноров, система мягкого права, вопрос целесообразности трансфертов нестабильным государствам, дискуссия о справедливых условиях кредитования значительно усложняют идентификацию благоориентированной помощи (Kanbur, 2004; Kaul, 1999; Arce, Sandler, 2002).

Таким образом, в работах, основанных на философии сотрудничества, представлен широкий набор возможных факторов формирования коллаборативных отношений — различных компонент экономического, институционального, культурного и технологического развития. Теоретические построения, как правило, детерминируют более общий, абстрактный объект — механизм сотрудничества. Определение факторов формирования его конкретной реализации — официальной помощи в целях развития — требует эмпирического анализа на межстрановой выборке с учетом сложной структуры исследуемого поля. В дальнейшем будут проверяться следующие гипотезы:

- альтруизм и интериоризация норм морали являются фундаментом развития института благоориентированной помощи для различных стран-доноров;
- уровень социально-экономического развития донора определяет наличие благоориентированного мотива ОПР;
- некоторые факторы формирования благоориентированной помощи могут воздействовать на объемы трансфертов косвенно (например, как факторы альтруизма) или интегрально, т.е. положительно влиять и на корыстные, и на бескорыстные трансферты.

⁴ Тестирование широкого набора показателей приводит к тому, что влияние части факторов элиминируется. В данном случае под дополнительными факторами подразумеваются показатели, которые не вошли в лучшие модели, но продемонстрировали значимость в менее статистически предпочтительных регрессиях.

3. ДАННЫЕ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Для проверки гипотез были взяты показатели социально-экономического и культурного развития 18 доноров за период 2010–2019 гг.: индексы, которые обсуждались в работах по философии сотрудничества и тестировались при анализе альтруистического поведения (Микитчук, 2022). Также в расчеты дополнительно включены данные ОЭСР и Исследовательской организации ODI (табл. 1). Размеры тестируемой выборки обусловлены структурой данных.

Таблица 1. Исследуемые переменные: обозначения, источники, пояснения

Индекс (название, источник)	Краткое обозначение	Пояснение
Всемирный индекс благотворительности, www.cafonline.org	<i>WGI</i>	Степень распространенности индивидуального альтруистического поведения в стране (расчетный показатель: более высокий балл соответствует большей склонности общества к альтруизму)
«Я считаю толерантность и уважение к другому человеку важными личностными качествами», www.worldvaluessurvey.org	<i>TOLERANCE</i>	Уровень толерантности в стране (опросы, % всех положительных ответов)
Индекс демократии, www.eiu.com	<i>DEMOCRACY</i>	Уровень развития демократии в стране с учетом фактора консенсуса (расчетный показатель: большему значению соответствует более высокий уровень развития демократии)
Явка на выборы, http://www.idea.int/	<i>VOTER</i>	Мера политической активности в стране (% населения, участвующего в выборах)
Расходы на исследования и разработки, hdr.undp.org	<i>RD</i>	Расходы на гражданские исследования и разработки (НИОКР) как доля ВВП, степень приоритизации инновационного развития
Расходы на социальное обеспечение, stats.oecd.org	<i>soc_GDP</i>	Расходы на социальное обслуживание и социальное обеспечение населения как доля ВВП, просоциальность политики
ВВП на душу населения, www.imf.org	<i>GDP_cap</i>	Уровень экономического благосостояния страны, долл. (базовый год — 2015 г.)
«Я доверяю незнакомому человеку», www.worldvaluessurvey.org	<i>TRUST</i>	Уровень обобщенного межличностного доверия в стране (опросы, % всех положительных ответов)
«Я считаю религию важной составляющей жизни», www.worldvaluessurvey.org	<i>RELIGION</i>	Мера религиозности общества (опросы, % всех положительных ответов)
«Я чувствую себя счастливым человеком», www.worldvaluessurvey.org	<i>HAPPINESS</i>	Степень удовлетворенности жизнью в стране, мера счастья (опросы, % всех положительных ответов)
«Я ощущаю себя частью местного сообщества», www.worldvaluessurvey.org	<i>COLLECTIVITY</i>	Степень индивидуальной причастности к местному сообществу, мера преваляирования коллективного над индивидуальным (опросы, % всех положительных ответов)
Социальное благосостояние, (Микитчук, 2022)	<i>soc_WELLBEING</i>	Мера социальной сбалансированности, расчетный показатель, образованный методом главных компонент из Индексов экономического и гендерного неравенства, а также Индекса человеческого капитала (расчетный показатель: большему значению соответствует более высокий уровень социального равенства и доступности к образованию и здравоохранению).
Чистая ОПР донора в процентах ВВП, data.oecd.org	<i>ODA</i>	Общий объем ОПР, который жертвует страна-донор всем реципиентам за 1 год, % ВВП донора
Помощь на развитие социальной инфраструктуры, data.oecd.org	<i>soc_ODA</i>	Объем ОПР, который жертвует страна-донор всем реципиентам за 1 год на развитие социальной инфраструктуры, % ВВП донора
Помощь самым бедным, data.oecd.org	<i>poorest_ODA</i>	Объем ОПР, который жертвует страна-донор всем самым бедным по классификации ОЭСР реципиентам, за 1 год, % ВВП донора
Двусторонняя помощь, data.oecd.org	<i>bilat_ODA</i>	Объем ОПР, который получает каждый реципиент от каждого донора за 1 год, долл. (базовый — 2018 г.)
Экономически «связанная» помощь, data.oecd.org	<i>tied_ODA</i>	Объем экономически «связанной» двусторонней ОПР, который осуществляет донор за 1 год по всему набору реципиентов, % общих объемов двусторонней ОПР
Индекс базовой помощи, odi.org	<i>PAI</i>	Оценка общего объема ОПР с учетом мотивации донора (расчетный показатель: более высокому значению соответствует большая степень преваляирования благоориентированности над корыстным интересом)

Источник: составлено автором.

Пропущенные значения в показателях восстанавливались линейной аппроксимацией. Индекс экономически «связанной» помощи, *tiéd_ODA*, полностью отсутствует для Норвегии и Великобритании, поэтому был включен только во вспомогательные расчеты. Показатель двусторонней помощи, *bilat_ODA*, характеризуется естественной дифференциацией стран-доноров в наборах реципиентов, в дальнейшем его значения используются только при составлении специального расчетного индекса на каждом множестве реципиентов в каждый такт времени отдельно.

Детального рассмотрения требует индекс базовой помощи (*PAI*), значения которого представлены более узким временным интервалом (2013–2018 гг.). *PAI* характеризуется существенными проблемами в методологии: используемый подход равнозначности показателей кажется крайне неубедительным, так как часть из них имеет общий характер (например, снижение «связанной» помощи), а часть отражает лишь специфику стратегий донора (например, борьба с гендерным неравенством). Также некоторые составляющие индекса характеризуются как неоднозначные, например, это касается показателя помощи мигрантам, к которому авторы не приводят необходимых пояснений относительно продолжительности предоставляемых трансфертов. Кроме того, наличие штрафов за «связанную» помощь не позволяет релевантно объяснить непосредственно благоориентированную «часть» ОПП, так как это уравнивает доноров с не щедрой, но бескорыстной помощью с донорами с интенсивными потоками и благоориентированной, и корыстной помощью.

В качестве альтернативы *PAI* предлагается использовать более простой и однозначный расчетный индекс, который позволяет составить ранжирование на весь исследуемый промежуток времени, а также учесть уровень благоориентированной помощи для разных типов доноров: осуществляющих ОПП преимущественно из корыстных побуждений; сочетающих «связанную» и «несвязанную» стратегии; тяготеющих к благоориентированным. Для формирования показателя было выбрано несколько подындексов *ODA*. Первый фактор отражает склонность донора *j* отдавать предпочтение в своей политике реципиентам *i* в зависимости от уровня их благосостояния:

$$F_i^j = \sum_{I_i^j} \left[(bilat_ODA_i) / \sum_{I_i^j} (bilat_ODA_i) \right] / (GDP_cap_i),$$

где I_i^j — множество реципиентов донора *j* в год *t*. В качестве второго, корректирующего, показателя был выбран процент валового национального дохода (далее — ВНД), который донор *j* отдает самым бедным по классификации ОЭСР странам, *poorest_ODA*. Третий показатель — процент ВНД донора, перечисляемый на развитие социального благосостояния реципиента, *soc_ODA*. Далее факторы были нормализованы по принципу минимаксного шкалирования. На основе средних (по стране-донору) значений данных трех показателей был сформирован Индекс благоориентированной помощи, *ODA_new*⁵. При дальнейшем исследовании бескорыстного мотива он использовался в качестве основной переменной.

Далее был выполнен корреляционный анализ (табл. 2). Показатели *WGI*, *ODA* и *ODA_new* продемонстрировали очень близкие коэффициенты корреляции с такими различными социально-экономическими факторами, как подушевой ВВП, религиозность, демократия, толерантность, доверие и счастье. Однако Всемирный индекс благотворительности показал слабую корреляцию с предлагаемым нами индексом благоориентированной помощи. Данные результаты не опровергают гипотезы о связи благоориентированной официальной помощи с альтруизмом, однако указывают на необходимость проверки латентных зависимостей и эффектов, а также на то, что явные и дополнительные факторы Всемирного индекса благотворительности требуют отдельного включения в уравнения помощи, наряду с самим *WGI*. Кроме того, относительно сильные положительные связи между социокультурными индексами в табл. 3 свидетельствуют о том, что влияние части переменных в регрессиях может быть нивелировано другими показателями — прежде всего это относится к индексам демократии, толерантности, счастья и доверия.

В предварительном анализе также необходимо обратить внимание на проблему двусторонней связи. Во-первых, влияние благоориентированного мотива на счастье индивидуума кажется естественным и находило некоторые подтверждения в литературе (например, (Aknin, Whillians, 2005)). Возможность обобщения данных результатов подтверждает эффект «теплого свечения», который характерен для разных форм помощи (например, (Steinberg, 1987)). Однако вопрос о том, насколько нелокальным является такое влияние, остается открытым. В связи с этим решение проблемы двусторонней связи было осуществлено наиболее простым неискажающим способом — сдвигом значений *HAPPINESS* на один временной такт назад (*HAPPINESS_shifted*). Во-вторых, также является

⁵ $\widehat{Corr}(PAI, ODA_new) = 0,7$.

Таблица 2. Индекс благоориентированной помощи (*ODA_new*)

Страна	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Австралия	0,29	0,26	0,25	0,27	0,29	0,33	0,24	0,18	0,15	0,14
Австрия	0,39	0,16	0,13	0,16	0,18	0,16	0,15	0,08	0,07	0,08
Великобритания	0,60	0,59	0,56	0,64	0,55	0,57	0,57	0,58	0,46	0,53
Германия	0,37	0,31	0,35	0,35	0,36	0,39	0,44	0,43	0,35	0,41
Дания	0,85	0,84	0,78	0,76	0,77	0,73	0,63	0,68	0,55	0,63
Исландия	0,58	0,50	0,55	0,67	0,61	0,58	0,53	0,46	0,51	0,51
Испания	0,33	0,18	0,16	0,09	0,14	0,00	0,00	0,09	0,10	0,05
Италия	0,16	0,35	0,16	0,14	0,12	0,24	0,22	0,13	0,19	0,17
Корея	0,28	0,16	0,17	0,30	0,24	0,30	0,28	0,18	0,14	0,18
Нидерланды	0,72	0,49	0,65	0,53	0,49	0,66	0,61	0,52	0,44	0,57
Новая Зеландия	0,20	0,15	0,15	0,17	0,19	0,30	0,22	0,14	0,11	0,16
Норвегия	0,79	0,63	0,56	0,70	0,75	0,85	0,85	0,80	0,75	0,80
США	0,43	0,40	0,37	0,34	0,34	0,37	0,38	0,33	0,28	0,29
Финляндия	0,60	0,49	0,43	0,48	0,51	0,55	0,43	0,34	0,30	0,37
Франция	0,25	0,29	0,23	0,27	0,25	0,33	0,30	0,24	0,19	0,31
Швейцария	0,60	0,54	0,51	0,59	0,63	0,59	0,68	0,64	0,64	0,53
Швеция	0,47	0,48	0,51	0,52	0,62	0,65	0,61	0,54	0,56	0,56
Япония	0,30	0,25	0,30	0,45	0,32	0,41	0,34	0,32	0,39	0,29

Источник: расчеты автора.

Таблица 3. Матрица корреляций (18 доноров, 2010–2019 гг.)

	<i>ODA</i>	<i>WGI</i>	<i>ODA_new</i>	<i>GDP_cap</i>	<i>RD</i>	<i>DEMOCRACY</i>	<i>COLLECTIVITY</i>	<i>TOLERANCE</i>	<i>VOTER</i>	<i>TRUST</i>	<i>HAPPINESS</i>	<i>RELIGION</i>	<i>soc_WELLBEING</i>	<i>soc_GDP</i>
<i>ODA</i>	1,0													
<i>WGI</i>	0,2	1,0												
<i>ODA_new</i>	0,7	0,2	1,0											
<i>GDP_cap</i>	0,4	0,3	0,6	1,0										
<i>RD</i>	0,0	-0,3	0,1	0,2	1,0									
<i>DEMOCRACY</i>	0,6	0,5	0,6	0,5	0,0	1,0								
<i>COLLECTIVITY</i>	-0,1	-0,3	-0,1	0,1	0,2	0,0	1,0							
<i>TOLERANCE</i>	0,6	0,4	0,6	0,5	-0,3	0,7	-0,2	1,0						
<i>VOTER</i>	0,3	0,3	0,0	-0,1	-0,2	0,3	-0,1	0,2	1,0					
<i>TRUST</i>	0,6	0,4	0,6	0,5	-0,1	0,8	-0,2	0,7	0,3	1,0				
<i>HAPPINESS</i>	0,4	0,3	0,4	0,3	-0,3	0,6	-0,1	0,6	0,1	0,5	1,0			
<i>RELIGION</i>	-0,5	-0,4	-0,4	-0,0	-0,1	-0,4	0,0	-0,5	-0,1	-0,3	-0,2	1,0		
<i>soc_WELLBEING</i>	0,4	-0,2	0,4	0,0	0,3	0,4	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	-0,7	1,0	
<i>soc_GDP</i>	0,3	-0,2	0,0	-0,1	-0,2	-0,0	-0,1	0,3	0,1	0,2	-0,2	-0,1	0,1	1,0

Источник: расчеты автора.

допустимым воздействие официального решения о предоставлении международной помощи на альтруизм как социокультурную характеристику общества (например, при помощи СМИ). Согласно психологическим исследованиям для альтруизма характерен эффект «подражательности» в благоориентированном поведении, что свидетельствует о возможности положительного влияния «несвязанной» помощи на распространение альтруистического поведения в обществе (Kolm, 2006). Кроме того, частная помощь может сокращаться из-за высоких пожертвований государства, так как индивидуумы предполагают, что жертвуют посредством налоговых отчислений. Противоположную

направленность эффектов косвенно подтверждают слабые связи между WGI и ODA_new ⁶. Поэтому в качестве основного подхода использовался сдвиг значений WGI на один шаг назад ($WGI_shifted$), в качестве дополнительного — тестирование объясненного WGI (WGI_hat).

Результаты предварительного исследования были использованы в дальнейшем регрессионном анализе.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Включение широкого набора факторов предопределило исследование незначительной выборки и, как следствие, — некоторую специфику расчетов. Во-первых, в анализе панельных данных при $T < 15$ допускается пропуск предварительного этапа тестирования на стационарность, кросс-секционную зависимость и т.д. (Song, Zhao, Zhang, 2022; Garin-Munoz, Perez-Amaral, Lopez, 2020). Необходимость отказа подтверждает и тот факт, что подавляющее большинство исследуемых предикторов характеризуется инерционностью значений в силу естественных причин: десятилетний промежуток слабо чувствителен к изменениям объектов, относящихся к категориям культуры. Во-вторых, выборка при малом T и малом N сужает методы поиска оценок до тестирования моделей пула и фиксированных эффектов. При исследовании различных значимых вариаций набора факторов предпочтительной моделью оказывается регрессия с фиксированными эффектами (согласно тесту Вальда). Однако инерционность предикторов приводит к тривиальным результатам в рамках моделей данного типа: коэффициент при факторе стремится к нулю, отражая его статичность. Для исследуемых данных предлагается тестировать только модели пула, которые позволяют сделать интерпретируемые выводы о зависимостях в межстрановом историческом контексте. Для наглядности представленных рассуждений приводится рис. 1.

Далее был проведен регрессионный анализ в соответствии с целями нашего исследования. Так как тестирование объемов официальной помощи требует предшествующего отделения благоориентированной составляющей, а регрессирование ODA_new не позволяет учесть положительного влияния одних и тех же предикторов как на благоориентированную, так и на корыстную ОПР, сначала был осуществлен анализ общих объемов ОПР, а затем тестирование благоориентированных трансфертов.

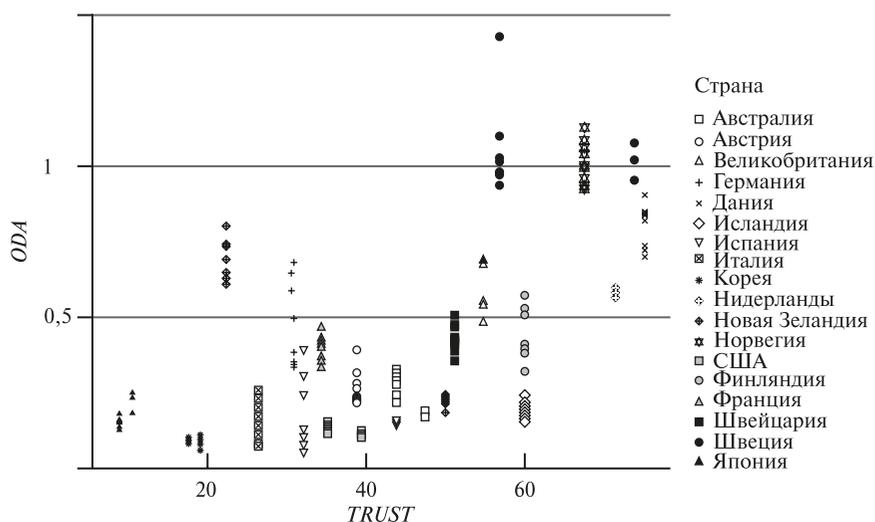


Рис. 1. Зависимость общих объемов помощи (ODA) от индекса обобщенного доверия ($TRUST$)

Источник: расчеты автора.

⁶ Корреляции между показателями официальной помощи (ODA , ODA_new) и объемами частных трансфертов в целях развития, нормированными на ВВП (<https://data.oecd.org/>), также показали нулевые значения.

На промежуточном этапе, при **регрессировании ODA**, использовался сравнительный подход при инструментальном контроле статистических характеристик дисперсии случайной ошибки⁷ (табл. 4). Данный метод позволил выявить те переменные, которые обеспечивают однородность выборки в рамках поставленной задачи и предполагаемо учитывают факторы, объясняющие в том числе мотивацию.

В первую очередь для уравнений ОПР исследовались все возможные с теоретической точки зрения регрессоры (модель 1). Далее был рассмотрен ряд «урезанных» спецификаций модели 1 и найдена единственная конфигурация набора предикторов (модель 2), которая демонстрирует гомоскедастичность регрессии при статистической значимости всех факторов. Таким образом, можно утверждать, что социально-экономическое благосостояние донора, уровень политической активности, удовлетворенности жизнью и религиозности общества обеспечивают однородность выборки, т.е. гарантируют в статистическом смысле объяснение общих объемов официальной помощи, включая латентную составляющую — мотивацию. При исключении любой переменной из данного набора в регрессии появляется гетероскедастичность (например, модели 4 и 5), кроме того, значительно возрастает информационный критерий Акаике.

Важно дополнительно рассмотреть факторы, которые не вошли в модель 2. Приоритизация инновационного развития и индекс, характеризующий меру причастности к сообществу, вероятно, действительно не влияют на рост *общих* объемов ОПР, что подтверждается результатами корреляционного анализа (см. табл. 3). Влияние демократии, доверия, толерантности может быть элиминировано индексом счастья ввиду достаточно сильной корреляции переменных. В данном случае можно выдвинуть гипотезу о том, что факторы являются дополнительными предикторами⁸. Первоначально исключенный Всемирный индекс благотворительности был дополнительно исследован в модели 3. Обратный знак не согласуется с результатами корреляционного анализа. Данный эффект возникает из-за сложной структуры исследуемого поля: в модели 2 значимыми регрессорами выступают *HAPPINESS_shifted* и *VOTER* — факторы *WGI* для исследуемого набора доноров.

Далее были протестированы регрессии с включением расчетного Всемирного индекса благотворительности, *WGI_hat*. Фактор был объяснен в соответствии с результатами работы (Микитчук, 2022):

$$WGI_hat = 0,152VOTER^{***} + 1,027HAPPINESS_shifted^* - 62,171^{***}.$$

При включении переменной *WGI_hat* индекс *HAPPINESS_shifted* намеренно опускался, так как расчетные значения Всемирного индекса благотворительности и счастья имеют высокие значения корреляции (0,9). Полученная из модели 6 спецификация, модель 7, подтвердила предыдущие выводы. Был выявлен аналогичный модели 2 набор факторов, обеспечивающих однородность наблюдений в рамках заданного уравнения: расчетные значения Всемирного индекса благотворительности заменили политическое участие и удовлетворенность жизнью, продемонстрировав в модели положительный знак. При этом характеристики моделей 2 и 7 остаются близкими: уравнение с *HAPPINESS_shifted* и *VOTER* демонстрирует незначительную статистическую предпочтительность по критерию AIC⁹, регрессия с *WGI_hat* характеризуется меньшими значениями VIF-теста.

Таким образом, относительные *общие* объемы официальной помощи определены социально-экономическим благосостоянием донора, а также просоциальным дискурсом внутренней политики, уровнем религиозности и альтруизма (или набором его факторов). При этом неясно, все ли переменные определяют благоориентированную составляющую ОПР и есть ли другие факторы бескорыстных трансфертов, эффект которых незначим в уравнениях общих объемов (табл. 4).

⁷ Из-за статичности показателей для оценки гетероскедастичности и мультиколлинеарности использовались тесты, не учитывающие панельной структуры.

⁸ Действительно, при тестировании данных переменных в модели 2 вместо *HAPPINESS* они остаются значимыми факторами, однако статистическое качество моделей становится хуже. Необходимо заметить, что решение проблемы сильной связи предикторов методом главных компонент видится сложным в интерпретационном ключе, при этом детерминация счастья требует отдельного исследования, которое, насколько нам известно, не было выполнено для группы развитых стран.

⁹ При предположении о том, что альтруизм или набор его факторов объясняет именно мотивацию, данный результат можно интерпретировать так, что показатели удовлетворенности жизнью и политической активности населения выступают обобщенными детерминантами сотрудничества для развитых экономик, т.е. способствуют как росту благоориентированной помощи, так и распространению альтруизма. Таким образом, влияние альтруизма на рост «несвязанной» помощи имеет уже второстепенный и, возможно, более сложный характер. Гипотеза будет рассмотрена при дальнейшем анализе.

Таблица 4. Оценки моделей панельных регрессий для общих объемов ОПР

Переменная	Модель пула						
	1	2	3	4	5	6	7
	Тестирование набора основных факторов для ODA	Последовательное исключение переменных из модели 1	Дополнительное тестирование переменной WGI	Исключение из модели 2 фактора GDP_cap (пример)	Исключение из модели 2 фактора VOTER (пример)	Тестирование набора основных факторов для ODA с WGI_hat	Последовательное исключение переменных из модели 6
<i>WGI_shifted</i>	-0,002 (0,001)		-0,002 (0,001)				
<i>WGI_hat</i>						0,017*** (0,005)	0,024*** (0,003)
<i>GDP_cap</i>	0,014*** (0,003)	0,014*** (0,001)	0,015*** (0,001)		0,013*** (0,002)	0,013*** (0,003)	0,013*** (0,002)
<i>RD</i>	0,004 (0,021)					0,009 (0,021)	
<i>DEMOCRACY</i>	0,028 (0,053)					0,004 (0,051)	
<i>COLLECTIVITY</i>	-0,001 (0,002)					-0,001 (0,002)	
<i>TOLERANCE</i>	-0,001 (0,003)					-0,001 (0,003)	
<i>VOTER</i>	0,006*** (0,001)	0,007*** (0,001)	0,007*** (0,001)	0,007*** (0,001)		0,003* (0,001)	
<i>TRUST</i>	0,001 (0,001)					0,002 (0,001)	
<i>HAPPINESS_shifted</i>	0,017*** (0,005)	0,018*** (0,003)	0,020*** (0,004)	0,028*** (0,004)	0,023*** (0,004)		
<i>RELIGION</i>	-0,004* (0,002)	-0,003* (0,001)	-0,003* (0,001)	-0,003 (0,002)	-0,004* (0,001)	-0,004* (0,002)	-0,003* (0,001)
<i>soc_WELLBEING</i>	0,054** (0,019)	0,070*** (0,015)	0,066*** (0,015)	0,074*** (0,018)	0,069*** (0,016)	0,062** (0,019)	0,071*** (0,015)
<i>soc_GDP</i>	0,016*** (0,003)	0,017*** (0,002)	0,016*** (0,002)	0,005*** (0,001)	0,018*** (0,002)	0,016*** (0,003)	0,018*** (0,002)
Константа	-2,938*** (0,539)	-3,264*** (0,398)	-3,289*** (0,399)	-3,347*** (0,477)	-3,098*** (0,430)	-1,958*** (0,037)	-2,077*** (0,242)
Наблюдения	N = 18, T = 10						
R ²	0,63	0,64	0,64	0,49	0,57	0,63	0,63
F-статистика / p-value	26,58/0,0	52,98/0,0	45,68/0,0	33,67/0,0	49,12/0,0	28,69/0,0	52,98/0,0
AIC (информационный критерий Акаике)	-111,24	-118,70	-118,07	-54,79	-91,43	-110,52	-113,44
VIF (коэффициент инфляции дисперсии)	< 8	< 2	< 2	< 2	< 2	< 7	< 1,5
Тест Бройша–Пагана / p-value	(+) / 0,01	(-) / 0,06	(-) / 0,93	(+) / 0,00	(+) / 0,00	(+) / 0,02	(-) / 0,06

Примечание. Зависимая переменная — *ODA_new*. В таблице символами «***», «**», «*» отмечены оценки, значимые на уровне 1, 5 и 10% соответственно; «(+)» — наличие гетероскедастичности в модели; «(-)» — гомоскедастичность модели; в скобках указано значение стандартной ошибки для коэффициентов регрессии; через символ «/» приводится значение p-value для статистических тестов.

Источник: расчеты автора.

Для решения данных вопросов был выполнен второй шаг исследования — анализ благоориентированной составляющей помощи, *ODA_new* (табл. 5). Ее значения таким же образом были отдельно протестированы на сдвинутые на один временной такт значения Всемирного индекса благотворительности, *WGI_shifted*, и на расчетные значения индекса, *WGI_hat*, при исключении *HAPPINESS_shifted*.

Таблица 5. Оценки моделей панельных регрессий для благоориентированной международной помощи

Переменная	Модель пула					
	8	9	10	11	12	13
	Тестирование набора основных факторов для <i>ODA_new</i>	Последовательное исключение переменных из модели 8	Тестирование Модели 9 без <i>WGI_shifted</i>	Тестирование набора основных факторов для <i>ODA_new</i> с <i>WGI_hat</i>	Последовательное исключение переменных из модели 11	Дополнительное тестирование <i>WGI_hat</i> вместо <i>TRUST</i>
<i>WGI_shifted</i>	-0,004** (0,001)	-0,002* (0,001)				
<i>WGI_hat</i>				0,008 (0,004)		0,011*** (0,002)
<i>GDP_cap</i>	0,016*** (0,002)	0,011*** (0,001)	0,010*** (0,001)	0,011*** (0,002)	0,010*** (0,001)	0,013*** (0,001)
<i>RD</i>	0,004 (0,017)			0,008 (0,017)		
<i>DEMOCRACY</i>	0,043 (0,042)			0,007 (0,041)		
<i>COLLECTIVITY</i>	-0,004** (0,001)	-0,003* (0,001)		-0,002 (0,001)		-0,003** (0,001)
<i>TOLERANCE</i>	-0,000 (0,002)			-0,001 (0,002)		
<i>VOTER</i>	0,000 (0,001)			-0,001 (0,001)		
<i>TRUST</i>	0,003* (0,001)	0,004*** (0,001)	0,003*** (0,001)	0,003* (0,001)	0,004*** (0,001)	
<i>HAPPINESS_shifted</i>	0,006 0,004		0,007* (0,003)			
<i>RELIGION</i>	-0,002 (0,001)			-0,002 (0,001)		
<i>soc_WELLBEING</i>	0,031* (0,016)	0,055*** (0,009)	0,059*** (0,009)	0,045** (0,015)	0,058*** (0,010)	0,066*** (0,009)
<i>soc_GDP</i>	-0,000 (0,002)			0,000 (0,002)		
Константа	-0,898* (0,426)	-0,475** (0,151)	-1,369*** (0,301)	-0,594*** (0,295)	-0,749*** (0,099)	-0,998*** (0,172)
Наблюдения	<i>N</i> = 18, <i>T</i> = 10					
R ²	0,57	0,56	0,56	0,55	0,56	0,53
F-статистика / p-value	20,83 / 0,0	46,66 / 0,0	57,95 / 0,0	21,31 / 0,0	74,11 / 0,0	52,44 / 0,0
AIC (информационный критерий Акаике)	-196,40	-196,28	-194,55	-188,97	-197,75	-187,54
VIF (коэффициент инфляции дисперсии)	< 7	< 2	< 2	< 7	< 1,5	< 1,1
Тест Бройша–Пагана / p-value	(-) / 0,06	(-) / 0,42	(-) / 0,69	(-) / 0,16	(-) / 0,76	(-) / 0,68

Примечание. Зависимая переменная — *ODA_new*. В таблице символами «***», «**», «*» отмечены оценки, значимые на уровне 1, 5 и 10% соответственно; «(+)-» — наличие гетероскедастичности в модели; «(-)-» — гомоскедастичность модели; в скобках указано значение стандартной ошибки для коэффициентов регрессии; через символ «/» приводится значение p-value для статистических тестов.

Источник: расчеты автора.

Модель 10 показала, что на рост благоориентированной помощи значимо влияют подушевой ВВП, социальное благосостояние, удовлетворенность жизнью и доверие. Модель 13 выявила в качестве значимых факторов альтруизм (объясненный через политическое участие и счастье), социальное благосостояние, ВВП на душу и ощущение причастности к местному сообществу.

При сравнении различных спецификаций можно заметить, что в данном случае альтруизм заменяет не только свой явный фактор — счастье, но также и дополнительный — уровень обобщенного доверия. При этом *VOTER* становится незначимым при объяснении благоориентированной помощи в отличие от моделирования общих объемов (модель 2). Это может быть интерпретировано так, что уровень политического участия влияет на формирование «несвязанной» помощи косвенно — как фактор альтруизма. Кроме того, при включении в уравнения *WGI_hat* приобретает значимость переменная *COLLECTIVITY* с отрицательным знаком, т.е. добавление индекса причастности к сообществу обеспечивает статистически приемлемые характеристики модели с *WGI_hat*. Этот факт может свидетельствовать о том, что в качестве ключевого фактора благоориентированной помощи выступает не альтруизм, а интегральная характеристика — распространенность альтруистического поведения при развитии индивидуалистическом самосознании.

Однако предпочтительным уравнением по статистическим тестам оказалась модель 12, с переменной *TRUST*. Таким образом, можно утверждать, что социально-экономическое благосостояние и уровень обобщенного доверия являются первостепенными факторами формирования «несвязанной» помощи. Это подтверждает предположение о том, что индекс благоориентированной помощи и Всемирный индекс благотворительности определены некоторым набором общих факторов сотрудничества и что влияние *WGI* на рост бескорыстных трансфертов может иметь в некотором смысле вторичный характер для рассматриваемого набора доноров.

Тем не менее, регрессионный анализ показал, во-первых, значимость роли такой социокультурной характеристики общества, как альтруизм, и набора его предикторов — политического участия, обобщенного доверия, индивидуализма и счастья, а также, вероятно, толерантности и демократии (как дополнительных факторов). При этом ясно, что именно обобщенное доверие увеличивает благоориентированную помощь не только косвенно, через распространение альтруистического поведения в обществе, но и непосредственно — демонстрируя прямые эффекты.

Межстрановой анализ обнаружил, что социально-экономическое благосостояние — действительно необходимый фактор увеличения благоориентированной помощи. Однако значимость данных индексов в регрессиях, объясняющих общие объемы, и рассуждения на качественном уровне порождают гипотезу о том, что показатели могут способствовать увеличению в том числе и «связанной» помощи. В частности, один из экономических лидеров, США, характеризуется высоким уровнем корыстных трансфертов (OECD, 2018). В качестве проверки утверждения был посчитан корреляционный ряд для экономически «связанной» помощи (табл. 6). Согласно предыдущим расчетам переменная *GDP_cap* демонстрировала высокие положительные значения корреляции с *ODA_new*; в данном корреляционном ряде она показывает почти нулевые коэффициенты с *tied_ODA*. Вероятно, что при некоторых условиях (например, добавлении политических корыстных мотивов) подушевой ВВП может положительно воздействовать на «связанную» помощь. При этом корреляционный анализ отвергает неоднозначность влияния других показателей. То есть факторы *ODA*, отсутствующие в уравнениях *ODA_new*, не следует априорно относить к детерминантам корыстной помощи. Несовпадение в наборах регрессоров *ODA* и *ODA_new* свидетельствуют лишь о наличии эффектов, которые находятся вне исследования (например, объясняющих межстрановую дифференциацию распределений между прямыми потоками помощи и помощи через многосторонних доноров).

Таблица 6. Корреляции для *tied_ODA* (16 доноров, 2010–2019 гг.)

	<i>ODA</i>	<i>WGI</i>	<i>ODA_new</i>	<i>GDP_cap</i>	<i>RD</i>	<i>DEMOCRACY</i>	<i>COLLECTIVITY</i>	<i>TOLERANCE</i>	<i>VOTER</i>	<i>TRUST</i>	<i>HAPPINESS</i>	<i>RELIGION</i>	<i>soc_WELLBEING</i>	<i>soc_GDP</i>
<i>tied_ODA</i>	-0,5	-0,2	-0,3	-0,1	0,3	-0,5	0,2	-0,6	-0,3	-0,4	-0,2	0,5	-0,4	-0,3

Источник: расчеты автора.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, эконометрические расчеты, выполненные в соответствии с подходом философии сотрудничества, впервые позволили исследовать благоориентированную помощь развивающимся странам в качестве коллаборативного механизма.

В предварительном анализе была предложена новая мера благоориентированности доноров, которая позволила провести исследование факторов на межстрановом уровне. Кроме того, на промежуточном этапе расчетов удалось обнаружить набор предикторов, полностью (в статистическом смысле) объясняющий относительные общие объемы помощи: это — подушевой ВВП, социальное благосостояние, просоциальная политика государства, религиозность общества, удовлетворенность жизнью и уровень политического участия в стране.

Результаты регрессионного анализа «несвязанной» помощи подтвердили известные выводы философии сотрудничества: ключевыми факторами благоориентированного мотива являются прежде всего обобщенное доверие и распространенность альтруистического поведения в обществе, а также уровень социального благосостояния донора. Экономическое развитие, несмотря на то что, наиболее вероятно, является фактором увеличения «связанной» помощи — также необходимое условие формирования благоориентированных трансфертов.

Исследование взаимосвязанных предикторов на общей выборке показало, что часть переменных влияет на благоориентированную помощь неявно, среди дополнительных факторов — толерантность, демократия и счастье. Кроме того, на мотивацию донора влияют политическое участие как фактор альтруистического поведения. Также анализ продемонстрировал особую, фундаментальную роль доверия в обществе, которое, вероятно, является компонентой, обеспечивающей не только благоориентированность ОНР, но и сотрудничество в целом. При этом значимость воздействия другого ключевого фактора, альтруизма, требует наложения дополнительных социокультурных условий (соотношения индивидуального и коллективного в обществе).

Полученные результаты могут быть использованы для расширения представлений об условиях эффективности трансфертов, а также применены для прогнозирования динамики благоориентированной помощи и, соответственно, последующей корректировки стратегий доноров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Дегтерев Д.А.** (2016). Содействие международному развитию: Эволюция международно-правовых режимов и эффективность внешней помощи. М.: Ленанд. [**Degterev D.A.** (2013). *International development assistance: Evolution of international legal regimes and effectiveness of foreign aid*. Moscow: Lenand (in Russian).]
- Микитчук М.Д.** (2022). Факторы формирования альтруистического поведения // *Экономика и математические методы*. Т. 58. № 3. С. 28–44. [**Mikitchuk M.D.** (2022). Socio-economic determinants of altruistic behavior. *Economics and Mathematical Methods*, 58, 3, 28–44 (in Russian).]
- Морозкина А.К.** (2019). Официальная помощь в целях развития: тенденция последнего десятилетия // *Мировая экономика и международные отношения*. Т. 63. № 9. С. 86–92. [**Morozkina A.K.** (2019). Official development aid: Trends of the last decade. *World Economy and International Relations*, 63, 9, 86–92 (in Russian).]
- Полтерович В.М.** (2018а). Интернет, гражданская культура и эволюция механизмов координации // *Вестник ЦЭМИ РАН*. Т. 1. № 1. Режим доступа: <https://cemi.jes.su/s1111111000010-251> [**Polterovich V.M.** (2018a). Internet, civic culture and the evolution of coordination mechanisms. *Herald of CEMI*, 1, 1. Available at: <https://cemi.jes.su/s1111111000010-251> (in Russian).]
- Полтерович В.М.** (2018б). К общей теории социально-экономического развития. Часть 2. Эволюция механизмов координации // *Вопросы экономики*. № 12. С. 77–102. [**Polterovich V.M.** (2018b). Towards a general theory of socio-economic development. Part 2. Evolution of coordination mechanisms. *Voprosy Ekonomiki*, 12, 77–102 (in Russian).]
- Полтерович В.М.** (2021). Коллаборативные иерархии // *Вопросы экономики*. № 7. С. 31–48. [**Polterovich V.M.** (2021). Collaborative hierarchies. *Voprosy Ekonomiki*, 7, 31–48 (in Russian).]
- Adelman C., Barnett J.N., Riskin E.** (2016). *Index of global philanthropy and remittances*. Available at: <https://s3.amazonaws.com/media.hudson.org/files/publications/201703IndexofGlobalPhilanthropyandRemittances2016.pdf>
- Aknin L.B., Whillians A.V.** (2021). Helping and happiness: A review and guide for public policy. *Social Issues and Policy Review*, 15, 1, 3–34.

- Arce M.D.G., Sandler T. (2002). *Regional public goods: Typologies, provision, financing and development assistance*. Stockholm: Almqvist and Wiksell International.
- Chimia A.L. (2013). *Tied aid and development aid procurement in the framework of EU and WTO Law: The imperative for change*. Oxford: Hart Publisher.
- Das J., DiRienzo C., Tiemann Th. (2008). A global tolerance index. *Competitiveness Review: An International Business Journal*, 18, 3, 192–205.
- Garin-Munoz T., Perez-Amaral T., Lopez R. (2020). Consumer engagement in e-tourism: Micro-panel data models for the case of Spain. *Tourism Economics*, 26, 6, 1–20.
- Gulrajani L., Calleja R. (2019). *The principled aid index: Understanding donor motivations*. Available at: <https://principled-aid-index.odi.digital>
- Kanbur R. (2004). *Cross-border externalities and international public goods: Implications for aid agencies. Global tensions: Challenges and opportunities in the world economy*. London: Routledge.
- Kaul I., Grunberg I., Stern M.A. (1999). *Global public goods: International cooperation in the 21st century*. New York: Oxford University Press.
- Kolm S.-Ch. (2006). The structure of non-altruistic giving. In: S.-Ch. Kolm, M.J. Ythier. *Handbook of the economics of giving, altruism and reciprocity*. Vol. 1. Amsterdam: North-Holland Publ. Co., Elsevier.
- OECD (2018). *Report on the DAC untying recommendations*. Available at: [https://www.oecd.org/dac/financing-sustainable-development/development-finance-standards/DCD-DAC\(2018\)12-REV2.en.pdf](https://www.oecd.org/dac/financing-sustainable-development/development-finance-standards/DCD-DAC(2018)12-REV2.en.pdf)
- Polterovich V. (2017). Positive collaboration: Factors and mechanisms of evolution. *Russian Journal of Economics*, 3, 24–41.
- Song B., Zhao J., Zhang P. (2022). A study on factors influencing the efficiency of rural agriculture financial support in China. *Sustainability*, 14, 1–13. DOI: 10.3390/su142214954
- Steinberg R. (1987). Voluntary donations and public expenditures in a federalist system. *American Economic Review*, 77, 24–36.

Determinants of official benefit-oriented aid to developing countries

© 2023 M.D. Mikitchuk

M.D. Mikitchuk,

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow School of Economics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; e-mail: mikitchuk_md@mail.ru

Received 20.02.2023

The author expresses gratitude to the scientific supervisor, Academician of the Russian Academy of Sciences V.M. Polterovich for his great attention and support, as well as to Professor D. Fantazzini for valuable comments.

Abstract. The article presents the pioneer cross-country study results of the formation factors of benefit-oriented official development assistance (ODA), which is defined as aid sent by a donor disinterestedly and in order to improve the welfare of the recipient. In the preliminary data review an original measure of benefit-oriented assistance is proposed, which allows to study transfers in conditions of mixing motives. Subsequent regression analysis of panel data on 18 donors of the Organization for Economic Co-operation and Development for 2010–2019 shows that a benefit-oriented motive is primarily ensured by a high degree of trust, the prevalence of altruistic behavior in society and the socio-economic welfare of the donor country. There is evidence to suggest that ancillary factors of disinterested assistance are the democratic government structure, tolerance and life satisfaction; in addition, political participation as a factor of altruism has an indirect effect on the motivation of the donor. Calculations also show that an increase in the per capita GDP of the donor can contribute to both benefit-oriented and selfish motives of ODA, while other factors do not demonstrate a similar integral effect. The results obtained confirm and clarify the theoretical conclusions of the philosophy of collaboration regarding the genesis and dissemination of collaborative relationships. These findings can be used to improve the principles and mechanisms of international assistance as well as to forecast the dynamics of benefit-oriented transfers.

Keywords: altruism, collaborative mechanisms, benefit-oriented aid, philosophy of collaboration, panel data analysis.

JEL Classification: O19, B52, C53.

For reference: Mikitchuk M.D. (2023). Determinants of official benefit-oriented aid to developing countries. *Economics and Mathematical Methods*, 59, 3, 56–68. DOI: 10.31857/S042473880026991-9 (in Russian).

Managing the prime rate to counter the cyclic income contraction

© 2023 V.A. Karmalita

V.A. Karmalita,

Private consultant; Canada; e-mail: karmalita@videotron.ca

Received 24.05.2022

Abstract. This article proposes an approach to formalize the quantitative relationship between increments of the prime rate and income. Such knowledge provides the possibility of income management according certain prefixed goals. Furthermore, this article considers the possibility of parrying the cyclical decline in income via a corresponding reduction of the prime rate. A management strategy based on the established functional relationship between investments and the prime rate is proposed. It is shown that if the long-term investment trend is inversely proportional to the prime rate, then the trajectory of the concerned cycle depends on the square root of the prime rate. Consequently, its change leads to the divergence of investment component values. This fact provides the basis for developing an approach to parry the cycle contraction. The cycle model in the form of random oscillations of an elastic system under the influence of white noise provides a quantitative estimate of the variation in the prime rate, which in turn, yields the required change in the value of income. Since the considered approach is based on the most probable trajectory of the cycle, the resulting expressions will also lead to the most probable estimates. The applicability of the proposed approach to the analysis of the cycle behavior is demonstrated by the example of current deviations in US income.

Keywords: investments, cycle trajectory, cyclic contraction, managing prime rate.

JEL Classification: C22, C41, C53, C58.

For reference: **Karmalita V.A.** (2023). Managing the prime rate to counter the cyclic income contraction. *Economics and Mathematical Methods*, 59, 3, 69–76. DOI: 10.31857/S042473880026992-0

1. INTRODUCTION

In the seminal work of modern business cycle theory (Kydland, Prescott, 1982), as well as in subsequent ones (see, for example, (Kehoe, Midrigan, Pastorino, 2018)), the question of the “driving force” of cycles was always arising. Usually, some shocks were mentioned as a response to it, but the nature and cause of shocks were not formalized (Golosov, Menzio, 2020). This means that the mechanism of economic cycles, as well as its formal (mathematical) model in the framework of the modern theory of economic cycles, were not clearly defined. However, economists’ references to external shocks as the “driving force” of fluctuations in economic systems make possible to classify them as elastic ones. Recall that an elastic system, after the impact of an external shock, generates free oscillations with an exponentially decaying amplitude relative to the equilibrium state (Bolotin, 1984). Based on these considerations, a one-dimensional lumped model of the “investment → income” type was proposed in the form of a second-order nonlinear differential equation (Karmalita, 2020):

$$F(t, I, \ddot{X}, \dot{X}, X) = 0. \quad (1)$$

Here $I(t)$ and $X(t)$ are the investment and income functions respectively. Wherein, the function $I(t)$ is the sum of all $N(t) < \infty$ existing investments, each of which is represented in the form shown in Fig. 1.

C_j , ΔC_j , and T_j are the initial capital, return and duration of the investment j , respectively. Formally, the investment function can be written as follows:

$$I_j(t) = C_j + \Delta C_j / 2 + E_j(t), \quad (2)$$

where $E_j(t)$ represents the fluctuations of the investments with respect to the value $(C_j + \Delta C_j / 2)$. Since investments in a market economy are the result of independent activity of $N(t)$ agents, they have a random beginning (start). Therefore, the deviations $\varepsilon_{ji} = E_j(t_i)$ in Fig. 1 are stochastic due to the random

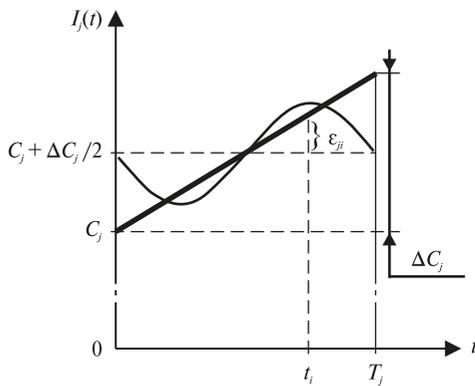


Fig. 1. Diagram of the investment j

(equiprobable) position of the moment t_i within the range $0, \dots, T_j$. Considering expression (2), the function $I(t)$ is represented by the sum of two terms:

$$I(t) = \sum_{j=1}^{N(t)} I_j(t) = \sum_{j=1}^{N(t)} (C_j + \Delta C_j / 2) + \sum_{j=1}^{N(t)} \varepsilon_j(t) = M(t) + E(t), \tag{3}$$

here $M(t)$ is the deterministic component of the investment function, and the investment fluctuations $E(t)$ are Gaussian white noise with the zero mathematical expectation and variance equal to:

$$D_\varepsilon = \sum_{j=1}^{N(t)} \Delta C_j^2 / 12. \tag{4}$$

It should be noted that the expression (3) confirms the legitimacy of the postulate (Cooley, Prescott, 1995) on the need to consider economic growth and fluctuations together. Thus, the income function can also be represented by two components $X(t) = L(t) + \delta X(t)$, where $L(t)$ is the long-term income trend due to the investment trend $M(t)$, and the deviations $\delta X(t)$ are caused by investment fluctuations $E(t)$. Income deviations include all known business cycles (Kondratiev, Kuznets, Juglar, and Kitchin) as well as other possible income fluctuations, that is:

$$\delta X(t) = \Xi_{Kon}(t) + \Xi_{Kuz}(t) + \Xi_{Jug}(t) + \Xi_{Kit}(t) + \dots$$

Income deviations is an order of magnitude smaller (Korotaev, Tsirel, 2010) than the values of $X(t)$, so they can be interpreted as small deviations of the latter. Therefore, to describe a specific cycle $\Xi(t)$ with period T_0 , equation (1) can be linearized by reducing it to a second-order ordinary differential equation:

$$\ddot{\Xi}(t) + 2h\dot{\Xi}(t) + (2\pi f_0)^2 \Xi(t) = E(t). \tag{5}$$

The model (5) describes a linear elastic system with natural frequency $f_0 = 1/T_0$ and damping factor h , which is affected by white noise (Bolotin, 1984). Thus, the approach outlined above made it possible to move from modeling the results of observations of economic cycles to modeling the mechanism of their occurrence. According to the proposed model, income oscillations are induced by exogenous (investment fluctuations) and endogenous (system elasticity) causes.

The investment values (Fig. 1) relative to $(C_j + \Delta C_j/2)$ correspond to the period of the so-called sawtooth function $F_j(t)$, which is represented by an infinite Fourier series (Pavleino, Romadanov, 2007):

$$F_j(t) = \frac{\Delta C_j}{\pi} \sum_{l=1}^{\infty} \sin(2\pi l t / T_j) / l.$$

In particular, the first ($l=1$) harmonic $\sin(2\pi t/T_j)$ is shown in Fig. 1. This fact justifies the use of the frequency domain analysis to the processes occurring in economic systems. Therefore, let us consider the properties of the linear elastic system in the frequency domain described by its amplitude $A(f)$ and phase $\Phi(f)$ frequency characteristics (Fig. 2).

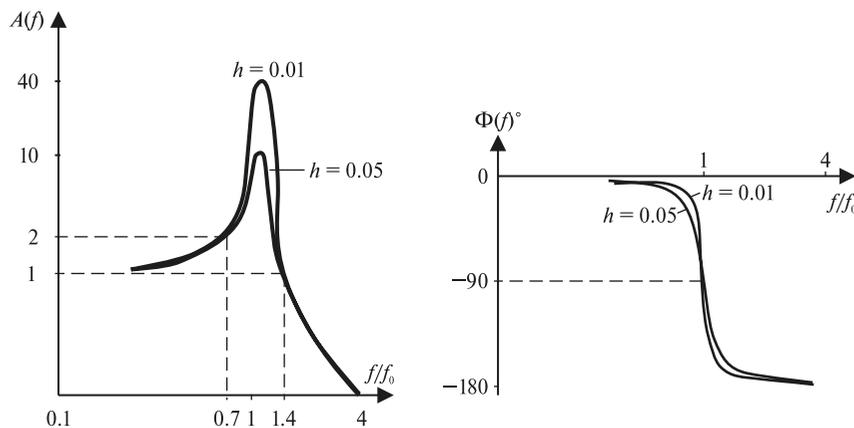


Fig. 2. Amplitude and phase frequency characteristics of the linear elastic system

$A(f)$ determines the ratio of the amplitudes of the input (investment) and output (income) harmonics. According to the shape of the characteristic $A(f)$, the values of random oscillations $\Xi(t)$ are determined mainly by harmonics in the vicinity of f_0 ($f_1 = 0.7f_0 \leq f \leq f_2 = 1.4f_0$).

$\Phi(f)$ is the difference between their phases, which is equivalent to the time delay of the output process with respect to the input process. It follows from the characteristics $\Phi(f)$ (Fig. 2) that investment manipulations lead to a tangible change in the intensity of the cycle with a time delay $T_0/4$, and its complete change after half the cycle period.

Model (5) not only explains the phenomenon of the cycle, but also provides its quantitative description in terms of h and f_0 , as well as a cycle intensity (variance) D_ξ . This model, together with the presentation of the investment function in the forms of expressions (3) and (4), provides a theoretical basis for the mathematical solution of the income management problems. The purpose of this paper is developing an approach for investment management to counter the cyclic income contraction. To implement this, in the next section of the article, a quantitative relationship is established between the increments of a possible control factor and income. The last section is devoted to the quantitative analysis of the current state of the US economy using the provisions of the developed approach.

2. PARRYING THE POTENTIAL CYCLIC CONTRACTION

We will proceed from an existing fragment of the cycle $\Xi(t)$ of interest with frequency f_0 on the time interval $t_1 \leq t \leq t_2$, where t_2 is the current moment in time. Moreover, we assume this fragment to be pseudo-stationary (Karmalita, 2020), that is, the evolutionary change in the parameters of model (5) over indicated time interval corresponds to the statistical variability of their estimates with a confidence level P . Furthermore, this fragment has a discrete representation with a sampling interval Δt , that is, $\Xi(t_i) = \Xi(\Delta t i)$, $i = 1, \dots, n = (t_2 - t_1)/\Delta t$. Estimates $\bar{\xi}_j = \bar{\Xi}(t_j)$ of the considered cycle can be formed from the deviations $\delta X(t_i) = X(t_i) - L(t_i)$ of the income function by the method proposed in (Karmalita, 2023). Here and further in the text, the sign “ \sim ” denotes a quantitative estimate of the noted variable.

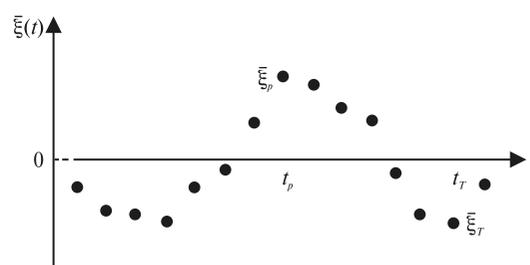


Fig. 3. Predicted trajectory of the cycle

The presence of a cycle trajectory allows to predict the future values $\bar{\xi}_{n+1}, \dots, \bar{\xi}_{n+m}$ ($m = 1.5 / \Delta t$) of the cycle using the Monte Carlo method (Karmalita, 2022) as shown in Fig. 3.

In the above figure, $\bar{\xi}_p$ and $\bar{\xi}_T$ are estimates of the peak and trough of the predicted cycle trajectory, respectively. Therefore, the estimated contraction in income from the considered cycle is $\Delta X_c = \bar{\xi}_p - \bar{\xi}_T$.

Due to the stochastic nature of income oscillations, the cycle trajectory (amplitude) can be changed only by affecting the intensity σ_ξ of investment fluctuations $E(t)$. Quantitatively, the relationship between intensities $\sigma_\xi = \sqrt{D_\xi}$ and $\sigma_\varepsilon = \sqrt{D_\varepsilon}$ is determined by the root-mean-square (rms) gain (K_σ) of the economic system (Karmalita, 2020): $\sigma_\xi = K_\sigma \sigma_\varepsilon$.

From expression (4) it follows that a change in the number of investments and their returns will affect the intensity of $E(t)$, that is, the value of σ_ε . Consequently, manipulations with the intensity of investments provide a change in the cycle amplitude, which will lead to a change in the cyclic contraction — ΔX_c .

The return of the investments j can be represented as a function of their interest and duration $\Delta C_j(t) = \alpha_j C_j R(t) T_j$, where $R(t)$ is the bank prime loan rate (hereinafter the prime rate), and $\alpha_j = \text{const}$. Accordingly, the expression for the deterministic component of the investment function can be reduced to the following expression:

$$M(t) = \sum_{j=1}^{N(t)} (C_j + C_j / 2) = \sum_{j=1}^{N(t)} C_j + R(t) \sum_{j=1}^{N(t)} \beta_j,$$

where $\beta_j = \alpha_j C_j T_j / 2$. The generally recognized existence of an inverse relationship between investment activity and the prime rate in (Blanchard, 2017) allows us to present it as $N(t) = k / R(t)$, where k is a constant. The sums in the above expression for $M(t)$ can be written in the following form:

$$\sum_{j=1}^{N(t)} C_j = C_{av} N(t); \quad \sum_{j=1}^{N(t)} \beta_j = \beta_{av} N(t),$$

where C_{av} and β_{av} are average values of C_j and β_j . Therefore, the final expression for the investment trend will be:

$$M(t) = C_{av} k / R(t) + \beta_{av} k = A R^{-1}(t) + B. \quad (6)$$

According to the above approach, the expression for σ_ε reduces to the following form:

$$\sigma_\varepsilon = \sqrt{\sum_{j=1}^{N(t)} \Delta C_j^2 / 12} = \beta_{av} \sqrt{k R(t) / 3} = D R^{1/2}(t). \quad (7)$$

From expressions (6) and (7) it follows that a change in the prime rate will affect the values of $M(t)$ and $E(t)$ in opposite directions. For example, at the cycle contraction stage, decreasing $R(t)$ leads to an increase in the long-term trend $L(t)$ and a reduction in the cyclic contraction. As mentioned in Introduction (see Fig. 2), the change in the intensity (amplitude) of the cycle ends with a time delay $T_0/2$. This fact prompts us to start managing the prime rate while reaching at (approaching) peak time (t_p) to fend off the cycle contraction. As for the relationship between $N(t)$ and $R(t)$, the transition to a new value $N(t)$ will occur with some delay τ_I concerning the change in the prime rate. Its value can be estimated by comparing the dynamics of current changes in $R(t)$ and the gross value of private investment. In case of $\tau_I > T_0/2$, the beginning moment for the primary rate change should be $t_s = t_T - \tau_I$, that is, it should be earlier than the above t_p .

We will proceed from known prime rate $R(t_2)$ at the current moment t_2 . One of the possible variants for the management strategy may be decreasing the prime rate to the value $R(t_p) = R(t_2) - \Delta R$ after reaching the cycle peak. This will increase the value of the income trend by ΔL while reducing the cycle contraction by $\Delta \xi$. Maintaining sustainable income at moment t_T can be formulated, for example, as satisfying the following condition $\Delta L + \Delta \xi = \Delta X_c$.

As above changes of income components are commensurate with the cyclic contraction ΔX_c , they constitute small variances of the income function. Therefore, the linear model (5) for the transition from income to investments can be applied. The investment trend $M(t)$ is a slow changing function, so the maximum frequency of its spectrum is significantly less than the natural frequency of the cycle f_0 . From Fig. 2, which shows the amplitude frequency characteristics $A(f)$, it follows that the economic system gain in this part of the spectrum can be taken as equal to 1. In this case, we get that $\Delta L \approx \Delta M$.

Recall that the cyclic values ξ_j correlate with their intensity σ_ε , which can be represented as $\xi_j = d_j \sigma_\varepsilon$. So, the cycle increment can be written as $\Delta \xi = d_j \Delta \sigma_\varepsilon$, and for the cycle trough the value $d_T = \xi_T / \sigma_\varepsilon$. Considering expressions (6) and (7), as well as $\sigma_\varepsilon = K_\sigma \sigma_\varepsilon$, then the sustainable income condition is reduced to the following form:

$$\begin{aligned} \Delta X_c &\approx \Delta M + K_\sigma d_T \sigma_\varepsilon = \left| \frac{dM(R)}{dR} \right|_{R(t_2)} \Delta R + K_\sigma d_T \left| \frac{d\sigma_\varepsilon(R)}{dR} \right|_{R(t_2)} \Delta R = \\ &= A R^{-2}(t_2) \Delta R + K_\sigma (\xi_T / \sigma_\varepsilon) D R^{-1/2}(t_2) \Delta R. \end{aligned}$$

Thus, for the economic system under consideration, the presence of estimates of ΔX_c , A , D , K_σ , ξ_T , σ_ε allows us to determine the required decrease in the current prime rate as follows:

$$\Delta \bar{R} \approx \frac{\Delta \bar{X}_c \Delta R^2(t_2)}{\tilde{A} + \tilde{K}_\sigma (\tilde{\xi}_T / \tilde{\sigma}_\varepsilon) \tilde{D} R^{3/2}(t_2)} = \frac{\Delta \bar{X}_c R^2(t_2)}{\tilde{C}_{av} \tilde{k} + \tilde{K}_\sigma (\tilde{\xi}_T / \tilde{\sigma}_\varepsilon) \tilde{\beta}_{av} \sqrt{\tilde{k} / 3} R^{3/2}(t_2)}.$$

In addition to establishing the above relationship between the increments ΔR and ΔX_c , the provisions of the proposed approach are applicable to the conceptual analysis of economic cycles behavior. An example of such an analysis is carried in the next section.

3. THE CURRENT CYCLIC CONTRACTION IN US INCOME

In econometric studies, to quantify the income function $X(t)$ the gross domestic product (GDP), hereinafter $G(t)$, is usually used. Recall that the value of GDP is a monetary estimate of manufactured goods and provisioned services for a certain period ΔT :

$$G(t) = \int_{t-\Delta T}^t X(t) dt = \int_0^t k(\tau) X(t-\tau) d\tau = G_L(t) + g(t)$$

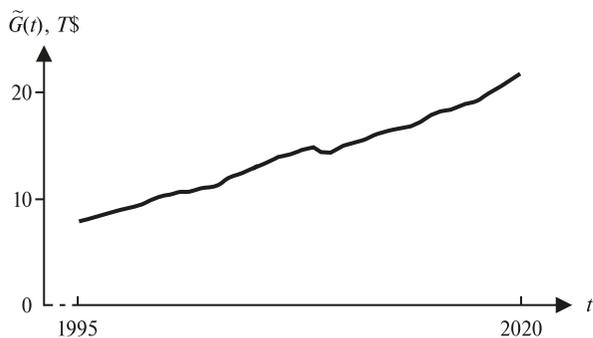


Fig. 4. Real GDP estimates of the US economy

Source: Federal Reserve Economic Data (2023) (<https://fred.stlouisfed.org>).

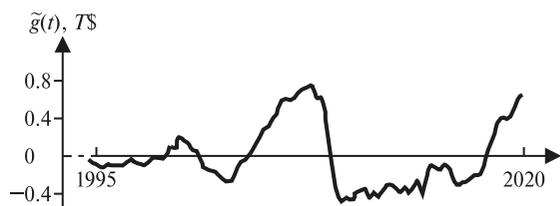


Fig. 5. Estimations of GDP deviations

where $G_L(t)$ and $g(t)$ are the long-term trend and deviations of GDP, respectively. In other words, the GDP function can be interpreted as the result of measurements of the income function using an estimator, inertial properties of which are described by the impulse response (IR) function $k(\tau)$:

$$k(\tau) = \begin{cases} 1, & 0 \leq \tau \leq \Delta T; \\ 0, & \tau < 0, \tau > \Delta T. \end{cases}$$

Let us consider the quarterly GDP estimates $\tilde{G}(t)$ of the US economy for the period 1995–2019 shown in Fig. 4.

In this case, the sampling interval is $\Delta t = \Delta T \approx 0.25$ years. To increase the representativeness (number of samples) of the empirical data, additional terms were calculated via linear interpolation of quarterly GDP estimates. Thus, the sampling interval was reduced to $\Delta t = \Delta T/2 = 0.125$ year, and the number of samples increased to $n = 199$. The GDP deviations $\tilde{g}_i = \tilde{g}(t_i) = \tilde{g}(\Delta t i)$ in Fig. 5 were calculated following the regression $G_{Li} = 0.054i^2 + 57.289i + 7522.289$ obtained by the least squares method (Brandt, 2014).

If we proceed to the dimensionless interval of sampling $\Delta t = 1$, then the results of the frequency data analysis will be presented in terms of relative natural frequency $0 \leq \theta \leq 0.5$. Amplitude spectrum $A_g(\theta)$ shown in Fig. 6 was determined by the Fourier transform (see, for instance, Cho, 2018) of the deviations \tilde{g}_i .

It should be noted that the mode (peak) of each cycle in Fig. 6 corresponds to the frequency $\theta_h = \sqrt{\theta_0^2 - (h \Delta t / 2\pi)^2}$, which is its natural frequency corrected for damping. From the viewed spectrogram the estimates (pick coordinates) of the natural frequencies of the cycles are $\tilde{\theta}_{Kuz} (\theta_{Kuz} \approx 0.0093$ ($\tilde{T}_{Kuz} = \Delta t / \tilde{\theta}_{Kuz} = 0.125 / 0.0093 \approx 13.5$ years), $\tilde{\theta}_{Jug} \approx 0.0198$ ($\tilde{T}_{Jug} \approx 6.3$ years) and $\tilde{\theta}_{Kit} \approx 0.0344$ ($\tilde{T}_{Kit} \approx 3.6$ years). The frequency values were determined with a resolution $\Delta\theta = 0.5/2048 \approx 0.00024$.

From the Wiener–Khinchin theorem it follows that the cycle intensity is correlated with the area under its amplitude spectrum: $D_\xi = \int_0^{0.5} A_\xi^2(\theta) d\theta$. Fig. 6 clearly demonstrates that the Kuznets swing is dominant. Its trajectory can be formed from GDP deviations \tilde{g}_i using a low-pass FIR filter, as suggested in (Karmalita, 2023). The fragment of the trajectory formed in this way is shown in Fig. 7.

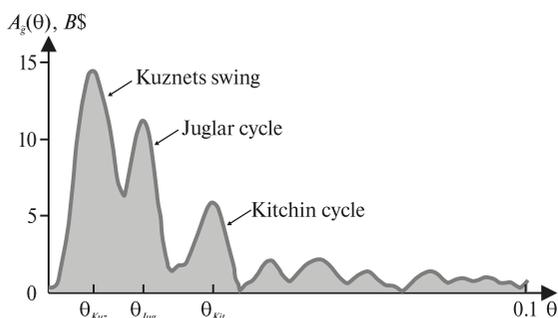


Fig. 6. The amplitude spectrum of estimates \tilde{g}_i

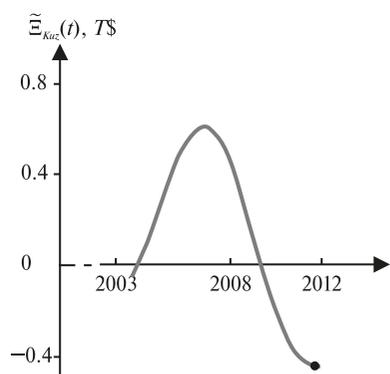


Fig. 7. Fragment of the recovered trajectory of Kuznets swing

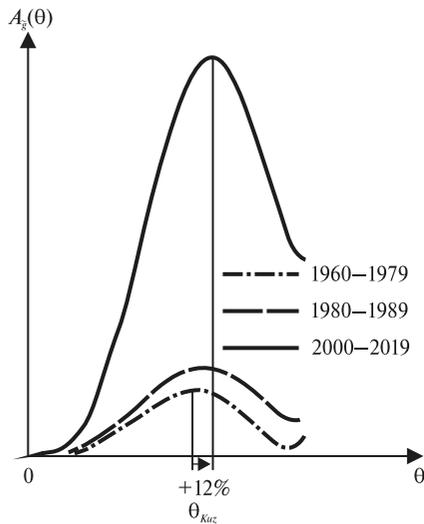


Fig. 8. Trends of natural frequency of cycles θ_{Kuz}

The cross-correlation coefficient (Brandt, 2014) of this fragment with deviations of GDP estimates (see Fig. 5) at the contraction stage is $\tilde{r}_{\tilde{g}_{Kuz}} \approx 0.94$. It means that the Kuznets swing was a determining factor of the 2008 recession. In other words, the latter was mainly due to the dynamics of investments lasting 9–19 years. Therefore, predicting the behavior of income contraction can be reduced to considering the subsequent behavior of only the Kuznets swing.

Knowing the moment of reaching the last trough of the Kuznets swing and its duration \tilde{T}_{Kuz} , it is possible to determine the moments of the subsequent peak (t_p) and trough (t_T). However, due to technological and managerial progress in the economy, the characteristics (parameters) of economic systems are changing. As a result, the period of the Kuznets swing in the predicting interval (say, 2020–2027) may be different. Therefore, the use of the above-defined estimate of T_{Kuz} for forecasting purposes should be justified. So, the trend of estimates $\tilde{\theta}_{Kuz}$ for the period 1960–2020 was analyzed.

To define a sustainable trend in a time series, we need to have at least three of its consecutive values, so the estimates $\tilde{\theta}_{Kuz}$ were determined on a 20-year time base, and their trend is shown in Fig. 8.

As shown in Fig. 8, the value θ_{Kuz} grows by 12%. This growth is almost linear in time and manifests itself in a continuous increase in the frequency of each cycle by an average $\approx 2.4\%$. The relative frequency resolution $\delta\theta = \Delta\theta / \tilde{\theta}_{Kuz} \approx 0.00024 / 0.0093 = 2.6\% > 2.4\%$, which allows us to use the estimate $\tilde{T}_{Kuz} \approx 13.5$ years to predict the time interval of the next contraction in the Kuznets swing. Its last trough (symbol «●» in Fig. 7) was in the 3rd quarter of 2011, so the next peak may be in $t_p = 2011.75 + 6.75 = 2018.5$ (the middle of 2018). Accordingly, the moment of the predicted trough will be $t_T = 2025.25$ (the first half of 2025).

It should be noted that the actual behavior of the cycle is due to both endogenous and exogenous causes. The latter include investment fluctuations $E(t)$, the manipulation of which leads to a change in the intensity (amplitude) of the cycle. It follows from expression (7) that a change in $R(t)$ leads to a change in the intensity of the cycle. If, for example, at the stage of cyclic contraction, the prime rate rises, then the trough of the cycle would fall lower. And the delay between investments and income (see Fig. 2) will postpone the achievement of a new trough for the future. Such a cycle metamorphosis can be illustrated by the example of one component of the Kuznets swing — its modal harmonic $S_{Kuz}(t) = A_{R(t)} \cos 2\pi f_{Kuz}(t - t_p)$. Recall that at this frequency, the time delay between investments and income is a quarter of the period, that is, $\tau_{Kuz} = T_{Kuz}/4 \approx 3.375$ year.

As you know, the prime rate was reduced to 3.25% on March 16, 2020, and did not change until March 17, 2022 (Fig. 9).

Considering the value of τ_{Kuz} , the amplitude $A_{3.25}$ of the Kuznets modal harmonic stabilizes in the third quarter of 2023, remaining unchanged at the through moment (Fig. 10).

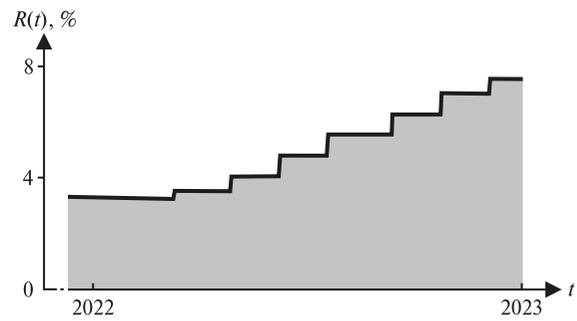


Fig. 9. A retrospective fragment of the change in the prime rate

Source: Federal Reserve Economic Data (2023) (<https://fred.stlouisfed.org>).

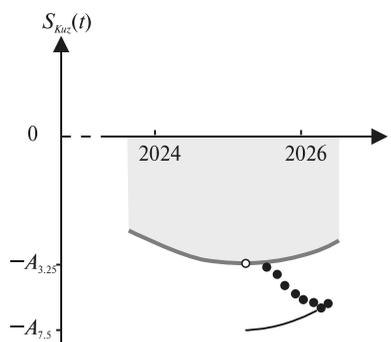


Fig. 10. Metamorphosis of the Kuznets harmonic due to the growth of the prime rate

The first increase in the primary rate in 2022 to 3.5% (see Fig. 9) will lead to a change in the amplitude $A_{R(t)}$ in the third quarter of 2025 (symbol «◀•▶» in Fig. 10). This and subsequent changes in the harmonic trajectory are estimated as $S_{Kuz}(t) = A_{3,25} \sqrt{R(t)/3.25} \cos 2\pi f_{Kuz}(t - t_p)$.

4. CONCLUSIONS

Representing investments as the sum of a deterministic trend and their fluctuations in the form of white noise made it possible to establish a functional relationship between these components and the prime rate. For a deterministic trend, this dependence is inversely proportional, and for investment fluctuations, it is the square root of the rate. In other words, a change in the rate affects the values of investment components in opposite directions.

The cycle model in the form of random oscillations of an elastic system under the influence of white noise provided an approach to quantify the variation of the prime rate according to the desired change in income. The feasibility of the proposed approach is demonstrated by parrying the cycle income contraction.

Since the considered approach is based on the most probable cycle trajectory, the resulting expressions will also provide the most likely estimates.

REFERENCES / СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Blanchard O.J.** (2017). *Macroeconomics*. 7th ed. Boston: Pearson. 576 p.
- Bolotin V.V.** (1984). *Random vibrations of elastic systems*. Heidelberg: Springer. 468 p.
- Brandt S.** (2014). *Data analysis: Statistical and computational methods for scientists and engineers*. 4th ed. Cham, Switzerland: Springer. 523 p.
- Cho S.** (2018). *Fourier transform and its applications using Microsoft EXCEL®*. San Rafael, CA: Morgan & Claypool. 123 p.
- Cooley T.F., Prescott E.C.** (1995). Economic growth and business cycles. In: *Frontiers of business cycle research*. T.F. Cooley (ed.). Princeton: Princeton University Press, 1–38.
- Golosov M., Menzio G.** (2020). Agency business cycles. *Theoretical Economics*, 15 (1), 123–158.
- Karmalita V.** (2020). *Stochastic dynamics of economic cycles*. Berlin: De Gruyter. 106 p.
- Karmalita V.A.** (2022). Predicting the trajectory of economic cycles. *Economics and Mathematical Methods*, 58 (2), 140–144. [**Karmalita V.A.** (2022). Predicting the trajectory of economic cycles // *Экономика и математические методы*. Т. 58. № 2. С. 140–144.]
- Karmalita V.A.** (2023). Recovering the actual trajectory of economic cycles. *Economics and mathematical methods*, 59 (2), 19–25. [**Karmalita V.A.** (2023). Recovering the actual trajectory of economic cycles // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 2. С. 19–25.]
- Kehoe P.J., Midrigan V., Pastorino E.** (2018). Evolution of modern business cycle models: Accounting for the great recession. *Economic Perspectives*, 32 (3), 141–166.
- Korotaev A.V., Tsirel S.V.** (2010). Spectral analysis of world GDP dynamics: Kondratieff waves, Kuznets swings, Juglar and Kitchin cycles in global economic development, and the 2008–2009 economic crisis. *Structure and Dynamics*, 4 (1), 3–57.

- Kydland F., Prescott E. (1982). Time to build and aggregate fluctuations. *Econometrica*, 50 (6), 1345–1370.
- Pavleino M.A., Romadanov V.M. (2007). *Spectral transforms in MATLAB®*. St.-Petersburg: SPbSU. 160 p. (in Russian). [Павлейно М.А., Ромаданов В.М. (2007). Спектральные преобразования в MATLAB. Учебно-методическое пособие. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет. 160 с.]

Управление базовой ставкой с целью противодействия циклическому сокращению доходов

© 2023 г. В.А. Кармалита

В.А. Кармалита,

Частный консультант, Канада; e-mail: karmalita@videotron.ca

Поступила в редакцию 24.05.2022

Аннотация. В статье предлагается подход к формализации количественной зависимости между базовой ставкой и вариациями дохода, базирующийся на стохастическом описании инвестиций. Установление этой зависимости обеспечивает возможность управления доходами в соответствии с принятым целеполаганием. В частности, рассматривается пример преодоления циклического сжатия дохода с соответствующим изменением базовой ставки. Предложена стратегия управления доходами, в основе которой лежит установленная функциональная связь между составляющими инвестиций и базовой ставкой. Показано, что при обратной пропорциональной зависимости долгосрочного тренда инвестиций от значений ставки, траектория цикла зависит через корень квадратный ее значения. Поэтому изменение базовой ставки приводит к разнонаправленным результатам в значениях тренда и траектории цикла. Этот факт послужил основой для разработки алгоритма преодоления циклического снижения доходов. Модель цикла в виде случайных колебаний упругой системы под действием белого шума позволила получить количественную оценку вариации базовой ставки, обеспечивающей требуемое изменение величины дохода. Поскольку рассмотренный подход основан на наиболее вероятной траектории цикла, то полученные выражения будут приводить и к наиболее вероятным оценкам. Возможность применять предлагаемый подход к анализу поведения цикла продемонстрирован на примере текущих отклонений доходов США.

Ключевые слова: инвестиции, траектория цикла, циклическое сжатие, управление базовой ставкой.

Классификация JEL: C22, C41, C53, C58.

Для цитирования: Кармалита В.А. (2023). Managing the prime rate to counter the cyclic income contraction // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 3. С. 69–76. DOI: 10.31857/S042473880026992-0

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

**Межрегиональная дифференциация в РФ:
эмпирический анализ влияния территориальной локализации отраслей
на уровень экономической активности регионов**

© 2023 г. В.Н. Лившиц, О.М. Шаталова, Е.В. Касаткина

В.Н. Лившиц,

Федеральный исследовательский центр «Информатика и Управление» РАН, Москва; e-mail: livchits@isa.ru.

О.М. Шаталова,

Удмуртский филиал Института экономики УрО РАН, Ижевск; Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, Ижевск; e-mail: oshatalova@mail.ru.

Е.В. Касаткина,

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, Ижевск; e-mail: e.v.trushkova@gmail.com.

Поступила в редакцию 02.02.2023

Статья подготовлена в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук и планом НИР Института экономики Уральского отделения РАН на 2021–2023 гг. по теме «Методология инновационного развития регионально-ориентированных систем в условиях нестабильной экономической конъюнктуры».

Аннотация. Статья посвящена проблеме высокой межрегиональной дифференциации экономического пространства РФ. Актуальность проведенного исследования обусловлена необходимостью понимания роли промышленного сектора в экономическом неравенстве регионов для систематизации государственной региональной политики и стратегического прогнозирования инновационного развития регионально-ориентированных производственных систем. Цель исследования состояла в выявлении эмпирической зависимости между уровнем экономической активности регионов и их отраслевой спецификой, определяемой характером локализованных на их территориях производств. С помощью статистических методов и на основе большого массива статистических данных показано долговременное нарастание экономического неравенства регионов РФ и его высокий уровень. Проведенный регрессионный анализ позволил получить статистически значимое подтверждение гипотезы о существенном влиянии промышленного сектора на экономическую активность в регионах и соответственно на межрегиональную дифференциацию: полученная регрессионная модель показала, что свыше 60% вариации объясняется этим фактором. При этом установлено, что экономика промышленно ориентированных регионов зависит главным образом от добывающих производств, тогда как влияние фактора локализации отраслей обрабатывающей промышленности на экономическую активность регионов существенно (более чем в пять раз) ниже. Полученные результаты позволили сформулировать вывод о том, что сложившаяся ситуация может повлечь дальнейшее усиление межрегиональной дифференциации экономического пространства страны, а также угрозу деиндустриализации тех регионов, для которых характерна концентрация высокотехнологичных производств. Исследование представляет дополнительное фактологическое обоснование приоритетов промышленной и структурной политики.

Ключевые слова: региональная экономика, пространственное развитие, межрегиональная дифференциация, промышленность, локализация, отраслевая специализация, статистический анализ, регрессионное моделирование.

Классификация JEL: C38; O14; R11.

Для цитирования: **Лившиц В.Н., Шаталова О.М., Касаткина Е.В.** (2023). Межрегиональная дифференциация в РФ: эмпирический анализ влияния территориальной локализации отраслей на уровень экономической активности регионов // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 3. С. 77–90. DOI: 10.31857/S042473880026994-2

1. ВВЕДЕНИЕ

Экономическое пространство страны представляет собой сосредоточенную в ее территориальных границах сферу экономических отношений с едиными механизмами и институтами системного поддержания экономической целостности государства, что достигается, в том числе, оптимальным территориальным размещением производительных сил, а также за счет снижения социально-экономической неоднородности образующих его территорий (Кульков, 2014). Актуальность снижения неоднородности экономического пространства страны подчеркивается в «Стратегии экономической безопасности РФ»¹. В качестве одной из угроз экономической безопасности государства обозначена проблема «неравномерности пространственного развития РФ, усиление дифференциации регионов и муниципальных образований по уровню и темпам социально-экономического развития»². Высокая значимость этой проблемы определена также государственной политикой регионального развития РФ, при этом в качестве одной из задач региональной политики предусмотрено «сокращение различий в уровне социально-экономического развития регионов»³. Решению этой задачи посвящена «Стратегия пространственного развития РФ на период до 2025 года»⁴ (далее — Стратегия-2025). В частности, в этом документе декларирована необходимость «обеспечения устойчивого и сбалансированного пространственного развития РФ, направленного на сокращение межрегиональных различий в уровне и качестве жизни населения...». При высокой значимости этого документа нельзя не отметить, что ряд положений Стратегии-2025 представляет предмет широких дискуссий в научном сообществе. В числе дискуссионных положений можно отметить, во-первых, не вполне обоснованную оценку сложившейся проблемы межрегиональной экономической дифференциации в РФ: в документе декларирован факт сокращения «межрегиональных социально-экономических диспропорций». Вместе с тем, по заключению Н. Зубаревич, «тренд смягчения межрегионального неравенства с середины 2010-х годов сменился слабым ростом неравенства по душевым доходам населения», а государственная политика выравнивания экономики регионов реализовывалась посредством бюджетных трансфертов для покрытия социально значимых региональных расходов (Зубаревич, 2019). Ряд исследователей отмечают также недостаточность содержащихся в Стратегии-2025 показателей для мониторинга результатов стратегии пространственного развития. Особенно существенна такая недостаточность с позиций сокращения экономического неравенства регионов (Иванов, Бухвальд, 2022). Также отмечается недостаточная обоснованность предложенных «перспективных экономических специализаций» регионов (Кузнецова, 2019). В целом, оценивая проблему экономического неравенства регионов, следует отметить ее существенное нарастание с дореформенного периода (Шаталова, Касаткина, 2022).

Проблема высокого социально-экономического неравенства регионов РФ представляет предмет научных исследований ведущих российских ученых-экономистов. Общенаучная постановка задач исследования в контексте современных научных представлений о пространственной организации национальной экономики и методологии пространственной экономики содержится в работах (Гранберг, 2006; Гранберг, Масакова, Зайцева, 2008; Швецов, 2020). В публикациях (Зубаревич, 2017, 2019; Зубаревич, Сафронов, 2014) приводятся результаты исследования механизмов выравнивающего развития регионов и комплексная характеристика экономического пространства страны, оценки меры межрегионального неравенства по социально значимым параметрам — уровень доходов и занятости. Работы (Бахтизин, Бухвальд, Кольчугина, 2017; Иванов, Бухвальд, 2022) содержат анализ институционально значимых условий экономического выравнивания регионов РФ и численные характеристики уровня межрегиональной дифференциации, подтверждающие гипотезу об усилении межрегиональной дифференциации в периоды экономического подъема. Исследования (Лавровский, Горюшкина, 2017; Лавровский, Шильцин, 2009 и др.) освещают полученные авторским коллективом результаты количественных оценок состояния проблемы неравенства регионов, основанных на индикаторах вариации по основным экономическим показателям — среднедушевой валовой региональный продукт (ВРП), производительность труда, бюджетная обеспеченность. Публикации (Малкина, 2016, 2017) содержат методические вопросы

¹ Указ Президента РФ от 13 мая 2017 г. № 208 «О Стратегии экономической безопасности РФ на период до 2030 года».

² Там же.

³ Указ Президента РФ от 16 января 2017 г. № 13 «Основы государственной политики регионального развития РФ на период до 2025 г.»

⁴ Распоряжение Правительства РФ от 13.02.2019 № 207-р «Об утверждении Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 г.»

измерения неравенства, а также результаты исследования межрегиональной дифференциации по отдельным параметрам — доходы населения, объем инвестиций, налоговые поступления, бюджетная обеспеченность. Работы (Глушенко, 2016; Gluschenko, 2018) посвящены методологическим вопросам измерения неравенства регионов и содержат также численные оценки межрегиональной дифференциации по уровню доходов населения. Оценка и анализ экономического неравенства регионов содержится также в публикациях (Коломак, 2014, 2019), в том числе исследованы факторы неравенства с помощью аналитических моделей, основанных на разложении индекса Тейла и расширенной производственной функции.

Сложившиеся результаты научных исследований в этой области свидетельствуют о высокой значимости проблемы экономического неравенства российских регионов. Эта проблема рассматривается как препятствие формированию сбалансированного экономического пространства страны, равной для всех регионов доступности социальных и экономических благ, равных предпринимательских возможностей и проч. В предшествующих исследованиях показано, что такие сложившиеся механизмы снижения межрегиональной дифференциации, как бюджетное выравнивание экономических возможностей регионов, недостаточны вследствие их низкой стимулирующей функции. Согласно (Зубаревич, 2019) государственная политика выравнивающего развития в основном реализовывалась через бюджетные трансферты регионам для социально значимых выплат и «благодаря этим мерам смягчилось межрегиональное неравенство по доходам».

В исследовании проблемы экономического неравенства регионов важно учитывать международный опыт. В работах (McCann, 2013; Dzemydaite, 2021; Benner, 2020) представлен анализ политики сокращения региональных различий в европейских государствах. Результаты анализа показывают высокую значимость и эффективность проводимой в ЕС политики выравнивания, а также существенные вложения в реализацию мер выравнивающего развития — на сокращение региональных различий в 2014—2020 гг. было направлено около трети бюджета ЕС (Dzemydaite, 2021). При этом важная роль отводится инновационному промышленному сектору с высокой добавленной стоимостью. Соответственно, по мнению европейских ученых, в реализации политики сокращения региональных различий возрастает актуальность исследования сложившейся экономической специализации регионов и перспектив ее усиления либо обоснованной диверсификации экономики регионов.

Экономическая специализация регионов РФ в значительной мере предопределена фактором «наследственности экономической конъюнктуры» (Мидов, 2018). Вместе с тем, существенные структурные сдвиги в экономике страны, сложившиеся за последние три десятилетия (Тополева, 2022), повлияли на характер отраслевой специализации регионов и на роль отдельных отраслей в их экономическом состоянии, а также на общий уровень межрегиональной дифференциации. Учитывая изложенное, представляется актуальной исследовательская задача оценки влияния фактора отраслевой специфики регионов на уровень их экономической активности в контексте общей для страны проблемы высокой межрегиональной дифференциации и в долгосрочной ретроспективе.

Цель нашего исследования состояла в выявлении эмпирической зависимости между уровнем экономической активности промышленных регионов и их отраслевой спецификой, определяемой характером локализованных на их территориях производств. В рамках поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведена оценка экономического неравенства регионов; такая оценка проведена в долгосрочной ретроспективе на основе комплексного интегрального измерителя экономической активности регионов, содержание которого включает набор основных показателей, формируемых в системе государственной региональной статистики;
- выявлены значимые для экономики регионов отрасли промышленности; соответствующие оценки были сформированы на основе коэффициента локализации, отражающего роль отраслей промышленности в экономике регионов в сопоставлении со среднероссийским уровнем;
- построена и проанализирована регрессионная модель, раскрывающая связь между сложившейся отраслевой спецификой промышленных регионов и уровнем их экономической активности, объяснено влияние этого фактора на межрегиональную дифференциацию.

Актуальность проведенного исследования обусловлена необходимостью понимать роль промышленного сектора в экономическом неравенстве регионов для систематизации государственной региональной политики выравнивающего развития.

2. МЕТОДЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В соответствии с поставленными задачами программа исследования включала методы измерения экономического неравенства регионов, методы выявления значимых для экономики регионов отраслей промышленности, а также методы анализа эмпирической зависимости уровня экономической активности регионов от отраслевой специфики региональной экономики.

Для измерения межрегиональной дифференциации в экономической науке сложился спектр измерителей неравенства, основанных на методах математической статистики. Совокупность таких измерителей может быть классифицирована по следующим группам: общие статистические показатели вариации; структурные характеристики распределения, в том числе децильный коэффициент; показатели концентрации, включая индекс Джинни, индекс Хиршмана–Херфиндаля, коэффициент Лоренца; показатели «общей энтропии», в том числе индекс Тейла, индекс Аткинсона. На основании таких измерителей используются аналитические методы исследования межрегиональной дифференциации: разложение и регрессионный анализ индекса Тейла, анализ конвергенции (дивергенции) и др. Важным в использовании этих методов является выбор параметров, по которым проводится измерение межрегиональной дифференциации. В качестве исследуемых параметров обычно принимаются: а) объемные и удельные (в расчете на душу населения) экономические показатели ВРП или объем инвестиций, или объем основного капитала; б) социально значимые показатели — уровень доходов населения, средняя заработная плата, уровень занятости населения; и другие.

В рамках проведенного нами исследования был предпринят комплексный подход к измерению межрегиональной дифференциации, основанный на использовании интегрального коэффициента экономической активности регионов $K_{ЭА}$ (Шаталова, Касаткина, 2022). Этот коэффициент представляет собой результат интеграции комплекса основных показателей социально-экономического положения регионов y_{ij} . Расчет $K_{ЭА}$ был проведен по каждому региону j ; состав включаемых в расчет $K_{ЭА}$ показателей ($i = 1, \dots, 5$) представлен кортежем:

$$\langle Y_j / P_j, FC_j / P_j, I_j / P_j, Pz_j / P_j, W_j \rangle = \langle y_{1j}, \dots, y_{5j} \rangle, \quad (1)$$

где Y_j — объем ВРП; FC_j — стоимость основных фондов; I_j — инвестиции в основной капитал; Pz_j — численность занятого населения; P_j — численность населения; W_j — сумма начисленной заработной платы работников организаций в регионе.

Оценка интегрального коэффициента экономической активности региона проводилась посредством аддитивной свертки нормализованных значений этих показателей:

$$K_{ЭАj} = \sum_i \eta_{ij}, \quad (2)$$

где η_{ij} — нормализованное значение показателя y_{ij} ;

$$\eta_{ij} = (y_{ij} - y_{i \min}) / (y_{i \max} - y_{i \min}). \quad (3)$$

Расчет $K_{ЭА}$ послужил основанием для соответствующей классификации регионов и численного измерения межрегиональной дифференциации с помощью интегрального децильного коэффициента:

$$\text{ИДК} = D_9 / D_1, D_k = I_{i_k}^{\min} + \frac{h_k}{f_{i_k}} \left(0,1kn - \sum_{i=1}^{i_k-1} f_i \right), k = 1, \dots, 9, \quad (4)$$

где $I_{i_k}^{\min}$ — нижняя граница i_k интервала, содержащего дециль k ; h_k — ширина децильного интервала; f_{i_k} — частота децильного интервала; $\sum_{i=1}^{i_k-1} f_i$ — сумма накопленных частот, предшествующих децильному интервалу.

Предложенный подход позволяет получить комплексный измеритель межрегионального неравенства на многомерном пространстве критериев.

В дополнение к интегральному децильному коэффициенту, представляющему структурную характеристику экономического неравенства регионов, в исследовании был использован общий статистический измеритель — коэффициент вариации.

Выявление значимых для экономики регионов отраслей промышленности проводилось на основе коэффициента локализации (simple location quotients, SLQ). Численная оценка этого показателя проводится по различным параметрам: уровень занятости (Лапо, 2006; Dzemydaite, 2021), объемные показатели производства и добавленной стоимости (Flegg, Tohmo, 2016). В проводимом нами исследовании было принято положение о предпочтительности объемных параметров для оценки SLQ , поскольку показатель занятости является лишь косвенным признаком локализации и его величина может быть искажена различиями в производительности ресурсов (Flegg, Tohmo, 2016). В качестве такого параметра нами был принят объем валовой добавленной стоимости по основным отраслям (видам экономической деятельности) в промышленном секторе. Общее содержание этого показателя позволяет составить оценку значимости отрасли r в экономике региона в сопоставлении со средним по стране уровнем:

$$SLQ_r^j = (Q_r^j / Q_{\text{БРП}}^j) / (Q_r / Q_{\text{БРП}}). \quad (5)$$

Для оценки эмпирической зависимости уровня экономической активности регионов от их отраслевой специфики были использованы общие методы измерения корреляции (парной линейной корреляции) изучаемых переменных SLQ_r и $K_{ЭА}$, а также методы построения регрессионных моделей (множественной линейной регрессии). Исследование такой эмпирической зависимости является синтетической частью исследования и объединяет результаты анализа экономического пространства страны, структурированного по критерию $K_{ЭА}$ (2)–(3) и характеризуемого посредством соответствующего децильного коэффициента (4), а также отраслевой специфики экономики регионов (посредством коэффициента SLQ (5)).

Алгоритм нашего исследования следующий: 1) расчет $K_{ЭА}$ и SLQ_r (формирует основание для численной характеристики межрегиональной экономической дифференциации, а также идентификации значимых для экономики регионов отраслей); 2) оценка тесноты связи между переменными $K_{ЭА}$ и SLQ_r (формирует основание для регрессионного анализа возможного влияния SLQ_r на $K_{ЭА}$); 3) регрессионный анализ зависимости переменных $K_{ЭА}$ и SLQ_r — построение регрессионной модели $K_{ЭА} = f(SLQ_r)$, а также оценка численных характеристик регрессионной зависимости и содержательная интерпретация результатов.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Численные характеристики экономической активности регионов и значимости отраслей промышленности для экономики регионов были составлены на основании данных, формируемых в системе государственной региональной статистики. Исследование проводилось в долгосрочной ретроспективе (с 1995 по 2020 г.), что позволило сопоставить сложившуюся ситуацию с началом периода реформирования российской экономики. При этом был составлен дискретный динамический ряд с периодичностью в пять лет. Исходный набор данных включал 2886 записей об основных социально-экономических показателях по всем регионам страны: $\langle Y_j, FC_j, I_j, Pz_j, W_j, P_j \rangle$.

На первом этапе исследования был проведен расчет $K_{ЭА}$ по каждому субъекту РФ. Этот параметр послужил основанием для оценки уровня вариации по совокупности российских регионов, а также для их классификации на семь статистически однородных групп, на базе которых выполнен расчет интегрального децильного коэффициента. Полученные результаты измерения экономического неравенства регионов РФ приведены на рис. 1. Значения измерителей межрегиональной дифференциации свидетельствуют об усилении экономического неравенства регионов: мера отклонения ($K_{ЭА_j}$) от среднего по стране значения возросла с 45 до 104%, а измеряемое по комплексу экономических параметров различие между крайними децилями в совокупности регионов увеличилось с 2,4- до 6,17-кратного уровня.

Для исследования эмпирической зависимости $K_{ЭА}$ от отраслевой специфики регионов была составлена оценка корреляции между переменными $K_{ЭА}$ и SLQ_r . Оценка проводилась по обобщенным видам экономической деятельности, которые имеют наибольший удельный вес



Рис. 1. Численные характеристики межрегиональной дифференциации, составленные на основе показателя $K_{ЭА}$

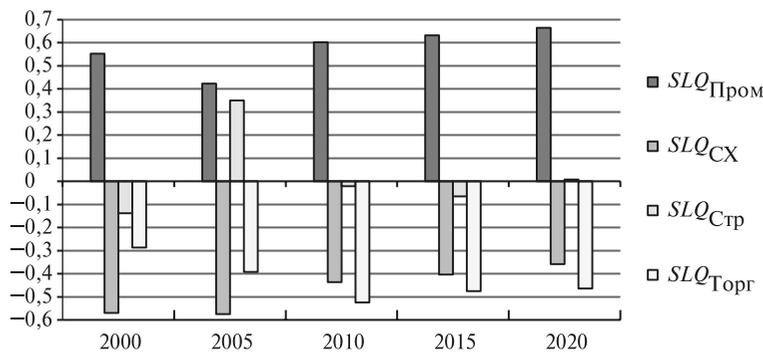


Рис. 2. Коэффициенты корреляции между переменными $K_{ЭА}$ и SLQ_r

в отраслевой структуре ВРП: промышленность ($SLQ_{Пром}$), сельское хозяйство ($SLQ_{СХ}$), строительство ($SLQ_{Стр}$), торговля ($SLQ_{Торг}$). В оценке был использован метод парной линейной корреляции. Результат исследования корреляции за период 2000–2020 гг. приведен на рис. 2.

Оценка корреляции между $K_{ЭА}$ и SLQ_r показала, что в исследуемом периоде наблюдается усиление зависимости между уровнем экономической активности регионов и локализацией на их территориях *промышленных* предприятий. Вместе с тем, из данных на рис. 2 следует, что корреляция между $K_{ЭА}$ и $SLQ_{СХ}$, $SLQ_{Стр}$, $SLQ_{Торг}$ либо отсутствует, либо является отрицательной. Принимая во внимание достаточно тесную связь между $K_{ЭА}$ и $SLQ_{Пром}$ (усилившуюся к концу периода исследования), мы провели более детальный анализ зависимости этих переменных в разрезе основных отраслей промышленности: «Добыча полезных ископаемых» (далее — ДП), «Обрабатывающие производства» (далее — ОП), «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» (далее — ПЭ). Анализ охватывал период с 2005 по 2020 г.⁵ В том числе, был выполнен расчет SLQ_r^j по этим отраслям и проведена оценка корреляции между $K_{ЭА}$ и SLQ_r^j по отраслям ДП, ОП, ПЭ. Отдельные результаты такой оценки (за 2020 г.) приведены в табл. 1 и на рис. 3.

Таблица 1. Расчетные значения коэффициента локализации SLQ_r^j и интегрального коэффициента экономической активности $K_{ЭАj}$ (2020 г.)

Группа	Регион	$K_{ЭАj}$	SLQ_r^j			Группа	Регион	$K_{ЭАj}$	SLQ_r^j		
			ДП	ОП	ПЭ				ДП	ОП	ПЭ
1	Респ. Ингушетия	0,13	0,09	0,12	0,47	2	Республика Марий Эл	0,47	0,02	1,47	0,93
	Чеченская Республика	0,16	0,09	0,14	0,83		Ивановская обл.	0,5	0,02	1,22	1,37
	Карачаево-Черкесская Республика	0,21	0,14	0,55	2,47		Республика Бурятия	0,51	0,6	0,7	1,1
	Республика Северная Осетия — Алания	0,22	0,03	0,31	0,53		Костромская обл.	0,58	0,03	1,31	2,4
	Республика Дагестан	0,23	0,03	0,25	0,43		Орловская обл.	0,59	0,02	0,86	0,93
	Республика Тыва	0,27	1,11	0,04	0,83		Кировская обл.	0,59	0,02	1,66	1,13
	Республика Адыгея	0,32	0,1	0,74	0,63		Брянская обл.	0,6	0	0,89	0,8
	Кабардино-Балкарская Республика	0,38	0	0,5	0,9		Псковская обл.	0,6	0,04	0,89	1,03
	Республика Алтай	0,38	0,08	0,12	1		Ульяновская обл.	0,61	0,23	1,39	0,7
2	Курганская обл.	0,4	0,09	1,23	1,2	Республика Калмыкия	0,61	0,08	0,05	0,37	
	Алтайский край	0,43	0,06	1,09	0,77	Саратовская обл.	0,62	0,29	1,03	1,7	
	Чувашская Республика	0,44	0,01	1,51	1,1	г. Севастополь	0,64	0,03	0,34	1,5	

⁵ За начало исследуемого динамического ряда принят 2005 г., в связи с тем в системе государственной региональной статистики отраслевой детализация ВРП не отображалась до 2004 г. (Приказ Государственного комитета РФ по статистике от 22 января 2004 г. № 8).

Окончание таблицы 1

Группа	Регион	$K_{ЭАj}$	SLQ_r^j			Группа	Регион	$K_{ЭАj}$	SLQ_r^j			
			ДП	ОП	ПЭ				ДП	ОП	ПЭ	
3	Пензенская обл.	0,66	0,02	1,05	0,6	4	Пермский край	1,01	1,63	1,75	0,77	
	Ставропольский край	0,66	0,06	0,73	1,3		Челябинская обл.	1,01	0,47	1,79	0,97	
	Волгоградская обл.	0,67	0,26	1,45	0,77		Свердловская обл.	1,02	0,22	1,86	1,13	
	Республика Мордовия	0,69	0	1,57	0,97		Самарская обл.	1,07	1,28	1,24	1,1	
	Республика Башкортостан	0,71	0,36	1,44	0,9		Нижегородская обл.	1,09	0	1,65	1,03	
	Смоленская обл.	0,71	0,03	1,15	3,73		Белгородская обл.	1,1	1,93	0,87	0,47	
	Республика Хакасия	0,73	1,37	1,16	4,23		Липецкая обл.	1,12	0,05	2,14	0,53	
	Республика Крым	0,73	0,09	0,51	1,7		5	Иркутская обл.	1,19	2,42	0,64	1,57
	Тамбовская обл.	0,75	0	0,75	0,43	Приморский край		1,2	0,1	0,42	0,73	
	Рязанская обл.	0,76	0,01	1,41	1,1	Вологодская обл.		1,21	0	1,99	0,83	
	Владимирская обл.	0,77	0,04	2,02	0,87	Калужская обл.		1,22	0,04	2,31	0,57	
	Ростовская обл.	0,81	0,1	0,99	1,33	Республика Татарстан		1,3	2,01	0,98	0,6	
	Омская обл.	0,81	0,02	1,79	0,73	Архангельская обл.		1,36	2,38	1,05	0,87	
	Удмуртская Республика	0,81	1,99	1,11	0,8	Ленинградская обл.		1,39	0,06	1,59	2,3	
	Оренбургская обл.	0,83	3,38	0,69	1,03	Московская обл.		1,49	0,02	1,19	0,67	
	Новгородская обл.	0,83	0,02	2,16	1,13	Хабаровский край		1,51	0,72	0,59	0,83	
	Кемеровская обл.	0,86	1,81	0,88	1,83	Красноярский край		1,54	1,54	2,39	1,1	
	Тверская обл.	0,87	0,01	1,19	2,23	6		Республика Коми	1,83	3,12	0,66	0,87
	Курская обл.	0,88	1,15	0,92	1,67			Амурская обл.	1,88	1,45	0,19	1,63
	Еврейская АО	0,9	1,3	0,23	1,13		Мурманская обл.	2,07	0,83	1,94	0,73	
Забайкальский край	0,91	2,47	0,13	1,07	Камчатский край		2,13	0,72	0,42	1,17		
4	Воронежская обл.	0,95	0,05	0,92	1,07	Республика Саха (Якутия)	2,28	4,68	0,06	1,23		
	Республика Карелия	0,95	1,6	0,94	0,93	7	Тюменская обл.	3,01	5,31	0,31	0,7	
	Новосибирская обл.	0,96	0,23	0,8	0,8		Магаданская обл.	3,39	5,35	0,05	1,53	
	Краснодарский край	0,97	0,05	0,57	0,63		Сахалинская обл.	3,9	5,29	0,24	0,57	
	Астраханская обл.	0,98	3,59	0,29	0,9		Чукотский АО	4,55	4,33	0,01	4,3	
	Ярославская обл.	0,98	0,01	1,66	1	Число регионов РФ с соответствующей отраслевой специализацией (отраслевая специализация принята согласно (Flegg, Tohmo, 2016), по критерию $SLQ_r^j \geq 1$).			25	37	39	
	Томская обл.	0,99	1,7	0,65	0,7							
	Калининградская обл.	1	0,19	1,11	1,5							
	Тульская обл.	1,01	0,05	2,35	1,17							

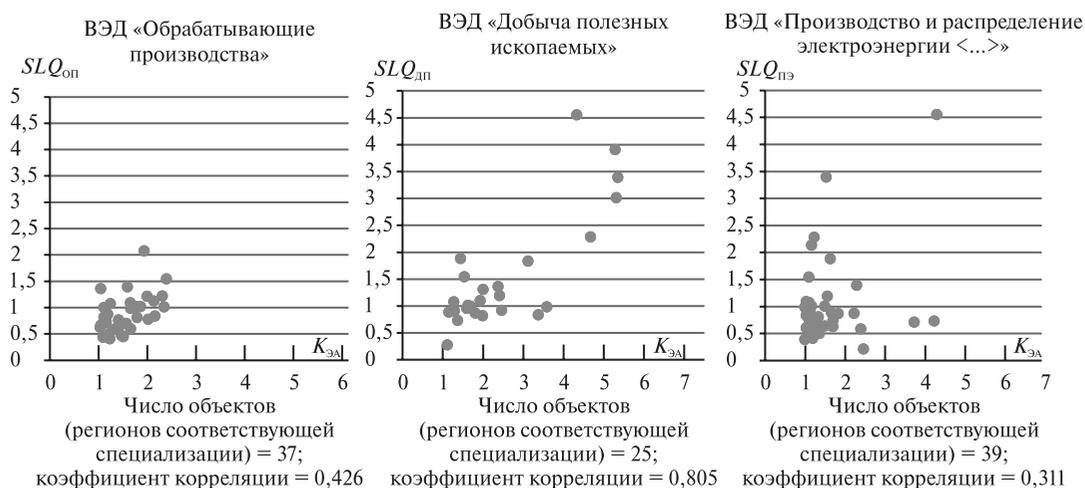


Рис. 3. Диаграммы рассеяния: визуализация связи между переменными $K_{ЭА}$ и SLQ_r (2020 г.)

Данные по показателям SLQ_r^j и $K_{ЭА}$ (фрагментарно приведенные в табл. 1) послужили основанием для исследования зависимости $K_{ЭА} = f(SLQ_r)$. В рамках исследования, согласно принятому алгоритму, были решены две задачи:

1) составлена оценка тесноты связи между исследуемыми параметрами, однородности выборки (по совокупности регионов, после исключения «выбросов»);

2) построена регрессионная модель, составлена характеристика ее статистической значимости, проведена содержательная интерпретация результатов.

Анализ тесноты связи между переменными $K_{ЭА}$ и SLQ_r (по названным выше отраслям промышленности) проводился с использованием метода парной линейной корреляции. Оценка корреляции исследуемых переменных была выполнена после исключения «выбросов» — в таком качестве рассматриваются объекты (регионы): гг. Москва и С.-Петербург. Для визуализации тесноты связи между переменными $K_{ЭА}$ и SLQ_r на рис. 3 приведены диаграммы рассеяния, сформированные по данным 2020 г. Результаты оценки корреляции показывают, что все три факторных признака имеют достаточную (по шкале Чеддока) тесноту связи с резульативной переменной.

Регрессионный анализ был проведен на основании следующей постановки задачи: зависимая переменная — $K_{ЭА}$; аргументы — $SLQ_{ОП}$, $SLQ_{ДП}$, $SLQ_{ПЭ}$; число объектов исследуемой выборки составило от 77 (в 2005 г.) до 80 (в 2020 г.), что соответствует числу регионов РФ (из анализа были исключены Москва и Санкт-Петербург). Основные результаты анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2. Основные параметры и аналитические показатели исследуемой регрессионной модели $K_{ЭА} = f(SLQ_r)$

Показатель	2005	2010	2015	2020
Коэффициент детерминации R-квадрат	0,382	0,592	0,629	0,603
Общая F-статистика	15,039	35,848	42,965	38,473
Наблюдения	77	78	80	80
Коэффициенты регрессии α_r				
Константа	0,546*	0,672*	0,395*	0,260*
$SLQ_{ДП}$	0,412*	0,442*	0,483*	0,447*
$SLQ_{ОП}$	0,13	0,103	0,137*	0,208*
$SLQ_{ПЭ}$	0,259	0,133	0,083*	0,135*
Среднее значение исследуемых переменных				
Зависимая переменная $K_{ЭА}$	1,292	1,276	1,015	1,019
$SLQ_{ДП}$	0,609	0,785	0,781	0,888
$SLQ_{ОП}$	1,541	1,001	1,040	0,992
$SLQ_{ПЭ}$	0,409	1,160	1,197	1,152
Стандартное отклонение σ				
Зависимая переменная $K_{ЭА}$	0,618	0,693	0,725	0,771
$SLQ_{ДП}$	0,937	1,231	1,247	1,388
$SLQ_{ОП}$	0,897	0,555	0,612	0,633
$SLQ_{ПЭ}$	0,222	0,600	0,598	0,735
Средний коэффициент эластичности E_r				
$SLQ_{ДП}$	0,19	0,27	0,37	0,39
$SLQ_{ОП}$	0,11	0,08	0,14	0,20
$SLQ_{ПЭ}$	0,28	0,12	0,10	0,15
Бета-коэффициент β_r				
$SLQ_{ДП}$	0,62	0,78	0,83	0,81
$SLQ_{ОП}$	0,13	0,08	0,12	0,17
$SLQ_{ПЭ}$	0,31	0,11	0,07	0,13

Примечание. Символом «*» показана значимость коэффициентов регрессионной модели при уровне значимости 0,1.

Источник: расчеты авторов.

Для сравнительной оценки влияния факторов регрессионной модели на результирующую переменную были также использованы средний коэффициент эластичности E_r и бетта-коэффициент β_r : $E_r = \alpha_r SLQ_r / K_{ЭА}$; $\beta_r = \alpha_r \sigma_{SLQ_r} / \sigma_{K_{ЭА}}$, где α_r — коэффициент регрессии.

Полученные результаты регрессионного анализа позволили сделать следующие заключения.

1. Коэффициент детерминации свидетельствует о возрастании роли промышленного сектора в экономической дифференциации регионов — коэффициент детерминации R^2 находится с 2015 г. на допустимом уровне (выше 60%) и свидетельствует о том, что вариация $K_{ЭА}$ в высокой мере объясняется построенной зависимостью.

2. Параметры регрессионной статистики характеризуют полученные коэффициенты регрессии (с 2015 г.) как статистически значимые — F -расчетное выше $F_{cr} = F(0,1; 3; 76) = 2,16$; по всем коэффициентам регрессии t -статистика больше $t_{cr} = t(0,1; 76) = 1,67$; P -значения меньше заданного уровня значимости (10%) с 2015 г. для всех коэффициентов регрессионной модели.

3. Коэффициенты регрессии и константа имеют ожидаемые и логически оправданные знаки и значения.

4. Значения коэффициентов регрессии показывают, что в течение исследуемого периода наиболее существенно на зависимую переменную $K_{ЭА}$ влияет параметр $SLQ_{ДП}$.

5. Значение бетта-коэффициента также свидетельствует, что наиболее существенно на зависимую переменную $K_{ЭА}$ влияет $SLQ_{ДП}$. Например, к 2020 г. значение β_r по соответствующему параметру значительно выше, чем по $SLQ_{ОП}$ и $SLQ_{ПЭ}$ (0,81; 0,17; 0,13 соответственно).

6. Коэффициент эластичности по $SLQ_{ДП}$ в течение рассматриваемого периода возрастает: к 2020 г. значение E_r по $SLQ_{ДП}$ находится на уровне 0,39, что значительно превышает значение E_r по параметрам $SLQ_{ОП}$ (0,20) и $SLQ_{ПЭ}$ (0,15). Иными словами, нарастание деятельности в добывающих отраслях влечет наиболее существенный прирост уровня экономической активности в регионах.

Графическая иллюстрация характеристик регрессионной модели $K_{ЭА} = f(SLQ_r)$ приведена на рис. 4. Значения коэффициентов регрессии, коэффициентов эластичности, бетта-коэффициентов показывают усиливающуюся зависимость между уровнем экономической активности регионов и $SLQ_{ДП}$.

По результатам проведенного анализа регрессионная зависимость между исследуемыми параметрами, сложившаяся в 2020 г., имеет вид:

$$K_{ЭА_j} = 0,260 + 0,447 SLQ_{ДП}^j + 0,208 SLQ_{ОП}^j + 0,135 SLQ_{ПЭ}^j. \quad (6)$$

По бетта-коэффициентам (см. табл. 2) было также составлено стандартизированное уравнение, в котором все переменные стандартизируются ($t_{K_{ЭА}}$, $t_{SLQ_{ДП}}$, $t_{SLQ_{ОП}}$, $t_{SLQ_{ПЭ}}$) центрированием и нормированием:

$$t_{K_{ЭА}} = 0,805 t_{SLQ_{ДП}} + 0,171 t_{SLQ_{ОП}} + 0,129 t_{SLQ_{ПЭ}}. \quad (7)$$

Стандартизированные на основе β_r коэффициенты регрессии могут быть сопоставлены между собой: по полученным значениям следует, что мера влияния $SLQ_{ДП}$ на $K_{ЭА}$ почти в пять раз выше, чем влияние $SLQ_{ОП}$, и более чем в шесть раз выше влияния $SLQ_{ПЭ}$.

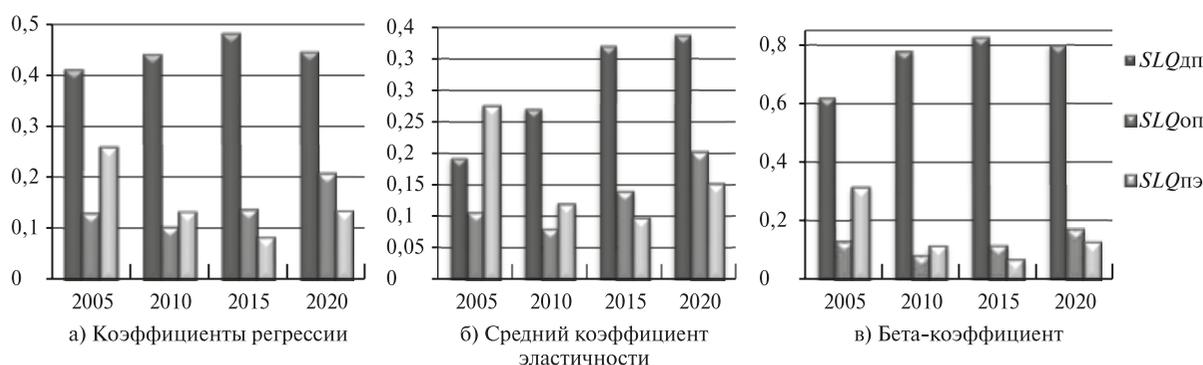


Рис. 4. Оценочные характеристики исследуемой регрессионной модели $K_{ЭА} = f(SLQ_r)$

Таким образом, в результате исследования были получены статистически значимые характеристики эмпирической зависимости экономической активности регионов от характера локализованной на их территории производственной деятельности в промышленном секторе экономики. Эти характеристики свидетельствуют о том, что экономика субъектов РФ в высокой мере определяется локализацией добывающих отраслей, т.е. в более выигрышном положении оказываются регионы, обладающие запасом природных минерально-сырьевых ресурсов.

Представленные регрессионные модели (6), (7) построены при достаточно высоком уровне агрегирования. Для более развернутого анализа исследуемой проблемы целесообразна детализация коэффициентов локализации по отраслям добывающей и обрабатывающей промышленности. Однако такая детализация затруднена, поскольку при сложившейся системе государственной региональной статистики сбор данных по комплексу параметров экономической активности регионов (1) возможен только в разрезе укрупненных видов экономической деятельности. Учитывая высокую значимость изучаемой проблемы, представляется необходимым дополнить проведенное исследование и изучить влияние на межрегиональную дифференциацию фактора транспортной инфраструктуры. Как показывает опыт экономически развитых государств, этот фактор играет решающую роль; особенно показателен опыт КНР. Целенаправленная всесторонняя государственная политика развития транспортного комплекса этой страны, как в пространственном аспекте, так и в инновационных условиях роста пропускной способности транспортной системы, способствовала повышению связанности территорий, активизации внутреннего товарооборота, эффективному встраиванию в глобальные логистические каналы и проч. (Хуе, Schmid, Smith, 2002). Этот вопрос авторы рассматривают в качестве важного направления для продолжения исследования.

Представляется важным полученное свидетельство о *долговременном* характере нарастания зависимости $K_{ЭА}$ от $SLQ_{ДП}$ — с позиций способности региональной экономической системы развиваться по гистерезису. Суть такой проблемы описана в работе (Лапо, 2004): «Если факт концентрации имел место, то возвращение к старым территориальным пропорциям производства становится невозможным».

В рассмотрении полученных результатов нужно также отметить, что исследование проводилось из предпосылки об отсутствии взаимного влияния между принятым набором аргументов и зависимой переменной (так называемой «проблемы одновременности»). При этом мы исходили из условия первичности фактора производственных ресурсов, т.е. фактически сложившихся на территории субъекта РФ производственных комплексов и / или минерально-сырьевой базы, эффективное использование которых может обеспечить рост экономической активности региона. Вместе с тем, нельзя исключать и гипотетической возможности обратного влияния: например, нарастание экономической активности в регионе, специализирующемся на отраслях добывающей промышленности, может послужить основой для развития высокотехнологичных отраслей обрабатывающей промышленности. Такая гипотеза представляет интерес для продолжения исследования; в том числе важной видится научная задача включить в модель лагированные переменные.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное нами исследование позволило выявить и статистически обосновать некоторые эмпирические закономерности в характере межрегиональной дифференциации экономического пространства страны. Полученные результаты позволили подтвердить гипотезу о том, что нарастающие проблемы межрегиональной дифференциации в значительной мере обусловлены характером их экономической специализации.

На основе долгосрочной ретроспективной оценки вариации параметров экономической активности регионов РФ показано усиление межрегиональной дифференциации в экономическом пространстве страны. При этом установлено, что различие между крайними децилями в совокупности регионов увеличилось с 2,4- до 6,17- кратного уровня.

Для изучения причин высокой межрегиональной дифференциации мы провели анализ корреляции и регрессии между интегральным коэффициентом экономической активности регионов и коэффициентами локализации основных отраслей промышленности на соответствующих территориях. Это позволило выявить меру влияния промышленного сектора экономики и показать его высокую значимость для экономической активности в субъектах РФ — по состоянию на 2020 г. свыше 60% вариации $K_{ЭА}$ обусловлена локализацией в регионах промышленных производств. При

этом было установлено, что экономика промышленно ориентированных регионов зависит главным образом от добывающих производств, тогда как влияние фактора локализации обрабатывающих производств на экономическую активность регионов существенно (более чем в пять раз) ниже. Принимая во внимание тот факт, что далеко не все территории страны располагают запасами природных сырьевых ресурсов, можно заключить, что сохранение сложившейся ситуации создает угрозу нарастания экономического неравенства регионов, а также угрозу деиндустриализации тех регионов, для которых характерна концентрация высокотехнологичных производств. Полученный результат служит дополнительным подтверждением ранее сформулированных выводов российских ученых (Лившиц, 2013; Вызовы и политика..., 2020) о негативных проявлениях структурных сдвигов в экономике и диспропорциях пространственного развития национальной экономики.

Нужно отметить, что проведенное исследование — в части постановки исследовательской задачи и состава применяемых методов — согласуется с научными результатами зарубежных ученых. Так, в работе (Dzemydaite, 2021) приведены результаты оценки влияния отраслевой специализации на региональное экономическое развитие. При этом отмечается, что для узкоспециализированных регионов существует риск изменения долгосрочной устойчивости при неблагоприятных изменениях экономической конъюнктуры вследствие появления новых технологий или сокращения рыночного спроса. Важным является научно обоснованный вывод о том, что надежные перспективы экономического развития регионов обусловлены их специализацией в сфере сложных и наукоемких производств (Hausmann, Hwang, Rodrik, 2007), а специализация регионов на «традиционных производственных секторах» при низкоурбанизированных территориях влечет перспективы снижения разнообразия экономической деятельности и сокращения концентрации экономических ресурсов (Russu, 2015; Sotarauta, Suvinen, 2019). Показанный в работах зарубежных авторов анализ практики государственного регионального управления свидетельствует о реализации в ЕС целенаправленной политики выравнивающего развития территорий и стратегии формирования «умной специализации» (Benner, 2020).

Зарубежный опыт может иметь значение и для российской государственной региональной политики. Анализируя в этом контексте содержание важного для государственного стратегического управления в РФ документа Стратегия-2025⁶, следует отметить, что этот документ предусматривает в качестве «центров экономического роста» нефтегазовый и агропромышленный комплексы, при этом из документа вовсе исключено рассмотрение сектора обрабатывающей промышленности. Представленные в данном документе «интеграторы региональной политики» построены только по территориальному признаку — в разрезе макрорегионов — и не показан отраслевой аспект экономического развития субъектов РФ. Предписанный состав «целевых показателей пространственного развития РФ» не вполне соответствует декларируемым целям и задачам и не содержит действенных измерителей межрегиональной дифференциации.

Принимая во внимание высокое экономическое, социальное, политическое значение проблемы межрегиональной дифференциации экономического пространства страны, представляется важным повышение эффективности государственной политики регионального развития на основе современных достижений экономической науки и мирового опыта. Одним из направлений совершенствования региональной политики государства может рассматриваться включение в стратегические и программные документы государственного регионального управления действенных механизмов выравнивания социально-экономического развития регионов, в том числе за счет стимулирования высокотехнологичных обрабатывающих производств с учетом сложившейся экономической специализации регионов. Решение проблемы нарастающей социально-экономической дифференциации регионов страны должно исходить из ее объективной оценки, результатов анализа причинно-следственных отношений, обоснованной стратегии выравнивающего регионального развития. Результаты проведенного исследования структуры экономического пространства страны представляют дополнительное фактологическое обоснование приоритетов промышленной и структурной политики.

⁶ Распоряжение Правительства РФ от 13.02.2019 № 207-р «Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Бахтизин А.Р., Бухвальд Е.М., Кольчугина А.В.** (2017). Экономическая дифференциация регионов России: новые оценки и закономерности // *ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика*. № 1. С. 41–56. [Bakhtizin A.P., Bukhvald E.M., Kolchugina A.V. (2017). Economic differentiation of Russian regions: New estimates and patterns. *ETAP: Economic Theory, Analysis, and Practice*, 1, 41–56 (in Russian).]
- Вызовы и политика пространственного развития России в XXI веке (2020). Программы фундаментальных исследований Президиума Российской академии наук 2012–2019. Л.Б. Вардомский, О.Б. Глезер, Р.В. Гончаров (науч. ред.). М.: Российская академия наук, Товарищество научных изданий «КМК». 365 с. [*Challenges and Policy of Russia's Spatial Development in the 21st Century* (2020). Fundamental Research Programs of the Presidium of the Russian Academy of Sciences for 2012–2019. L.B. Vardomskij, O.B. Glezer, R.V. Goncharov (sci. eds.). Moscow: RAS, Partnership of Scientific Publications 'KMK'. 365 p. (in Russian).]
- Глущенко К.П.** (2016). К вопросу о применении коэффициента Джини и других показателей неравенства // *Вопросы статистики*. № 2. С. 71–80. DOI: 10.34023/2313-6383-2016-0-2-71-80 [Glushchenko K.P. (2016). On the application of the Gini coefficient and other indicators of inequality. *Voprosy Statistiki*, 2, 71–80. DOI: 10.34023/2313-6383-2016-0-2-71-80 (in Russian).]
- Гранберг А.Г.** (2006). Экономическое пространство России // *Экономика и управление*. № 2 (23). С. 11–15. [Granberg A.G. (2006). The economic space of Russia. *Economics and Management*, 2 (23), 11–15 (in Russian).]
- Гранберг А.Г., Масакова И., Зайцева Ю.** (2008). Валовой региональный продукт как индикатор дифференциации экономического развития регионов // *Вопросы статистики*. № 9. С. 32. [Granberg A.G., Masakova I., Zaitseva Yu. (2008). Gross regional product as an indicator of differentiation of economic development of regions. *Voprosy Statistiki*, 9, 32 (in Russian).]
- Зубаревич Н.В.** (2014). Региональное развитие и региональная политика в России // *ЭКО*. № 4 (478). С. 6–27. [Zubarevich N.V. (2014). Regional development and regional policy in Russia. *ECO Journal*, 4 (478), 6–27 (in Russian).]
- Зубаревич Н.В.** (2017). Развитие российского пространства: барьеры и возможности региональной политики // *Мир новой экономики*. № 2. С. 46–57. [Zubarevich N.V. (2017). Development of the Russian space: Barriers and opportunities of regional policy. *The World of New Economy*, 2, 46–57 (in Russian).]
- Зубаревич Н.В.** (2019). Неравенство регионов и крупных городов России: что изменилось в 2010-е годы? // *Общественные науки и современность*. № 4. С. 57–70. DOI: 10.31857/S086904990005814-7 [Zubarevich N.V. (2019). Inequality of regions and large cities of Russia: what has changed in the 2010s? *Social Sciences and Contemporary World*, 4, 57–70. DOI: 10.31857/S086904990005814-7 (in Russian).]
- Зубаревич Н.В., Сафронов С.Г.** (2014). Территориальное неравенство доходов населения России и других крупных постсоветских стран // *Региональные исследования*. № 4 (46). С. 100–110. [Zubarevich N.V., Safronov S.G. (2014). Territorial income inequality of the population of Russia and other large post-Soviet countries. *Regional Studies*, 4 (46), 100–110 (in Russian).]
- Иванов О.Б., Бухвальд Е.М.** (2022). Стратегия пространственного развития: новые подвижки и старые проблемы // *ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика*. № 5. С. 7–26. DOI: 10.24412/2071-6435-2022-5-7-26 [Ivanov O.B., Buchwald E.M. (2022). Spatial development strategy: New software engines and old problems. *ETAP: Economic Theory, Analysis, and Practice*, 5, 7–26. DOI: 10.24412/2071-6435-2022-5-7-26 (in Russian).]
- Коломак Е.А.** (2014). Эволюция пространственного распределения экономической активности в России // *Регион: экономика и социология*. № 3 (83). С. 75–93. [Kolomak E.A. (2014). Evolution of the spatial distribution of economic activity in Russia. *Region: Economics and Sociology*, 3 (83), 75–93 (in Russian).]
- Коломак Е.А.** (2019). Пространственное развитие России в XXI в. // *Пространственная экономика*. Т. 15. № 4. С. 85–106. DOI: 10.14530/se.2019.4.085-106 [Kolomak E.A. (2019). Spatial development of Russia in XXI century. *Spatial Economics*, 15, 4, 85–106. DOI: 10.14530/se.2019.4.085-106 (in Russian).]
- Кузнецова О.В.** (2019). Стратегия пространственного развития Российской Федерации: иллюзия решений и реальность проблем // *Пространственная экономика*. Т. 15. № 4. С. 107–125. DOI: 10.14530/se.2019.4.107-125. [Kuznetsova O.V. (2019). Spatial development strategy of the Russian Federation: The illusion of solutions and the reality of problems. *Spatial Economics*, 15, 4, 107–125. DOI: 10.14530/se.2019.4.107-125 (in Russian).]
- Кульков В.М.** (2014). Экономическое пространство: теоретические аспекты и современные процессы // *Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика*. № 1. С. 3–18. [Kulkov V.M. (2014). Economic space: Theoretical aspects and modern processes. *Moscow University Economics Bulletin. Series 6. Economy*, 1, 3–18 (in Russian).]
- Лавровский Б.Л., Горюшкина Е.А.** (2017). Особенности государственного управления пространственным развитием России // *Вестник Российской академии наук*. Т. 87. № 8. С. 725–733. [Lavrovsky B.L., Goryushkina E.A. (2017). Features of state management of spatial development of Russia. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 87, 8, 725–733 (in Russian).]

- Лавровский Б.Л., Шильцин Е.А.** (2009). Российские регионы: сближение или расслоение? // *Экономика и математические методы*. Т. 45. № 2. С. 31–36. [**Lavrovsky B.L., Shiltsin E.A.** (2009). Russian regions: Convergence or stratification? *Economics and Mathematical Methods*, 45, 2, 31–36 (in Russian).]
- Лапо В.Ф.** (2004). Влияние ожиданий на распределение инвестиций по регионам России: агломерационный подход // *Экономика и математические методы*. Т. 40. № 3. С. 61–75. [**Lapo V.F.** (2004). The impact of expectations on the distribution of investments by Russian regions: Agglomeration approach. *Economics and Mathematical Methods*, 40, 3, 61–75 (in Russian).]
- Лапо В.Ф.** (2006). Моделирование эффектов пространственной концентрации производства: специальность 08.00.13 «Математические и инструментальные методы экономики»: дисс. ... д-ра экон. наук. Красноярск: Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН. 387 с. [**Lapo V.F.** (2006). *Modeling the effects of spatial concentration of production*. Thesis for the degree of Doctor of Economics. Krasnoyarsk: The Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch of RAS. 387 p. (in Russian).]
- Лившиц В.Н.** (2013). Системный анализ рыночного реформирования нестационарной экономики России: 1992–2013. М.: ЛЕНАНД. 640 с. [**Livshits V.N.** (2013). *System analysis of the market reform of Russia's non-stationary economy: 1992–2013*. Moscow: LENAND. 640 p. (in Russian).]
- Малкина М.Ю.** (2016). Оценка факторов конвергенции /дивергенции российских регионов по уровню бюджетной обеспеченности на основе декомпозиции индексов Тейла–Бернулли // *Пространственная экономика*. № 3. С. 16–37. [**Malkina M. Yu.** (2016). Assessment of convergence/divergence factors of Russian regions by the level of budget security based on the decomposition of the Theil–Bernoulli indices. *Spatial Economics*, 3, 16–37 (in Russian).]
- Малкина М.Ю.** (2017). Вклад различных источников в межрегиональное неравенство доходов населения России // *Регион: экономика и социология*. № 4 (96). С. 126–150. [**Malkina M. Yu.** (2017). Contribution of various sources to interregional income inequality of the Russian population. *Region: Economics and Sociology*, 4 (96), 126–150 (in Russian).]
- Мидов А.З.** (2018). Дифференциация регионов России по уровню стратегических конкурентных преимуществ: методологические подходы и стратегический анализ // *Управленческое консультирование*. № 7. С. 165–173. [**Midov A.Z.** (2018). Differentiation of Russian regions by the level of strategic competitive advantages: Methodological approaches and strategic analysis. *Administrative Consulting*, 7, 165–173 (in Russian).]
- Тополева Т.Н.** (2022). Пространственная локализация экономической активности в России: структурные изменения в макрорегионах // *Региональная экономика и управление: электронный научный журнал*. № 4 (72). DOI: 10.24412/1999-2645-2022-472-20 [**Topoleva T.N.** (2022). Spatial localization of economic activity in Russia: Structural changes in large regions. *Regional Economics and Management: Electronic Scientific Journal*, 4 (72). DOI: 10.24412/1999-2645-2022-472-20 (in Russian).]
- Шаталова О.М., Касаткина Е.В.** (2022). Социально-экономическое неравенство регионов РФ: вопросы измерения и долгосрочная ретроспективная оценка // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. Т. 15. № 4. С. 74–87. DOI: 10.15838/esc.2022.4.82.5 [**Shatalova O.M., Kasatkina E.V.** (2022). Socio-economic inequality of regions in the Russian Federation: Measurement issues and long-term evaluation. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 15, 4, 74–87. DOI: 10.15838/esc.2022.4.82.5 (in Russian).]
- Швецов А.Н.** (2020). Российское пространство: исторические особенности обретения и основное противоречие его современной организации // *Федерализм*. Т. 25. № 3 (99). С. 5–18. DOI: 10.21686/2073-1051-2020-3-5-18. [**Shvetsov A.N.** (2020). Russian space: Historical peculiarities of finding and main contradiction of its modern organization. *Federalism*, 25, 3 (99), 5–18. DOI: 10.21686/2073-1051-2020-3-5-18 (in Russian).]
- Benner M.** (2020). Six additional questions about smart specialization: Implications for regional innovation policy 4.0. *European Planning Studies*. Taylor & Francis Journals, 28 (8), 1667–1684. DOI: 10.1080/09654313.2020.1764506
- Dzemydaite G.** (2021). The impact of economic specialization on regional economic development in the European Union: Insights for formation of smart specialization strategy. *Economies*, 9 (2), 76. DOI: 10.3390/economies9020076
- Flegg A.T., Tohmo T.** (2016). Refining the application of the FLQ formula for estimating regional input coefficients: An empirical study for South Korean Regions. *Working Papers 20161605*. Bristol: Department of Accounting, Economics and Finance, Bristol Business School, University of the West of England. 26 p.
- Gluschenko K.** (2018). Measuring regional inequality: To weight or not to weight? *Spatial Economic Analysis*, 13, 1, 36–59. DOI: 10.1080/17421772.2017.1343491
- Hausmann R., Hwang J., Rodrik D.** (2007). What you export matters. *Journal of Economic Growth*. 12, 1–25. DOI: 10.3386/w11905
- McCann P., Ortega-Argilés R.** (2013). Transforming European regional policy: A results-driven agenda and smart specialization. *Oxford Review of Economic Policy*, 29, 405–431.

- Russu C.** (2015). Industrial specialization of the European Union member countries. *Economic Insights—Trends and Challenges*, 4, 2, 63–65.
- Sotara M., Suvinen N.** (2019). Place leadership and the challenge of transformation: Policy platforms and innovation ecosystems in promotion of green growth. *European Planning Studies*, 27, 1748–1467. DOI: 10.4324/9781003133551-16
- Xue X., Schmid F., Smith R.A.** (2002). An introduction to China's rail transport. Part 1: History, present and future of China's railways. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F. *Journal of Rail and Rapid Transit*, 216, 3, 153–163. DOI: 10.1243/095440902760213585

Regional differences in the Russian Federation: An empirical analysis of the influence of territorial localization of industry sectors on the level of regional economic activity

© 2023 V.N. Livshits, O.M. Shatalova, E.V. Kasatkina

V.N. Livshits,

Federal State Institution “Federal Research Center ‘Informatics and Management’” of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; e-mail: livchits@isa.ru.

O.M. Shatalova,

Udmurt Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk; Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia; e-mail: oshatalova@mail.ru

E.V. Kasatkina,

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia; e-mail: e.v.trushkova@gmail.com

Received 02.02.2023

The article was prepared according to the Program of Fundamental Scientific Research of the State Academies of Sciences and the research plan of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences for 2021–2023 (theme “Methodology of innovative development of region-oriented systems in an unstable economic environment”).

Abstract. The article is devoted to the problem of high inter-regional differentiation of the economic area of the Russian Federation. The relevance of the research is due to the need to understand the role of the industrial sector in the economic inequality of regions. It is necessary for the systematization of the state regional policy and strategic forecasting of the innovative development of regionally oriented production systems. The purpose of the research was to identify an empirical relationship between the level of economic activity of industrial regions and their sectoral specifics. Based on a large array of statistical data, a long-term increase in the economic inequality of the regions of the Russian Federation and a high level of inter-regional differentiation are shown. During the research, the basic methods of mathematical statistics were used. The regression analysis allowed us to obtain a statistically significant confirmation of the hypothesis: the economic inequality of the regions is largely due to the nature of the industries localized on their territory. Some empirical patterns were also identified and statistically substantiated. It was established that the economy of industrially oriented regions depends mainly on extractive industries: the impact on the economic activity of the regions of the factor of localization of extractive industries is significantly (more than five times) higher than that of manufacturing industries. The results allowed us to conclude that the current trends may lead to further strengthening of inter-regional differentiation of the country's economic space. Also, the current situation entails the threat of deindustrialization of those regions that are now characterized by the concentration of high-tech industries. The research provides additional data support for industrial and structural policy priorities.

Keywords: regional economy, spatial development, regional differences, industrially oriented regions, economic specialization, statistical analysis, regression modeling.

JEL Classification: C38; O14; R11.

For reference: **Livshits V.N., Shatalova O.M., Kasatkina E.V.** (2023). Regional differences in the Russian Federation: An empirical analysis of the influence of territorial localization of industry sectors on the level of regional economic activity. *Economics and Mathematical Methods*, 59, 3, 77–90. DOI: 10.31857/S042473880026994-2 (in Russian).

Современные и перспективные возможности повышения экономической эффективности зернового хозяйства России

© 2023 г. В.И. Денисов

В.И. Денисов,

ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: lavtube@yandex.ru

Поступила в редакцию 29.11.2022

Аннотация. В статье оценены по критерию максимизации народнохозяйственной эффективности известные среди ученых-аграрников альтернативные направления развития производства и экспорта зерна во взаимосвязи с развитием производства и экспорта животноводческой продукции. Показаны трудности их производства и поставок на внешние рынки в изменившихся внешнеэкономических условиях. В связи с этим по-новому оцениваются известные концепции развития экспорта зерна и увеличения его потребления в животноводстве в качестве фуража с учетом вероятного снижения выпуска конечной продукции вследствие ограничения доступа российского агропрома к использованию высокопроизводительных технологий во всех его подразделениях, в том числе в зерновом хозяйстве. В отличие от известных аргументов, учитывающих отдельные плюсы и минусы разных направлений развития зернового подкомплекса АПК России, в статье предложены принцип и инструментарий их количественного измерения с использованием методов экономико-математического моделирования. Оно подсказывает как полное принятие или отказ от одного из направлений, так и оптимальное соотношение направлений экспорта и его объемы, соотношение экспортопроизводящих производств в растениеводстве и животноводстве.

Ключевые слова: экономическое развитие, экономика производства, производство АПК, оптимизация объемов экспорта.

Классификация JEL: Q02, Q18.

Для цитирования: Денисов В.И. (2023). Современные и перспективные возможности повышения экономической эффективности зернового хозяйства России // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 3. С. 91–99. DOI: 10.31857/S042473880023371-7

ВВЕДЕНИЕ

Зерновое хозяйство России, являясь одним из наиболее крупных подразделений АПК (27% валового производства сельского хозяйства продукции по стоимости, 19% — по объему в энергетическом эквиваленте, 14% объема всего производства в кормовых единицах)¹, длительное время показывает удовлетворительные результаты экономического развития. Среди отраслей АПК оно наиболее благополучно. Этому в значительной мере способствовал постоянный заметный рост экспорта зерна, являющийся следствием стабильно высокого спроса на мировом рынке.

Целью дальнейшего развития производства и экспорта зерна является выбор максимально эффективной экономической политики его развития в изменившихся внешних условиях хозяйствования — эмбарго со стороны стран Евросоюза на поставку в РФ высокотехнологичного оборудования и техники, в том числе для зернового хозяйства, элитных семян, техники переработки и хранения зерна, оборудования хлебопекарен, логистической инфраструктуры производства и реализации зерна и продуктов его переработки.

Целью решения научной проблемы сохранения позитивного тренда развития зерновой отрасли является не противодействие санкциям (это — задача общегосударственного управления), а поиск и реализация мер экономического характера внутри страны. Интересно и немаловажно в этой связи оценивание различных концепций развития зернового подкомплекса, тесно взаимодействующего с другими подразделениями АПК, — животноводческими отраслями посредством производства кормов, содержащих зерновой компонент.

¹ Включая экспортируемую продукцию. Рассчитано автором по данным Росстата (2010–2021 гг.).

РАЗЛИЧИЕ ВЗГЛЯДОВ НА РАЗВИТИЕ ЭКСПОРТА ФУРАЖНОГО ЗЕРНА И ЖИВОТНОВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Среди вопросов, связанных с исследованиями процессов развития АПК в России, и особенно его зернового хозяйства, длительное время среди ученых, специалистов руководства народнохозяйственного АПК обсуждается дилемма:

– приоритетное развитие экспорта продовольственного и кормового (ячмень, рожь, овес, кукуруза)² зерна с соответствующими высоким ресурсным (земельные, трудовые, энергетические, водные ресурсы) и финансовым общим обеспечениями этих производств;

– сокращение экспортного потенциала зерна с перемещением используемых для его производства ресурсов на отрасли животноводства, — молочного и мясного скотоводства, свиноводства, птицеводства, частично — овцеводства.

Позиция приоритетного развития экспорта выражена в постановлениях Правительства РФ «О стратегии инновационного развития»³ и «О мерах по повышению эффективности деятельности органов исполнительной власти»⁴. Учитывая высокую экономическую эффективность его дальнейшего роста, такого же мнения придерживаются ученые в исследованиях, посвященных этой проблеме (Алтухов, 2016; Олин, 2004; Saraykin, Yanbykh, Uzun, 2017; Uzun, Loginova 2016; Самыгин, Барышников, Мизюркина, 2017; Фальцман, 2017).

Другое мнение основывается на том, что сокращение экспорта кормового зерна позволит увеличивать его потребление в животноводстве и значит — увеличить выпуск животноводческой продукции с более высокой добавленной стоимостью, в том числе и в той ее части, которая отражается в ценах экспорта (Bobilev, Kudryavtseva, Yakovleva, 2015; Gataulina, Hockmann, Strokov, 2014; Дасковский, Киселёв, 2016; Гумеров, 2017; Крылатых, Белова, 2018).

Сегодня однозначный выбор среди этих позиций затруднен. Сторонники сокращения экспортного потенциала зерна рассматривают его экспорт как нежелательный. Их доводы против него аналогичны известному и справедливому мнению о неприемлемости экспорта сырой нефти, руды, леса, который повергает экономику РФ в сырьевую зависимость. Однако есть ряд причин сомневаться в безусловном принятии этой доктрины, если учесть вероятность изменения цен и затрат в обозначенных секторах АПК, особенно — цен экспорта зерна в целом (включая фуражное зерно), продуктов животноводства. Сейчас темпы роста цен экспорта мяса крупного рогатого скота замедляются в сравнении с ростом цен экспорта зерна (см. рисунок).



Рисунок. Приросты цен экспорта по отношению к уровню 1995–2000 гг., %

² Используются также в пищевой промышленности.

³ «Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года». Утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 декабря 2011 г. № 2227-р (https://digital.gov.ru/uploaded/files/2227-pril_1.pdf?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f).

⁴ «О мерах по повышению эффективности деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации». Постановление от 3 ноября 2012 г. № 1142. (<http://government.ru/docs/6292/>). «Русский хлеб к европейскому столу» (<https://www.rg.ru/2011/03/04/yasin.html>).

Таблица 1. Экспорт зерна из РФ в 2017–2020 гг., тыс. т

Продукция	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Пшеница	22 158,0	20 877,0	25 056,5	38 563,5
Ячмень	4006,9	5258,4	2867,0	5070,0
Рожь	93,2	123,3	3,2	30,8
Овес	7,0	16,9	14,4	75,2
Кукуруза	3479,9	3677,1	5323,3	5750,0
Рис	170,3	153,0	210,4	144,3
Гречка	37,9	37,5	15,7	102,7
Просо	82,7	67,3	70,6	0,5
Сорго	25,5	53,3	32,5	17,8
Горох	309,7	585,9	695,5	863,0
Нут	310,0	326,0	201,6	631,5
Всего	30 668,8	31 182,8	34 545,5	51 249,3

Источник: данные Росстата, 2021 г.

Но, главное, уже длительное время увеличивается разница между себестоимостью центнера мяса и зерна. Сейчас (в среднем за 2015–2021 гг.) она выше в 61,4 раза, тогда как в среднем за период 1995–2014 гг. была выше в 11,7 раза⁵. Таким образом, усиливаются две неблагоприятные для производства мяса тенденции: падают темпы роста цены реализации, увеличиваются затраты на производство единицы продукции. Аналогичные показатели для производства зерна имеют позитивную направленность.

Вследствие высокой капиталоемкости расширения мощностей предприятий животноводческой специализации, особенно производства мясной и молочной продукции, птицеводства, высокими для них являются общие приведенные затраты. Даже в период особенно интенсивного роста зернового хозяйства (1995–2005 гг.) текущие годовые издержки и приведенные к одному году капиталовложения в расчете на единицу продукции при расширении производства были ниже, чем совокупные затраты на прирост мощностей молочного и мясного скотоводства в 1,7 раза⁶. Сейчас (2015–2021 гг.) они ниже уже в 3,5 раза, даже несмотря на то что в последние годы ведется весьма малое строительство дополнительных мощностей в животноводстве. Для увеличения поголовья скота и его продуктивности потребуется значительно расширить площадь под кормовыми культурами (Liefert W., Serova, Liefert V., 2010; Svetlov, 2016; Uzun, 2017). Поэтому большие затраты на модернизацию производственной инфраструктуры, обслуживающей животноводство, будут дополнены сокращением посевных площадей других культур с соответствующим снижением их производства.

Сравнение зернового хозяйства и мясомолочной отрасли показывает, что уже сейчас приросты рентабельности по приведенным затратам для зерна и ценам экспорта выше соответствующих показателей в животноводстве. Это превышение в среднем за 2015–2021 гг. составляло 15%. С учетом сближения показателей цен реализации и опережающего роста затрат в животноводстве можно предположить, что эта тенденция продолжится.

Важным доводом в сомнительности предпочтения замены экспорта зерна экспортом мясной и молочной продукции может оказаться изменчивость динамики спроса на молоко и мясо, показывающая снижение темпов роста цен на мировом рынке. Очевидны трудности в завоевании рынка животноводческой продукции — мяса и молока даже в России. Пока предложения рынка в сравнении с внутренним спросом недостаточно, но он растет. Тем более, могут возникнуть трудности в продаже российских продуктов животноводства на мировом рынке, и не только в связи с внешним эмбарго. Потеснить традиционных поставщиков — Аргентину, страны ЕС, Новую Зеландию, а в ближайшем будущем Китай — будет трудно. Если это все же удастся, мировые цены на мясо, молоко и шерсть упадут. Российская экономика не получит должного результата в виде прибыли от экспорта.

Кукуруза, овес, ячмень, рожь потребляются как фураж либо как сырье для производства продуктов питания — бакалеи, хлеба, круп, диетических продуктов и др., производство которых создает больше добавленной стоимости. Но это не может усилить возражения сторонников ограничения

⁵ Рассчитано по данным: Росстат и (Назаренко, 2010, 2011, 2014).

⁶ Рассчитано по данным: Росстат и (Назаренко, 2010, 2011, 2014).

экспорта зерновых, так как доля вывоза зерна этих культур на внешний рынок не столь велика (табл. 1) и ограничена спросом. В среднем за 2017–2021 гг. она составляла 24% общего экспорта зерновых, пшеницы продовольственной — 76%.

Предлагаемое сокращение экспорта кормового зерна, в конечном счете, ставит задачу расширения кормовой базы внутри страны и соответственно — увеличения производства и экспорта животноводческой продукции сверх нынешнего уровня (Крылатых, Белова, 2018). Но следует учитывать, что любое расширение производства потребует увеличения текущих годовых затрат внутри хозяйств (особенно — затрат дефицитного в сельском хозяйстве труда), и также должны быть значительно увеличены капиталовложения на строительство животноводческих помещений, покупку электрогенераторов, расширение хранилищ, вольеров, птичников и многое другое. Обязательны также будут издержки на расширение межхозяйственной инфраструктуры, обслуживающей продвижение увеличенных объемов продукции на экспорт, внутри страны (строительство терминалов, хладокомбинатов, хранилищ, дополнительных мощностей переработки, дорог и т.д.).

Этих дополнительных затрат нет у производства кормов, поставляемых на внешний рынок на нынешнем уровне. Они были сделаны ранее. Таким образом, неизбежность дополнительных внутрихозяйственных и общетерриториальных издержек при стабильности всех других условий вызовет снижение конечной народнохозяйственной прибыли.

Важно также при сравнении обеих позиций об экспорте зерна учесть фактор времени — отдаленность получения прибыли, и, по сути, ее частичное понижение при новом капитальном строительстве. Это обесценивание можно заметить, если учесть временной лаг освоения новых мощностей и дисконтирование прибыли во времени для варианта сокращения экспорта кормового зерна.

Незавершенность дискуссии подтверждается также игнорированием в ней факта наличия у растениеводства и животноводства в хозяйстве любого масштаба общих производственных ресурсов — природных, трудовых, финансовых. Учет этой общности, так же как и всего множества названных факторов, возможен при оптимизации соотношения между искомыми интенсивностями сравниваемых вариантов экспорта.

ОПТИМИЗАЦИЯ СООТНОШЕНИЯ ЭКСПОРТА КОРМОВОГО ЗЕРНА И ЖИВОТНОВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Отмеченные плюсы и минусы эвристически сравниваемых вариантов не позволяют сделать окончательного выбора того или другого, поскольку оценивание последствий принятия решений не подкреплено количественным анализом их результатов. Наиболее верным принципом их сравнения может стать постановка и решение экономико-математической задачи оптимизации соотношения планируемых вариантов по критерию максимизации экономической эффективности развития.

Поскольку в нашем исследовании главной задачей является поиск общего принципа соизмерения экономической эффективности вариантов экспорта кормового зерна и животноводческой продукции, мы рассматриваем упрощенную модель для микро- и мезоуровня — предприятия, агрохолдинга, регионального АПК. Это окажется эффективным в принятии решения на этих уровнях управления. Далее возможным станет распространение этой практики в масштабах народного хозяйства. Упрощенная версия модели предлагает ее следующую постановку:

$$Y = \left(\sum_{j \in MJ} \sum_{e \in ME} Z_{je} X_{je} + \sum_{j \in MF} \sum_{f \in MG} Z_{jf} Y_{jf} \right) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где Y — общая (суммарная) прибыль от экспорта кормового зерна и продукции животноводства; X_{je} — искомый объем (ц, т) экспорта зернового корма (фуража) вида j покупателю e ; Z_{je} — известная (рассчитанная) прибыль от экспорта единицы продукции кормового зерна вида j по направлению e ; $Z_{je} = P_{je} - \sum_{i \in MI} d_{ij}$; P_{je} — цена экспорта единицы продукта j покупателю e (выручка); $\sum_{i \in MI} d_{ij}$ — полная себестоимость по приведенным затратам (руб./ц) единицы продукта j ; d_{ij} — приведенные затраты (руб./ц) вида i в расчете на единицу продукта j ; MI — множество всех видов затрат на производство кормового зерна (оплата труда, удобрения, семена, горюче-смазочные материалы и т.д.); $d_{ij} = r_{ij} / w_j$, где: r_{ij} — затраты (руб.) вида i на 1 га культуры (фуража) j ; w_j — урожайность культуры j (ц/га).

Таким образом, $Z_{je} = P_{je} - \sum_{i \in MI} r_{ij} / w_j$, MJ — множество видов кормового зерна (овес, ячмень, рожь и т.д.), идущего на экспорт; ME — множество возможных направлений экспорта кормового

зерна (страны, закупочные компании); y_{fg} — искомый объем (ц, т) экспорта животноводческой продукции вида f по направлению g .

Объемы производства животноводческой и растениеводческой продукции для внутреннего потребления (без экспорта), так же как и расход ресурсов на их производство, известны (заданы) и не отражены в модели). Z_{fg} — известная (рассчитанная) прибыль от экспорта единицы объема животноводческой продукции f по направлению g (руб.).

Показатели, используемые при расчетах Z_{je} и Z_{fg} , являются основными в списке бухгалтерских данных хозяйствующего субъекта. $Z_{jf} = P_{fg} - \sum_{n \in N} d_{nf}$, где P_{fg} — цена экспорта единицы продукта f покупателю g (выручка); $\sum_{n \in MN} d_{nf}$ — полная себестоимость единицы продукта f (руб./ц); d_{nf} — затраты вида n на единицу продукта f (руб./ц); MN — множество всех видов затрат на производство животноводческой продукции; ML — множество видов затрат в животноводстве (труд, электроэнергия, сено, силос, витаминные добавки, медикаменты и т.д.), без затрат на зернофураж; $MN = MI \cup \setminus ML$; $d_{nf} = r_{nf} / w_f$, где r_{nf} — затраты вида n на 1 голову скота (руб.); w_f — продуктивность скота f (надой молока, настриг шерсти и т.д.) — центнеры, кг.

Таким образом, $Z_{fg} = \sum_{n \in MN} r_{nf} / w_f$, где MF — множество видов продукции животноводства (молоко, мясо, шерсть, яйца). Ограничения: MG — множество возможных направлений экспорта животноводческой продукции — $ME \cap MG$.

В случае учета множества технологий производства растениеводческой и животноводческой продукции соответственно варьируют все коэффициенты затрат, выпуска, чистоты дохода.

ОГРАНИЧЕНИЯ МОДЕЛИ

$$x_{je} \leq k_{je}, \quad y_{fg} \leq k_{fg},$$

где k_{je} и k_{fg} — максимально возможные по запросам внешнего рынка объемы (ц, т) экспорта продуктов j и f по определенным направлениям (e, g).

$$\sum_{j \in MJ} \sum_{e \in ME} a_{sj} x_{je} + \sum_{j \in MF} \sum_{g \in MG} a_{sf} y_{fg} \leq S,$$

где a_{sj} — известная площадь земли (га), необходимая для произрастания единицы корма j (ц), независимо от направления экспорта; $a_{sj} = 1 / w_j$; a_{sf} — известная площадь земли, необходимая для производства единицы продукта f .

$$a_{sf} = \sum_{j \in MJ} \alpha_j h_{jf} / w_f = \sum_{j \in MJ} \alpha_j h_{jf} \beta_f, \quad \alpha_j = 1 / w_j,$$

где h_{jf} — известный норматив расхода корма j на одно животное вида f ; $\beta_f = 1 / w_f$; S — выделенная площадь земли под всеми кормовыми культурами.

$$\sum_{j \in MJ} \sum_{e \in ME} a_{ij} x_{je} + \sum_{f \in MF} \sum_{g \in MG} a_{vf} y_{fg} \leq T, \tag{2}$$

где a_{ij} — известная потребность в труде (человеко-дней) для выращивания 1 ц корма j ($t \in MI$); a_{vf} — известная потребность в труде (человеко-дней) для производства 1 ц продукции ($\tau \in ML$); T — доступный ресурс труда для производства кормов и животноводческой продукции (человеко-дней в год).

$$\sum_{i \in MI} \sum_{j \in MJ} \sum_{e \in ME} d_{ij} x_{je} + \sum_{n \in MN} \sum_{f \in MF} \sum_{g \in MG} d_{nf} y_{fg} \leq D, \tag{3}$$

где D — доступный лимит текущих годовых издержек, включающий собственные и привлеченные средства (кредит, государственная поддержка).

Не учитываем капитальные затраты (вложения), так как в этом случае необходима динамическая постановка за ряд лет и учет дисконта (понижения со временем) чистого дохода — понижения эффективности вложений. Такая постановка сложнее, но дает более точное (адекватное) решение. Но цель статьи — показать возможность оптимизации соотношения экспорта фуража и продукции животноводства. Усложненная постановка нужна для практического решения (получения результата) для конкретного хозяйствующего субъекта.

Более сложное формулирование модели предполагает ее линейно-динамическую постановку с учетом возможных колебаний урожая и продуктивности скота по годам с предварительным расчетом вероятностей их понижения, увеличения в отдельные годы и размера изменений. Этот учет

отражается на изменении по годам прибыли от экспорта зерна и продуктов животноводства. Также предусмотрен учет ее зависимости от продолжительности и интенсивности строительства дополнительных мощностей. В этом случае ряд переменных дополнен искомыми объемами производства и строительства при его различных технологических способах. Также учитывается дисконт прибыли по годам периода.

Рассмотрение возможности экономико-математического моделирования и расчета оптимального соотношения объемов экспорта кормов и продуктов животноводства помогает более определенно ответить на вопрос, что выгодней из сравниваемых вариантов, поскольку используются их количественные характеристики и видны конечные результаты выбора. При этом весьма вероятен выбор именно соотношения направлений роста вместо однозначных решений.

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЭКСПОРТА ЗЕРНА ИЗ РОССИИ: СВЯЗИ И РАЗЛИЧИЯ ПОДХОДОВ К АНАЛИЗУ, РЕШЕНИЯМ

Первоначально планируемый поиск модели, описывающей ситуацию функционирования двух конкурирующих и в то же время взаимозависимых (общность ресурсов, категории реализации — экспорт) субъектов — растениеводства и животноводства, подсказывал направление исследования ситуации при разрешении конфликта интересов посредством теоретико-игрового моделирования (Bareilly, Meneghel, 2013; Bich, 2009). Последующий анализ показал возможность использования при решении задачи известных принципов построения статической модели линейного программирования по одной из версий поиска оптимума по Парето (Вилкас, Майминас, 1968; Карлин, 1964), так как были приняты во внимание возможности количественных измерений и практических расчетов искомым параметрам; возможности относительно несложного конструирования рабочей матрицы при заполнении ее известными коэффициентами затрат, выпуска, ограничениями их объемов.

В современных исследованиях проблемы развития экспорта зерна значительное место отведено использованию разных классов и методов экономико-математического моделирования. Так, на основе модели сценарного прогнозирования объемов российского экспорта зерна (Киселев, Ромашкин, Белугин, 2022) определяются его вероятные величины на период до 2030 г. Особенность работы — сценарный подход к прогнозированию объемов производства и экспорта сельскохозяйственной продукции по вариантам изменения условий. Общими в разработках — нашей и названных авторов — являются объекты исследований — экспорт сельскохозяйственной продукции, экономики АПК. Различие — в целях, постановке задач, принципах решений. Цели научного анализа, проведенного авторами, включают такие как предвидение объемов поставок зерна на внешние рынки при динамике внутренних и внешних условий, выявление основных экспортируемых сельскохозяйственных продуктов (зерно, подсолнечное масло), выявление мер, стимулирующих увеличение экспорта. Цель нашего исследования — разрешить давний и небезосновательный спор о том, что экономически целесообразней: вывозить часть производимого в стране фуражного зерна или целиком использовать его для нужд животноводства. В имеющихся разработках (изложенных во введении) отмечены отдельные преимущества или недостатки того или иного варианта, часто с заведомо предпочитаемым выбором.

Нет оснований считать, что существующие пропорции между объемами экспорта кормового зерна (пока они невелики) и оставлением его на фермах идеальны для максимизации экономической эффективности производства АПК и роста объемов ВВП. Экономически обоснованный выбор соотношения между использованием общих ресурсов в животноводстве и зерновом хозяйстве, поставляющих продукцию на экспорт, может быть определен при оптимизации этой продукции с помощью одной из классических версий экономико-математического моделирования развития АПК, где учитываются важнейшие взаимосвязи животноводства и растениеводства при общности основных ресурсов, варианты производственной специализации и варианты направлений экспорта для каждого животноводческого продукта, пищевого и фуражного зерна с обязательным учетом цен продаж, возможного в краткосрочном ближайшем периоде, и при учете ограниченных разных направлений и объемов экспорта.

Другие разработки в этой области также сходны с нашими в плане выбора объекта исследования — развития рынка продукции АПК с выделением продуктов животноводства. Так, в исследованиях (Бородин, 2019, 2020) дается среднесрочный прогноз развития российского рынка животноводческой продукции — сыра, мяса, птицы при учете воздействия на их производство и реализацию факторов, связанных с распространением пандемии. В отличие от названных работ

предлагаемая нами модель воспроизводит более широкий спектр связей производства с экспортом растениеводческой и животноводческой продукции. Главное внимание уделяется принципам соотношения между экономической эффективностью экспорта фуража и продукции животноводства. Нынешнее соотношение этих объемов, вероятно, не является оптимальным.

Другие современные исследования, посвященные экономике аграрной отрасли РФ, экспорту ее продукции, и также родственные по тематике, отражаемой в нашей статье, по-разному освещают проблемы, связанные с развитием этого важного сектора материального производства. Среди них заметны исследования (Uzun, Loginova, 2016), посвященные анализу влияния продуктового эмбарго на изменение рынка продовольствия. Также актуальны работы, оценивающие развитие сельскохозяйственного производства в связи с проведением аграрной реформы (Uzun, Letman, 2017), исследования технологий и доступности рынков реализации земледельческой продукции для разных организационно-правовых категорий хозяйств (Gataulina, Hockmann, Strokov, 2014). Эти работы (и многие другие) связаны если не с решением поставленных в нашем исследовании задач, то — общностью цели — возможностью увидеть повышение экономической эффективности народнохозяйственного агропромышленного комплекса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрение возможных направлений развития двух названных хозяйственных комплексов в аграрном секторе экономики России не ограничивается решением задачи оптимизации их соотношения. Оно должно способствовать достижению общей цели — ускорению народнохозяйственного развития, которое предусматривает обеспечение продовольственной безопасности страны. Помимо оптимизации структуры экспорта возможна оптимизация объемов продаж сельскохозяйственной продукции в качестве продовольствия внутри страны. Они увеличиваются в годы, когда затруднен или отсутствует экспорт. Такое насыщение оптового и розничного рынков способствует в общем случае сдерживанию роста цен в наименее защищенном от инфляции товарно-потребительском секторе. Затоваривание внутреннего рынка хлебопродуктов маловероятно: традиционно в России потребление хлеба выше, чем, например, в странах Средиземноморья, Дальнего Востока. (В первом случае среднедушевое потребление в России выше в 2,4 раза, во втором — в 1,7 раза.)⁷

Учет колебания объемов экспорта по годам необходим для определения оптимальных мощностей хранения, переработки продукции для всего периода: их недостаток в отдельные годы (снижение вывоза на внешние рынки и соответствующий рост предложения внутри страны) требует их дополнительного строительства в целях исключения ущерба от порчи продукции и затоваривания. Но такое строительство не должно быть избыточным, так как простаивание мощностей снижает экономическую эффективность их использования. Рассмотренная экономико-математическая модель дает возможность определить эти оптимальные мощности с использованием переменных x_{je} и y_{fg} , значения которых рассчитываются в процессе решения задачи.

Ожидаемые сопутствующие результаты оптимизации объемов экспорта растениеводческой (зерно) и животноводческой продукции, включаемой в программу повышения продовольственной безопасности страны, проявятся в увеличении доходов народного хозяйства от экспорта сельхозпродукции и сырья, увеличении доли отечественных продуктов с высокой добавленной стоимостью, что, в свою очередь, способствует ослаблению сырьевой зависимости экономики страны. Ожидаемы также диверсификация материального производства в целом по народному хозяйству вследствие развития всех сфер АПК, увеличение доходов государственного бюджета от экспорта и дополнительных налогов с увеличивающихся масштабов материального производства и использования природных ресурсов в сельском хозяйстве.

Рассмотренный общий принцип принятия решений по обсуждаемой проблеме, как один из возможных, может быть рекомендован управляющему субъекту, органу административного и хозяйственного руководства любого уровня с участием ученых и специалистов в области экономического анализа, статистики, экономико-математического моделирования.

⁷ Рассчитано по данным Росстат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Алтухов Э.Ш.** (2016). Состояние рынка зерна государств–участников СНГ // *АПК: экономика, управление*. № 2. С. 49–63. [Altukhov E.Sh. (2016). State of the grain market of the CIS member states. *AIC. Economics, Management*, 2, 49–63 (in Russian).]
- Бородин К.** (2019). Среднесрочный прогноз развития российского рынка сыра // *Никоновские чтения*. № 24. С. 199–202. [Borodin K. (2019). Medium-term forecast for the development of the Russian cheese market. *Nikonov's lecturing (Nikonovskie chteniya)*, 24, 199–202 (in Russian).]
- Бородин К.** (2020). Прогноз развития рынка агропродовольственной продукции с учетом эффекта пандемии (на примере рынка мяса птицы) // *Научные труды Вольного экономического общества России*. № 4 (224). С. 103–116. DOI: 10.38197/2072-2060-2020-224-4-103-116 [Borodin K. (2020). Forecast of the development of the agri-food market taking into account the pandemic effect (example of the poultry-meat market). *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*, 4 (224), 103–116. DOI: 10.38197/2072-2060-2020-224-4-103-116 (in Russian).]
- Вилкас Э.Й., Майминас Е.З.** (1968). К проблеме сложных решений (постановка и подходы) // *Кибернетика*. № 5. С. 68–73. [Vilkas E.J., Maiminas E.Z. (1968). On the problem of complex solutions (statement and approaches). *Cybernetics (Kibernetika)*, 5, 68–73 (in Russian).]
- Гумеров Р.Р.** (2017). Российский зерновой экспорт: не повторять ошибок прошлого // *ЭКО*. № 1. С. 5–19. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2017-1-5-19 [Gumerov R.R. (2017). Russian grain export. Do not repeat the mistakes of the past. *ECO Journal*, 1, 5–19 DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2017-1-5-19 (in Russian).]
- Дасковский В., Кисилев В.** (2016). К программе оптимизации организационной структуры народного хозяйства // *Экономист*. № 7. С. 3–20. [Daskovsky V., Kisilev V. (2016). To the program for optimizing the organizational structure of the national economy. *Economist*, 7, 3–20 (in Russian).]
- Карлин С.** (1964). Математические методы в теории игр, программировании и экономике. Пер. с англ. М.: Мир. С. 253–256. [Karlin S. (1964). *Mathematical methods in game theory, programming and economics*. Moscow: Mir, 253–256 (in Russian).]
- Киселев С.В., Ромашкин Р.А., Белугин А.Ю.** (2022). Агропродовольственный экспорт России до 2030 г.: прогноз на основе модели частичного равновесия // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 4 (56). С. 69–90. DOI: 10.31737/2221-2264-2022-56-4-4 [Kiselev S.V., Romashkin R.A., Belugin A. Yu. (2022). Russia's agri-food exports until 2030: Projection from a partial equilibrium model. *Journal of the New Economic Association*, 4 (56), 69–90 DOI: 10.31737/2221-2264-2022-56-4-4 (in Russian).]
- Крылатых Э.Н., Белова Т.Н.** (2018). Экспорт российского зерна в контексте формирования региональной экономической политики // *Экономика региона*. Т. 14 (3). С. 778–790. [Krylatykh E.N., Belova T.N. (2018). Russian grain exports in the context of regional economic policy. *Economics of the Region*, 14 (3), 778–790 (in Russian).]
- Назаренко В.И.** (2010). Мировое сельское хозяйство и Россия. Екатеринбург: Уральская сельскохозяйственная академия. 353 с. [Nazarenko V.I. (2010). *World agriculture and Russia*. Yekaterinburg: Ural Agricultural Academy. 353 p. (in Russian).]
- Назаренко В.И.** (2011). Мировое продовольственное хозяйство. М.: Издательство РГАУ–МСХА. 273 с. [Nazarenko V.I. (2011). *World food economy*. Moscow: Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy. 273 p. (in Russian).]
- Назаренко В.И.** (2014). Продовольственная безопасность. М.: Памятники исторической мысли. 284 с. [Nazarenko V.I. (2014). *Food security*. Moscow: Pamiatniki istoricheskoi mysli. 284 p. (in Russian).]
- Олин Б.** (2004). Межрегиональная и международная торговля. М.: Дело. 416 с. [Olin B. (2004). *Interregional and international trade*. Moscow: Delo. 416 p. (in Russian).]
- Самыгин Д.Ю., Барышников Н.Г., Мизюркина Л.А.** (2017). Проектная модель развития аграрной экономики. Продовольственный аспект // *Экономика региона*. Т. 13. № 2. С. 591–603. DOI: 10.17059/2017-2-23 [Samygin D. Yu., Baryshnikov N.G., Mizyurkina L.A. (2017). Design model for the development of agrarian economy: Food aspect. *Economy of Region*, 13, 2, 591–603. DOI: 10.17059/2017-2-23 (in Russian).]
- Фальцман В.** (2017). Кризис ВЭД России. Пути преодоления // *Мировая экономика и международные отношения*. № 5. С. 57–66. DOI: 10.20542/0131-22272017615-57-66 [Fal'tsman V. (2017). Crisis in Russia's foreign economic activities: Ways to overcome. *World Economy and International Relations*, 61, 5, 57–66. DOI: 10.20542/0131-22272017615-57-66 (in Russian).]
- Bareilly P., Meneghel I.** (2013). A note on the equilibrium existence problem in discontinuous games. *Econometrica*, 81 (2), 813–824.
- Bich P.** (2009). Existence of pure Nash equilibrium in discontinuous and non quasi concave games. *International Journal of Game Theory*, 144 (3), 1333–1340.

- Bobylev S.N., Kudryavtseva O.V., Yakovleva Ye. Yu.** (2015). Regional priorities of green economy // *Экономика региона. 2*. С. 148–160. [Bobylev S.N., Kudryavtseva O.V., Yakovleva Ye. Yu. (2015). Regional priorities of green economy. *Economy of the Region*, 2, 148–160 (in English).]
- Gataulina E., Hockmann H., Strokov A.** (2014). Production risk, technology and market access in different organizational forms: Evidence from Tatarstan and Oryol. *Journal of International Agriculture*, 53, 4, 293–318.
- Liefert W.M., Serova E., Liefert V.** (2010). The growing importance of the former USSR countries in World agricultural markets. *Agricultural Economics*, 41, 1, 65–71.
- Svetlov N.M.** (2016). How to withstand uncertainty in Russian wheat market. *News of the Timiryazev Agricultural Academy*, 6, 108–129.
- Saraykin V., Yanbykh R., Uzun V.** (2017). *Assessing the potential for Russian grain exports: A special focus on the prospective cultivation of abandoned land. The Eurasian wheat belt and regional aspects*. IPTS JRC: Seville. 318 p.
- Uzun V. Ya., Loginova D.A.** (2016). Russian food embargo: Minor losses in western counties. *Russian Economic Developments*, 9, 32–37.
- Uzun V., Lerman Z.** (2017). Outcomes of agrarian reform in Russia. M. Keyzer, M. Merbis (eds). *The Eurasian wheat belt and food security: Global and regional aspects*. Seville: IPTS JRC, 81–101.

Modern and promising opportunities to improve the economic efficiency of grain farming in Russia

© 2023 V.I. Denisov

V.I. Denisov,

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
e-mail: lavtube@yandex.ru

Received 29.11.2022

Abstract. The article evaluates, according to the criterion of maximizing national economic efficiency, alternative directions for the development of grain production and export known among agricultural scientists in conjunction with the development of production and export of livestock products. The difficulties of their production and supply to foreign markets in the changed external economic conditions are shown. In this regard, the well-known concepts of developing grain exports and increasing its consumption in animal husbandry as fodder are assessed in a new way, taking into account the likely decrease in the output of final products due to the limited access of the Russian agricultural industry to the use of high-performance technologies in all its divisions, including grain farming. In contrast to the well-known arguments that take into account the individual pros and cons of different areas of development of the grain subcomplex of the agro-industrial complex of Russia, the article proposes the principle and tools for their quantitative measurement using methods of economic and mathematical modeling. It suggests both the complete acceptance or rejection of one of the directions, as well as their optimal ratio of export directions and its volumes, the ratio of export-producing industries in crop production and animal husbandry.

Keywords: economics of production and export of grain, livestock products, optimization of the ratio of development options.

JEL Classification: Q02, Q18.

For reference: **Denisov V.I.** (2023). Modern and promising opportunities to improve the economic efficiency of grain farming in Russia. *Economics and Mathematical Methods*, 59, 3, 91–99. DOI: 10.31857/S042473880023371-7 (in Russian).

Управление развитием здравоохранения Китая и России с использованием прогностической Грей-модели и модели авторегрессионной зависимости

© 2023 г. П. Хэ, Е. В. Костырин

П. Хэ,

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва; e-mail: pinghe7483@gmail.com

Е. В. Костырин,

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва; e-mail: kostyrinev@bmsu.ru

Поступила в редакцию 28.11.2022

Аннотация. В статье рассматриваются возможные риски для фондов медицинского страхования, связанные со старением населения и распространенностью инфекционных заболеваний. Проведено структурное моделирование существующих систем финансирования медицинского страхования в Китае и России и проанализирован потенциальный риск чрезмерного давления на расходы в обеих странах. Учитывая характеристики потоков финансирования медицинского страхования, для моделирования и прогнозирования потоков финансирования медицинского страхования в этих странах были выбраны модель Грея и модель авторегрессии. Результаты прогнозирования учитываются в модели управления, и по ним делается оптимизация управления системами медицинского страхования. Новизна данной работы заключается не только в анализе структуры системы финансирования медицинского страхования, но и в использовании прогностической модели для предложения оптимизированных управленческих решений. Полученные результаты обеспечивают теоретическую поддержку в принятии решений для управления национальным медицинским страхованием. Результаты проведенной апробации оптимизированной модели на данных российского медицинского страхования показывают, что оптимизированное решение не только улучшает дефицит финансирования, но и делает его безубыточным.

Ключевые слова: Федеральный фонд обязательного медицинского страхования, обязательное медицинское страхование, крупномасштабные системы, здравоохранение Китая, Грей-модель прогнозирования, медицинские накопительные счета, система финансирования, экономическая эффективность, управление.

Классификация JEL: С61, С63, G23, I13.

Для цитирования: Хэ П., Костырин Е. В. (2023). Управление развитием здравоохранения Китая и России с использованием прогностической Грей-модели и модели авторегрессионной зависимости // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 3. С. 100–116. DOI: 10.31857/S042473880023259-3

ВВЕДЕНИЕ

В Китае медицинские накопительные счета (МНС) были введены в качестве пилотного проекта в 1994 г. в городах Чжэньцзян и Цзюцзян с общим населением 5 млн человек¹. С 1998 г. система МНС была распространена на всю страну в соответствии с решением Государственного совета КНР «О создании системы базового медицинского страхования работников в городской местности»². К концу 2021 г. число людей, застрахованных по базовому медицинскому страхованию, достигло 1 362,97 млн человек по всей стране, что составляет 95% общего числа застрахованных в стране. Внедрение МНС значительно повысило эффективность финансирования здравоохранения. К 2021 г. общий доход Национального базового фонда медицинского страхования (НБФМС) составил 2 872,75 млрд юаней, что на 15,6% больше, чем в 2020 г.; общий расход — 2 404,30 млрд юаней,

¹ Документ Государственного совета «Утверждение пилотной программы реформы системы медицинского обеспечения работников в городе Чжэньцзян провинции Цзянсу и городе Цзюцзян провинции Цзянси». Государственное письмо. 1994. № 116 (http://www.gov.cn/zhengce/content/2010-12/29/content_6461.htm).

² Guo Fa no. 44, 1998. «Решение Государственного совета о создании базовой системы медицинского страхования для городских работников».

что на 14,3% больше, чем в 2020 г.; накопленный профицит — 3615,63 млрд юаней. Таким образом, данные по страхованию в Китае дают хорошее представление о реальной ситуации в системе МНС.

Для создания практической экономико-математической модели мы сначала анализируем возможные риски всей этой системы с помощью моделирования структуры системы. Затем мы используем исторические данные для анализа реализации системы в прошлом, а затем строим прогнозы обоснованных оценок будущих потоков финансирования на основе модели Грея. На основе результатов прогнозов оценивается эффективность системы МНС в Китае и анализируется возможность тиражирования китайского опыта в Российской Федерации.

Модель прогнозирования Грея (1, 1) предназначена для краткосрочного прогнозирования в условиях, когда числа наблюдений недостаточно, а объектом исследования должна быть «серая система», которая может быть охарактеризована следующим образом:

- «белый» — полностью известны внутренние характеристики системы, и системной информации полностью достаточно, она общедоступна;
- «черный» — внутренние характеристики системы неизвестны и могут быть изучены только путем наблюдения за ее связью с внешним миром;
- «серый» — промежуточный прогноз между «белым» и «черным» — известна только часть информации в системе и существует неопределенная связь между различными факторами в системе³.

В статье используется модель серого предсказания для потока средств медицинского страхования в Китае.

Таким образом, целью настоящего исследования является количественная оценка финансовых потоков (доходов и расходов) китайской и российской систем финансирования здравоохранения. Были разработаны и внедрены модели прогнозирования и анализа доходов и расходов в рамках различных систем на пятилетний период: модель Грея — для управления возможными будущими рисками в рамках НБФМС в Китае; модель авторегрессии — для управления системой финансирования в рамках обязательного медицинского страхования (ОМС) в России. В статье также анализируется целесообразность внедрения МНС в российскую систему финансирования здравоохранения на основе опыта использования МНС в Китае.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Устойчивое развитие Фонда медицинского страхования (ФМС) и предотвращение риска дефицита являются ключом к бесперебойному внедрению системы медицинского страхования. В ранних исследованиях (Lang, Xia, 2021, с. 30–34; Успенская, Манухина, Юрина, 2018, с. 10) некоторые ученые отмечали дисбаланс в потоке средств в существующей системе медицинского страхования. Поэтому использование математических моделей очень важно для прогноза доходов и расходов ФМС рассматриваемых стран.

На доходы ФМС влияют такие факторы, как уровень экономического развития, уровень доходов населения, число застрахованных лиц, платежная база и другие факторы. В то же время из-за ограниченности официальных данных все данные о доходах и расходах Фонда, используемые в этой статье, являются данными за период с 2006 по 2021 г., т.е. данными малой выборки. Исходя из этого, для прогнозирования ФМС Китая была выбрана Грей-модель с возрастающей размерностью.

В 1982 г. Дэн Цзюлун (Deng, 1989, р. 24) впервые предложил теорию «серого прогнозирования» (Грей-теорию), показавшую большой потенциал в изучении неопределенностей в условиях ограниченной информации и недостатка данных в ситуациях с малыми выборками (Симел, 2019, р. 75; Янг, 2018, р. 97).

Традиционная прогностическая Грей-модель (GM (1,1)) дает хороший результат только в краткосрочной перспективе, но Грей-модель с равномерно увеличивающейся размерностью может обновляться и предсказывать новую информацию с течением времени (Цзяо, Ван, 2018, р. 16–21). Со временем параметры модели могут измениться, поэтому результаты прогнозов постоянно пересматриваются. Для случаев, когда российские данные явно непригодны для прогнозирования с использованием Грей-модели (Томская, 2018, с. 45–50), в качестве прогностической применяется авто-регрессионная модель (Козыренко, 2019, с. 153–164). Поскольку модель интуитивно отражает

³ Большинство систем, с которыми мы сталкиваемся на практике, принадлежат к «серым» системам.

вес зависимости между значением переменной x в момент времени t и значением в момент времени $t-1, \dots, t-p$ (Хабарова, 2019, с. 189–197; Конахин, 2019, с. 111; Кратович, 2010, с. 69), она может лучше отражать последние изменения тренда.

КОНЦЕПЦИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ КИТАЯ

В 1998 г. на основе обобщения опыта Государственный Совет Китая обнародовал «Решение о создании Базовой системы медицинского страхования для городских рабочих». Это решение ознаменовало создание базовой системы медицинского страхования для городских рабочих в Китае (Ожогин, 2022, с. 53; Ли, 2022, с. 272; Соколов, 2019, с. 10).

Охват. Все работодатели в городских районах, включая предприятия, учреждения, государственные учреждения, социальные группы, частные некоммерческие подразделения и их сотрудников, должны участвовать в базовом медицинском страховании.

Способ оплаты. Основные страховые взносы по базовому медицинскому страхованию выплачиваются совместно работодателем и работниками. Размер выплат компании должен контролироваться Агентством по управлению социальным страхованием КНР на уровне около 6% общей заработной платы сотрудника, а конкретная величина должна определяться местным агентством медицинского страхования. Оплата сотрудников обычно должна составлять 2% их заработной платы.

Оплата фонда. НБФМС использует комбинацию социальных интегрированных и индивидуальных счетов, причем соответствующий счет используется в зависимости от вида полученной медицинской услуги.

Управление фондом. Агентство по управлению социальным страхованием КНР отвечает за сбор, управление и выплату средств базового медицинского страхования и должно создать и усовершенствовать систему бюджета и итоговой отчетности, систему финансового учета и систему внутреннего аудита.

Обобщив вышеперечисленные структурные особенности, мы создали модель системы МНС в Китае (рис. 1).

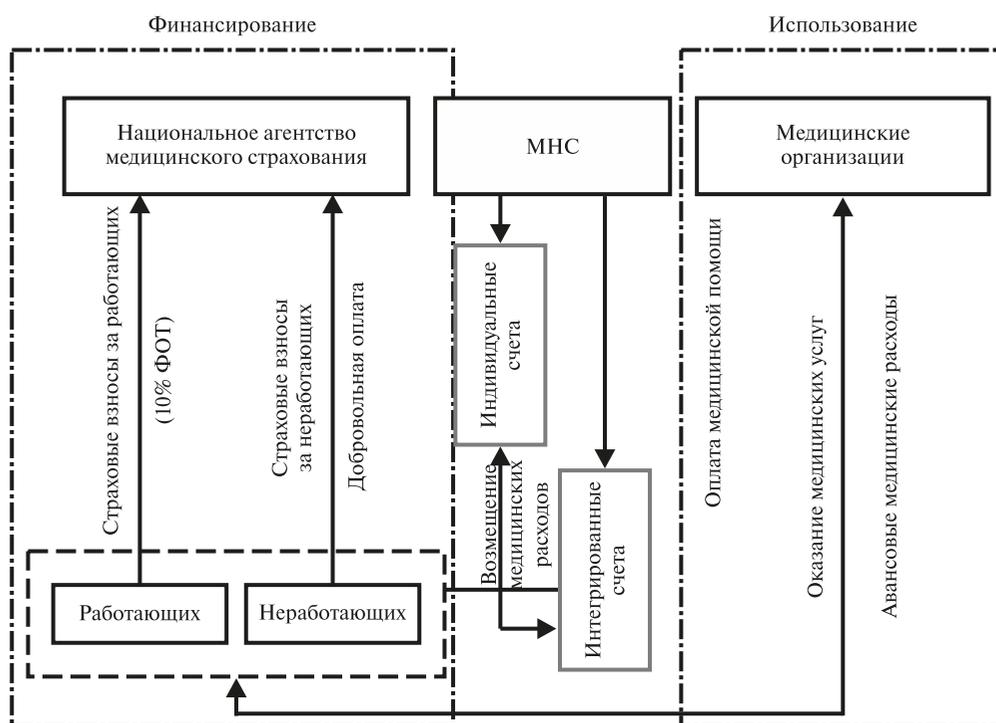


Рис. 1. Схема системы финансирования здравоохранения Китая на основе МНС

Источник: составлено авторами.

Используя структурную модель, мы анализируем следующие **преимущества** китайской системы финансирования, основанной на МНС:

– *граждане активны в поддержании своего здоровья.* Поскольку оставшиеся страховые взносы являются личной собственностью граждан и на них начисляются проценты, граждане сознательно относятся к улучшению своего здоровья;

– *коммерческая конкуренция между медицинскими организациями.* Поскольку пациенты могут сами выбирать медицинские учреждения, поэтому, чтобы привлечь пациентов, у медицинских организаций появляется стимул снижать стоимость лечения и повышать качество обслуживания. Это создает здоровую конкуренцию.

У китайской системы финансирования, основанной на МНС, также существуют **недостатки**:

– *высокое давление на расходы.* Поскольку средства на личном счете являются личными активами, нет никакой гарантии, что они будут полностью использованы в медицинских целях. К тому же существует угроза стать жертвой финансового мошенничества;

– *внедрение взаимного экономического счета было заблокировано.* С момента введения плана многие провинции по умолчанию могут использовать баланс средств только одного члена семьи и не могут формировать общего балансового фонда для совместного использования членами семьи. И сфера применения личных счетов относительно ограничена.

КОНЦЕПЦИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В 1990-е годы в России был создан новый инструмент — Фонд ОМС и появились новые субъекты — страховые медицинские организации (СМО). Целью этой системы является управление внесенными средствами медицинского страхования, заключение договоров с поставщиками медицинских услуг, имеющими на это право. Затем медицинское учреждение использует средства ОМС для предоставления соответствующих медицинских услуг застрахованному лицу. Подробный процесс показан на рис. 2. Структурная модель основана на анализе существующей системы финансирования здравоохранения в России (Соколов, 2020, с. 55–71; Дьячкова, 2022, с. 204; Амбросьева, Силаева, 2013, с. 3).

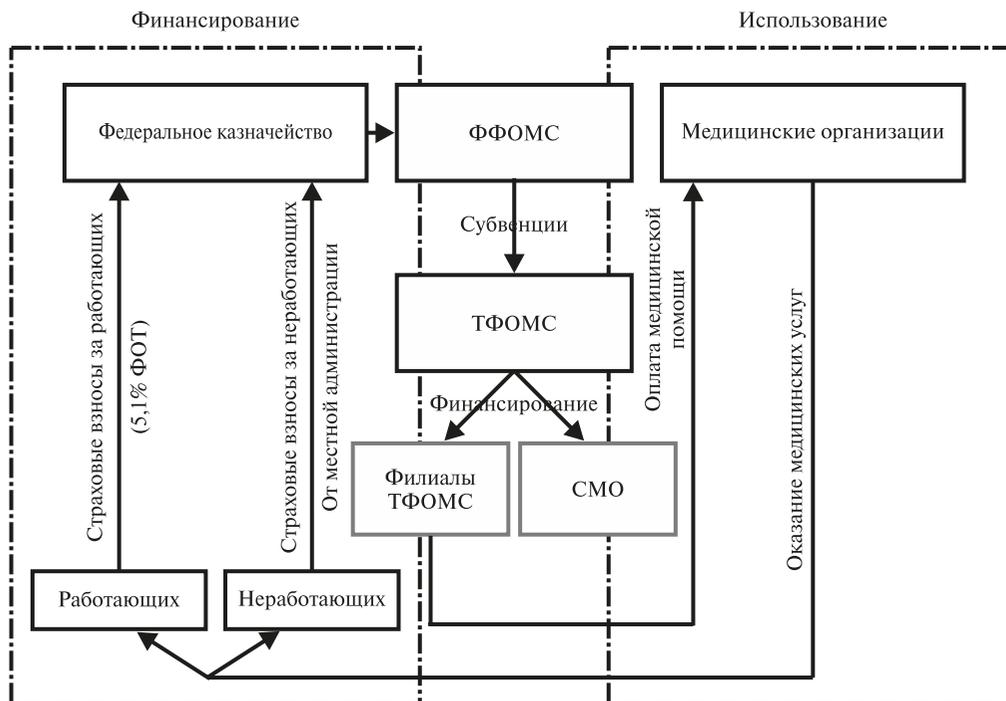


Рис. 2. Существующая схема системы финансирования ОМС РФ

В системе ОМС основными источниками финансирования медицинского страхования являются страховые взносы, уплачиваемые работниками, и взносы, уплачиваемые государственными учреждениями за неработающих. Фонд используется не путем внесения взносов на персональный МНС работающего, а общей суммой в ФФОМС, который распределяет эти деньги по ТФОМС. В ТФОМС поступают также деньги из территориальных бюджетов, а затем полученная сумма средств равномерно распределяется среди всех застрахованных граждан — как работающих, так и неработающих.

В сочетании с вышеупомянутым структурным моделированием МНС ключевыми моментами, которые ОМС необходимо оптимизировать, являются:

– система не мотивирует граждан заботиться о своем здоровье. Это связано с тем, что граждане отчисляют 5,1% своей заработной платы, но эти деньги не попадают на их счет, а идут в фонды и страховые компании;

– система не способствует развитию коммерческой конкуренции между поставщиками медицинских услуг, снижению стоимости медицинских услуг и повышению качества услуг. СМО выбирают поставщиков медицинских услуг для заключения контракта на фонд ОМС, что теоретически должно способствовать развитию конкуренции среди поставщиков медицинских услуг. Однако целью организаций здравоохранения является борьба за контракты, а не привлечение пациентов. В частности, после подписания контракта последующая работа по надзору за медицинской службой не проводится.

– система финансирования испытывает большое давление в плане расходов, поскольку работающие и неработающие пользуются абсолютно равными медицинскими правами.

МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ФИНАНСИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКОГО СТРАХОВАНИЯ В КИТАЕ

В этом исследовании используется годовая модель статистического прогнозирования данных медицинского страхования Китая. Доходы и расходы фонда медицинского страхования работающего населения Китая представлены в табл. 1.

Таблица 1. Базовая статистика медицинского страхования Китая с 2006 по 2020 г.

Год	Сумма доходов на медицинское страхование в Китае (граждане трудоспособного возраста), млрд юаней	Сумма расходов на медицинское страхование в Китае (граждане трудоспособного возраста), млрд юаней	Сумма остатков на медицинское страхование в Китае (граждане трудоспособного возраста), млрд юаней	Расходы на медицинское страхование на душу населения в Китае (граждане трудоспособного возраста), юаней
2006	174,7	127,6	47,1	811
2007	221,4	155,1	66,3	861
2008	304,0	208,4	95,6	1042
2009	342,0	263,0	79,0	1199
2010	395,5	327,2	68,3	1379
2011	494,5	401,8	92,7	1593
2012	606,1	486,8	119,3	1838
2013	706,1	582,9	123,2	2124
2014	803,7	669,6	134,1	2366
2015	908,3	753,1	155,2	2607
2016	1 027,3	828,6	198,7	2806
2017	1 227,8	946,6	281,2	3122
2018	1 353,7	1 070,6	283,1	3379
2019	1 584,5	1 266,3	318,2	3846
2020	1 573,2	1 286,7	286,5	3734
2021	1 896,8	1 486,3	410,5	4344

Источники: «Статистический ежегодник Китая», «Статистический ежегодник здравоохранения Китая 2006–2021 гг.», официальный сайт Китайской национальной службы здравоохранения (<http://www.nbphsp.org.cn>)⁴.

⁴ Официальный сайт Китайской национальной службы здравоохранения, 2021 г. «Основные услуги здравоохранения в Китае в 2021 году» (<http://www.nbphsp.org.cn>).

В модели Грея (1, 1) рассматривается гладкая дискретная функция. Чтобы определить производную «серого» и составить дифференциальное уравнение «серого», исходный ряд необходимо суммировать или вычесть. Затем строится соответствующая модель дифференциального уравнения для прогнозирования. Конкретный процесс выглядит следующим образом.

Определим производную «серого» $x^{(1)}$ в виде:

$$dx = x^{(1)}(k) = x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1). \tag{1}$$

Пусть $z^{(1)}(k)$ будет соседним значением $x^{(1)}$ для генерации последовательности

$$z^{(1)}(k) = ax^{(1)}(k) + (1-a)x^{(1)}. \tag{2}$$

Таким образом, модель дифференциального уравнения «серого» определяется как

$$d(k) + ax^{(1)}(k) = b \quad ; \quad x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b, \tag{3}$$

где $x^{(0)}(k)$ — производная «серого»; a, b — параметры линейного дифференциального уравнения первого порядка.

Подставляя время $k = 1, \dots, n$ в формулу (3), имеем:

$$\begin{cases} x^{(0)}(2) + az^{(1)}(2) = b, \\ x^{(0)}(3) + az^{(1)}(3) = b, \\ \dots\dots\dots \\ x^{(0)}(n) + az^{(1)}(n) = b. \end{cases} \tag{4}$$

Введем обозначение матричного вектора:

$$u = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \dots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \dots & \dots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}. \tag{5}$$

Таким образом, Грей-модель GM (1,1) может быть выражена как $Y = Bu$.

Следующий шаг — найти значения a и b , используя унарную линейную регрессию, т.е. с помощью метода наименьших квадратов найдем их оценочные значения:

$$u = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} (B^T Y). \tag{6}$$

Таким образом, дифференциальное уравнение «серого» GM (1, 1) соответствует дифференциальному уравнению «белого» (т.е. непрерывной модели прогнозирования):

$$dx^{(1)}(t) / dt + ax^{(1)}(t) = b. \tag{7}$$

В табл. 2 представлены значения средней относительной ошибки Δ , коэффициента корреляции R и апостериорной дисперсии C для определения степени точности предсказания Грей-модели.

В табл. 3 приведены результаты верификации Грей-модели на исходных статистических данных китайского НБФМС в программной среде MATLAB (Буре, Плахотник, 2007, с. 1363).

Таблица 2. Уровень точности прогноза

Средняя относительная ошибка Δ , %	Корреляция R	Коэффициент дисперсии C	Оценка
$0 \leq \Delta \leq 1$	$R \geq 0,95$	$0 \leq C \leq 0,35$	Отлично
$1 \leq \Delta \leq 5$	$0,8 < R < 0,95$	$0,35 < C \leq 0,45$	Хорошо
$5 \leq \Delta \leq 10$	$0,7 < R < 0,8$	$0,45 < C \leq 0,5$	Удовлетворительно
$\Delta < 20$	$R \leq 0,7$	$C \geq 0,65$	Неудовлетворительно

Таблица 3. Результаты прогнозирования потока Фонда медицинского страхования для трудоспособного населения Китая

Статья дохода/расхода	Средняя относительная ошибка Δ , %	Корреляция R	Коэффициент дисперсии C	Оценка
Общий доход	5,6	1	0,11	Хорошо
Общие расходы	6,3	1	0,10	Хорошо
Расходы на душу населения	5,0	1	0,13	Хорошо

Таблица 4. Прогноз финансовых потоков системы здравоохранения Китая

Год	Сумма доходов на медицинское страхование в Китае (граждане трудоспособного возраста), млрд юаней	Сумма расходов на медицинское страхование в Китае (граждане трудоспособного возраста), млрд юаней	Сумма остатков на медицинское страхование в Китае (граждане трудоспособного возраста), млрд юаней	Расходы на медицинское страхование на душу населения в Китае (граждане трудоспособного возраста), юаней
2022	2048,5	1640,0	408,5	4947
2023	2247,3	1819,5	427,9	5458
2024	2455,8	2020,1	435,6	6021
2025	2673,9	2245,5	428,4	6642
2026	2901,6	2499,5	402,2	7328

Источник: данные НБФМС с 2022 по 2026 г.

Все эти тесты соответствуют критериям модели Грея и являются достаточно точными, чтобы использовать их для последующего анализа прогноза с выбранными параметрами (табл. 4). По результатам прогноза доходы и расходы НБФМС Китая быстро растут. При этом доходы фонда превышают расходы, текущий баланс НБФМС имеет профицит, и профицит останется стабильным в течение следующих пяти лет.

МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ФИНАНСИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКОГО СТРАХОВАНИЯ В РФ

Для получения данных о доходах и расходах на медицинское страхование в России мы использовали данные 2005–2021 гг. с официального сайта Федеральной службы государственной статистики⁵; закон РФ о бюджете федерального фонда обязательного медицинского страхования на плановый период 2022, 2023 и 2024 гг.⁶; данные о доходах и расходах ФФОМС на 2022–2024 гг. Таким образом, мы получили исходные данные для построения прогностической модели за период 2005–2024 гг. (табл. 5).

Таблица 5. Доходы и расходы средств федерального фонда обязательного медицинского страхования РФ

Год	Сумма доходов на ОМС в РФ (все граждане), млн руб.	Сумма расходов на ОМС в РФ (все граждане), млн руб.	Сумма остатка на ОМС в РФ (все граждане), млн руб.	Расходы ОМС на душу населения в РФ (все граждане), руб.
2006	125 524	119 407	61 17	834
2007	157 817	158 177	–360	1108
2008	162 621	168 706	–6085	1181
2009	200 060	194 469	5 591	1363
2010	237 500	220 232	17 268	1541
2011	348 437	310 428	38 009	2172
2012	966 542	932 158	34 384	6519
2013	1 101 352	1 048 723	52 629	7318
2014	1 250 545	1 268 658	–18 113	8829
2015	1 573 543	1 638 815	–65 272	11 202
2016	1 657 620	1 590 151	67 469	10 854
2017	1 737 164	1 654 990	82 174	11 274
2018	1 895 924	1 988 542	–92 618	13 537
2019	2 123 988	2 186 738	–62 750	14 896
2020	2 392 693	2 360 463	32 230	16 090

⁵ Федеральная служба государственной статистики (www.gks.ru).

⁶ Федеральный закон от 06.12.2021 № 392-ФЗ «О бюджете Федерального фонда обязательного медицинского страхования на 2022 год и на плановый период 2023 и 2024 годов». КонсультантПлюс: справ. прав. система: офиц. сайт / Компания «КонсультантПлюс» (<http://www.consultant.ru/data.html>).

Окончание таблицы 5

Год	Сумма доходов на ОМС в РФ (все граждане), млн руб.	Сумма расходов на ОМС в РФ (все граждане), млн руб.	Сумма остатка на ОМС в РФ (все граждане), млн руб.	Расходы ОМС на душу населения в РФ (все граждане), руб.
2021	2 533 798	2 545 373	-11 575	17 410
2022	2 779 212	2 801 058	-21 846	19 159
2023	2 925 746	2 951 120	-25 374	20 185
2024	3 086 270	3 120 311	-34 041	21 343

Источники: Федеральный закон от 06.12.2021 № 392-ФЗ «О бюджете Федерального фонда обязательного медицинского страхования на 2022 год и на плановый период 2023 и 2024 годов»; официальный сайт Федеральной службы государственной статистики (<https://rosstat.gov.ru>).

Таблица 6. Степень модели и соответствующие значения трех критериев

Модель	Критерий		
	AIC	BIC	R ²
Доходы			
AR (1)	0,852	1,002	0,941
AR (2)	0,626	0,825	0,959
AR (3)	0,703	0,952	0,960
Расходы			
AR (1)	1,001	1,150	0,934
AR (2)	0,854	1,054	0,950
AR (3)	0,930	1,179	0,951

Авто-регрессионная модель (AR-модель) — статистический метод обработки временных рядов. Для временного ряда $\{x_t\}$, $t = 1, \dots, N$. AR(p) равен:

$$x_t = \phi_1 x_{t-1} + \dots + \phi_p x_{t-p} + a_t, \quad (8)$$

где p — порядок гистерезиса.

AR-модель описывает статистическую зависимость между значением переменной x в момент времени t и значением в момент времени $t - 1$, $t - 2$, $t - p$. Предпосылка для оценки параметров состоит в том, что полученный временной ряд является стационарным и нормально распределенным.

Для проверки AR-модели используются критерий проверки остаточного белого шума, критерий Акаике (AIC-критерий) и Байесовский информационный критерий.

AIC-критерий рассчитывается по формуле:

$$AIC(p) = N \ln \sigma_a^2 + 2p, \quad (9)$$

где p — порядок модели; N — длина временного ряда x_t , σ_a^2 — дисперсия. Когда x_t является стационарным, нормально распределенным временным рядом, имеем

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N a_t^2, \quad (10)$$

где N — объем выборки; a_t — остаток.

Байесовский информационный критерий (BIC-критерий) подчиняется формуле

$$BIC(p) = N \ln \sigma_a^2 + n \ln N. \quad (11)$$

Для использования AR-модели данные должны быть представлены стационарными рядами. Для этого данные необходимо предварительно обработать логарифмическим преобразованием. В табл. 6 показаны результаты проверки точности модели после логарифмического преобразования, когда p принимает различные значения (от 1 до 3). AR(2)-модель является наиболее точной для России.

Мы будем использовать следующие формулы прогнозирования и моделирования доходов и расходов фонда медицинского страхования:

$$\log Inc_t = 0,35164 + 1,5286 \log Inc_{t-1} - 0,55154 \log Inc_{t-2}, \quad (12)$$

Таблица 7. Прогноз финансовых потоков системы здравоохранения РФ, млн руб.

Год	Сумма доходов на ОМС в РФ (все граждане), млн руб.	Сумма расходов на ОМС в РФ (все граждане), млн руб.	Сумма остатка на ОМС в РФ (все граждане), млн руб.	Расходы ОМС на душу населения в РФ (все граждане), руб.
2025	3206 837,86	3242 485,90	-35 648,04	21 403
2026	3301 591,86	3337 482,93	-35 891,08	22 566
2027	3379 677,94	3416 686,39	-37 008,44	23 729
2028	3446 819,78	3486 416,52	-39 596,74	24 892
2029	3506 538,45	3550 126,35	-43 587,90	26 055

$$\log Exp_t = 0,37438 + 1,47361 \log Exp_{t-1} - 0,49725 \log Exp_{t-2}. \quad (13)$$

Для расходов на медицинское страхование на душу населения данные представляют собой гладкий ряд, т.е. логарифмического преобразования не требуется. И данные AR(1)-модели являются более точными, что дает следующую модель прогнозирования (табл. 7):

$$\text{Расход}_t = 887 + 1,03 \times \text{Расход}_{t-1}. \quad (14)$$

Согласно результатам прогноза после 2021 г. расходы на медицинское страхование превысят доходы, поэтому дефицит Фонда медицинского страхования будет постепенно увеличиваться с каждым годом. Данная ситуация учтена в Законе Российской Федерации № 392-ФЗ⁷. Согласно прогнозной модели в 2029 г. дефицит Фонда медицинского страхования может составить 43 587,902 млн руб.

УПРАВЛЕНИЕ МОДЕЛЯМИ МЕДИЦИНСКОГО СТРАХОВАНИЯ КИТАЯ

На основании вышеизложенного и с учетом вариантов финансирования системы МНС для китайских поставщиков медицинских услуг (см. рис. 1) экономическая математическая модель, максимизирующая накопленный остаток системы медицинского страхования, выглядит следующим образом (Соколов и др., 2015, с. 672).

Формула годового дохода по медицинскому страхованию:

$$\text{Доход}_t = \text{ФОТ}_t \times k_t. \quad (15)$$

Формула годового расхода по медицинскому страхованию:

$$\text{Расход}_t = 12113 \left(e^{-0,0982(t-2)} - e^{-0,0982(t-1)} \right) / e^{-0,0982(2t+1)}, \quad t = 2, \dots, n. \quad (16)$$

Формула годового остатка по медицинскому страхованию:

$$\text{МНС}_{\text{ост} \times t} = \text{МНС}_{\text{ост}(t-1)} + \text{ФОТ}_t \times k_t - 12113 \left(e^{-0,0982(t-2)} - e^{-0,0982(t-1)} \right) / e^{-0,0982(2t+1)}. \quad (17)$$

Используя уравнения (12)–(14), мы можем получить целевую функцию для обоих периодов.

До 2026 г.: расходы на здравоохранение на душу населения рассчитываются на основе результатов прогнозирования Грей-модели, которая дает целевую функции:

$$\begin{aligned} \text{МНС}_{\text{накоп.ост} \times n} = \sum_{t=t_0}^n \left(\text{ФОТ}_t \times k_t - 12113 \left(e^{-0,0982(t-2)} - e^{-0,0982(t-1)} \right) / e^{-0,0982(2t+1)} + \right. \\ \left. + \text{МНС}_{\text{накоп.ост} \times (t-1)} \right) (1+r_t) \rightarrow \max. \end{aligned} \quad (18)$$

После 2026 г.: поскольку «серая» модель больше подходит для краткосрочных прогнозов, мы предполагаем, что расходы на душу населения после 2026 г. останутся неизменными:

$$\text{МНС}_{\text{накоп.ост} \times n} = \sum_{t=t_0}^n \left(\text{ФОТ}_t \times k_t - \text{Расход}_{2026} + \text{МНС}_{\text{накоп.ост} \times (t-1)} \right) (1+r_t) \rightarrow \max \quad (19)$$

⁷ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам совершенствования проведения независимой оценки качества условий оказания услуг организациями в сфере культуры, охраны здоровья, образования, социального обслуживания и федеральными учреждениями медико-социальной экспертизы».

с ограничениями:

$$\text{ФОТ}_t = \text{ФОТ}_{\text{нач}} (1+i)^t, \quad (20)$$

$$8\% \leq k_t \leq 12\%, \quad (21)$$

$$1,45\% \leq r_t \leq 4,77\%. \quad (22)$$

Формула ограничения (20) показывает, что средняя заработная плата ежегодно увеличивается с темпом роста i . Для среднего темпа роста заработной платы после 2021 г. мы используем среднее значение темпа инфляции и темпа роста национального ВВП i на уровне 5,1%.

Формула (21) — ограничение на процент заработной платы, отчисляемый в МНС. В связи с различными стандартами в каждой провинции диапазон предельных значений определяется как самое высокое значение (Пекин): 12% — и самое низкое значение (менее развитые районы): 8%.

Формула (22) — ограничение на процентную ставку по накопленному остатку. Максимальная процентная ставка по вкладам до востребования в 1996 г. составляла 4,77%, а минимальная процентная ставка в 2021 г. — 1,45%.

МНС_{накоп.ост.т} — накопленный остаток накопительных счетов на душу населения с начала внедрения МНС до года t , юаней; МНС_{доход.т} — остаток МНС на душу населения в году t , юаней; ФОТ_т — фонд оплаты труда работающего гражданина в году t , юаней; Доход_т — годовые доходы на медицинское страхование на душу населения в году t , юаней; C_t — доля пенсионеров по отношению к числу работающих людей в году t , доли ед.; Расход_т — годовые расходы на медицинское страхование на душу населения в году t , юаней; r_t — средняя банковская процентная ставка по депозитам на средства МНС в году t , доли ед.; n — конечный год расчета целевого показателя (период трудовой деятельности), год; k_t — доля отчислений из ФОТ на МНС работающего гражданина в году t , доли ед.; t_0 — начальным годом расчета, т.е. годом начала расчетов, является 2022 г.; МНС_{накоп.ост.2021} — накопленный остаток медицинского страхования работников на душу населения в Китае с 1997 по 2021 г., юаней; i — среднегодовые темпы роста ФОТ работающего гражданина, доли ед.

Практическая реализация модели (15)–(18). В столбце 2 табл. 8 указана среднегодовая начисленная заработная плата работников, по данным официального сайта Национального бюро статистики Китая⁸, эта сумма за 2021 г. составила 80465 юаней. Для определения темпов роста используется формула ограничений (20).

Доля, переводимая из заработной платы в МНС, равна минимальному значению 9% (из формулы (21)). Доля банковского процентной ставки по депозитам на средства МНС равна минимальному значению 1,45% (из формулы (22)).

В столбце 3 показан доход от медицинского страхования на душу населения для китайской системы МНС. В соответствии с требованиями этой системы действующие работники должны платить за медицинское страхование, как показано в уравнении (15).

В столбце 4 приведены расходы на медицинское страхование на душу населения для китайской системы МНС (граждане трудоспособного возраста). Эти данные за 2022–2026 гг. получены из модели Грея. Однако, учитывая математическую природу модели Грея, точность модели значительно снизится при прогнозировании на длительный период времени, поэтому мы будем использовать результаты только пятилетнего прогноза. После 2026 г. в анализе будем считать, что значения расходов на душу населения постоянны и равны значению этого параметра в 2026 г. — 7328 юаней/год.

После получения расходов на душу населения из модели Грея рассчитаем по формуле $O_n = P_{\text{д.с.}} \times Z_{\text{м.с.}} \times K$ неснижаемый остаток на МНС (O_n), необходимый для оплаты медицинской помощи на период дожития (юаней), где $P_{\text{д.с.}}$ — период от выхода на пенсию до средней ожидаемой продолжительности жизни (примем равным 18 годам⁹); $Z_{\text{м.с.}}$ — средние годовые затраты на медицинские услуги, руб./год (в примере 7328 юаня в год на человека); K — коэффициент, учитывающий рост затрат на медицинское обслуживание для граждан пенсионного возраста (примем $K = 2$). Тогда $O_n = 18 \times 7328 \times 2 = 263\,808$ (юаней).

В столбце 5 показан остаток медицинского страхования на душу населения в текущем году (уравнение (17)). Среднее накопление на человека составляет 8595 юаней. Это значение равно

⁸ Официальный сайт Китайской национальной службы здравоохранения, 2021 г.

⁹ Там же.

Таблица 8. Результаты моделирования накопления финансовых ресурсов на душу населения в Китае

Год	Средняя заработная плата, юаней/год	Доход от медицинского страхования на душу населения в Китае, юаней/год	Расходы на медицинское страхование на душу населения в Китае, юаней (граждане трудоспособного возраста)	Остаток на душу населения за год, юаней/год (граждане трудоспособного возраста)	Накопленный остаток на душу населения, юаней (граждане трудоспособного возраста)
1	2	3	4	5	6
2021	80465	7242	4344	8595	8719
2022	87788	7901	4947	11549	11843
2023	95776	8620	5458	14711	15222
2024	104492	9404	6021	18094	18875
2025	114001	10260	6642	21712	22819
2026	124375	11194	7328	25578	27072
2027	135693	12212	7328	30462	32420
2028	148041	13324	7328	36458	38973
2029	161512	14536	7328	43666	46851
2030	176210	15859	7328	52197	56185
2031	192245	17302	7328	62171	67118
2032	209740	18877	7328	73720	79807
2033	228826	20594	7328	86986	94423
2034	249649	22468	7328	102127	111153
2035	272367	24513	7328	119312	130199
2036	297152	26744	7328	138728	151784
2037	324193	29177	7328	160577	176151
2038	353695	31833	7328	185082	203565
2039	385881	34729	7328	212484	234316
2040	420996	37890	7328	243045	268718
2041	459307	41338	7328	277055	307117
2042	501104	45099	7328	314826	349890
2043	546704	49203	7328	356702	397446
2044	596455	53681	7328	403055	450234
2045	650732	58566	7328	454293	508743
2046	709949	63895	7328	510860	573508
2047	774554	69710	7328	573242	645110
2048	845038	76053	7328	641968	724186
2049	921937	82974	7328	717614	811430
2050	1005833	90525	7328	800811	907599
2051	1097364	98763	7328	892246	1013520
2052	1197224	107750	7328	992669	1130095

Примечание. Доля заработной платы, перечисленной в МНС, равна 9%; банковская ставка — 1,45%.

сумме, накопленной на душу населения в Китае с момента создания системы МНС (т.е. с 1998 г. до 2021 г.).

В столбце 6 приведен накопленный остаток на счетах на душу населения за годы с начала введения МНС по настоящее время (уравнения (18)–(19)).

УПРАВЛЕНИЕ МОДЕЛЯМИ МЕДИЦИНСКОГО СТРАХОВАНИЯ РФ

В нашем исследовании для Российской Федерации модель управления системой медицинского страхования будет основана на китайской модели и скорректирована с учетом реалий и законодательства Российской Федерации.

Приведем экономико-математическую модель внедрения медицинских накопительных счетов в систему финансирования учреждений здравоохранения для максимизации инвестиционного потенциала, опираясь на (Соколов, Гречкин, 2017, с. 83; 2018, с. 8; Самойлов, Соколов, 2015, с. 22):

– годовой доход по медицинскому страхованию

$$\text{Доход}_t = \text{ФОТ}_t \times k_t. \quad (23)$$

– годовой расход по медицинскому страхованию

$$\text{Расход}_t = 887 + 1,03 \times \text{Расход}_{t-1}, \quad t = 2, \dots, n; \quad (24)$$

– годовой остаток по медицинскому страхованию

$$\text{МНС}_{\text{ост} \times t} = \text{МНС}_{\text{ост} \times (t-1)} + \text{ФОТ}_t \times k_t - (887 + 1,03 \times \text{Расход}_{t-1}). \quad (25)$$

Используя уравнения (11)–(13), мы можем получить целевую функцию для обоих периодов.

До 2026 г. расходы на здравоохранение на душу населения рассчитываются на основе результатов авторегрессионной модели прогнозирования с целевой функцией

$$\text{МНС}_{\text{накоп.ост} \times n} = \sum_{t=t_0}^n (\text{ФОТ}_t \times k_t - (887 + 1,03 \times \text{Расход}_{t-1} + \text{МНС}_{\text{накоп.ост} \times (t-1)})) (1 + r_t) \rightarrow \max. \quad (26)$$

После 2026 г. мы принимаем расходы на душу населения в течение последующих пяти лет, равными значению в 2026 г., и удерживаем их постоянными. Тогда функция цели имеет вид

$$\text{МНС}_{\text{накоп.ост} \times n} = \sum_{t=t_0}^n (\text{ФОТ}_t \times k_t - \text{Расход}_{2026} + \text{МНС}_{\text{накоп.ост} \times (t-1)}) (1 + r_t) \rightarrow \max \quad (27)$$

с ограничениями:

$$\text{ФОТ}_t = \text{ФОТ}_{\text{нач}} \times (1 + i)^t, \quad (28)$$

$$\text{МРОТ} \leq \text{ФОТ}_t, \quad (29)$$

$$3,2\% \leq k_t \leq 12\%, \quad (30)$$

$$1\% \leq r_t \leq 4\%. \quad (31)$$

Формула (28) показывает, что средняя заработная плата ежегодно увеличивается в соответствии с темпом роста i . Для среднего темпа роста заработной платы после 2021 г. мы используем среднее значение темпа инфляции и темпа роста национального ВВП (табл. 9, колонка 2) i на уровне 4,8%.

Формула (29) показывает минимальный размер оплаты труда в Российской Федерации, который, согласно федеральному закону, установлен в размере 13 890 руб. в месяц. Тогда минимальный годовой доход составит: $13\,890 \times 12 = 166\,680$ руб.

Формула (30) отражает долю заработной платы, перечисляемой в МНС. Формула (31) — ограничение на процентную ставку по накопленному остатку. Для этих двух наборов данных мы учли такие страны мира, использующие систему МНС, как Сингапур, США, Китай, Южная Африка и т.д. Диапазон перечисления заработной платы в МНС составляет 3,2–12%. Диапазон процентных ставок для сбережений на остатках по медицинскому страхованию составляет 1–4%.

$\text{МНС}_{\text{накоп.ост} \times t}$ — накопленный остаток накопительных счетов на душу населения с начала внедрения МНС до года t , руб.; $\text{МНС}_{\text{дох} \times t}$ — остаток МНС на душу населения в году t , руб.; ФОТ_t — фонд оплаты труда работающего гражданина в году t , руб.; Доход_t — годовые доходы на медицинское страхование на душу населения в году t , руб.; C_t — доля пенсионеров по отношению к числу работающих людей в году t , доли ед.; Расход_t — годовые расходы на медицинское страхование на душу населения в году t , руб.; r_t — средняя банковская процентная ставка по депозитам на средства МНС в году t , доли ед.; n — конечный год расчета целевого показателя, год; k_t — доля отчислений из ФОТ на МНС работающего гражданина в году t , доли ед.; t_0 — начальный год расчета (т.е. 2022 г.); i — среднегодовые темпы роста ФОТ работающего гражданина, доли ед.

Практическая реализация модели (23)–(27). В столбце 2 табл. 9 представлена среднемесячная начисленная номинальная заработная плата работников организаций, по данным Федеральной службы государственной статистики за 2022 г. Для данных после 2021 г. мы снова используем среднее значение темпов инфляции и темпов роста ВВП России — i составляет 4,8%.

Доля, переводимая из заработной платы в МНС, согласно действующей системе медицинского страхования в России, равна 3,2%. Так как доля работающего населения, делающего взносы в ФФОМС, в настоящее время составляет 5,1%, а из них 1,9% идет на минимальные отчисления на детей, пенсионеров и граждан с невысокой заработной платой, поэтому доля заработной платы, которая теоретически может быть переведена в систему МНС, составляет $5,1 - 1,9 = 3,2\%$. Доля банков в ставке по депозитам для фондов МНС в Китае в настоящее время составляет 1,45%. Исходя из этого значения, для нашего анализа процентную ставку в России мы установили на уровне 2%.

В столбце 3 приводится доход от медицинского страхования на душу населения в российской системе МНС. В системе МНС активные работники платят за медицинское страхование, как показано в уравнении (23).

В столбце 4 показаны расходы на медицинское страхование на душу населения (граждане трудоспособного возраста) в российской системе МНС. Данные за 2022–2026 гг. являются результатами AR-модели. Принимая во внимание точность долгосрочных прогнозов модели, мы использовали значение расходов в 2026 г. (24892 руб.) и после 2026 г. Получив подушевые расходы из AR-модели, можем рассчитать O_n по формуле $O_n = P_{д.с} \times 3_{м.с} \times K$. Тогда $O_n = 20 \times 24892 \times 2 = 995680$ (руб.).

В столбце 5 рассчитан остаток медицинского страхования на душу населения в текущем году (уравнение (25)), в столбце 6 — накопленный остаток на подушевом счете с 2021 г. (когда вводится МНС) до 2062 г. (см. уравнения (26)–(27)).

Таблица 9. Результаты моделирования накопления финансовых ресурсов на душу населения в РФ

Год	Средняя заработная плата, руб./год	Доход от медицинского страхования на душу населения в РФ, руб./год	Расходы на медицинское страхование на душу населения в РФ, руб.	Остаток на душу населения за год, руб./год (граждане трудоспособного возраста)	Накопленный остаток на душу населения, руб. (граждане трудоспособного возраста)
1	2	3	4	5	6
2021	686928	21982	17410	4572	4663
2022	719901	23037	18819	8789	9058
2023	754456	24143	20271	12661	13189
2024	790670	25301	21766	16196	17058
2025	828622	26516	23306	19406	20674
2026	868396	27789	24892	22303	24042
2027	910079	29123	24892	26533	28838
2028	953762	30520	24892	32162	35155
2029	999543	31985	24892	39255	43094
2030	1047521	33521	24892	47884	52757
2031	1097802	35130	24892	58121	64254
2032	1150497	36816	24892	70045	77702
2033	1205720	38583	24892	83736	93221
2034	1263595	40435	24892	99279	110939
2035	1324248	42376	24892	116763	130991
2036	1387811	44410	24892	136281	153520
2037	1454426	46542	24892	157931	178673
2038	1524239	48776	24892	181815	206607
2039	1597402	51117	24892	208039	237489

Окончание таблицы 9

Год	Средняя заработная плата, руб./год	Доход от медицинского страхования на душу населения в РФ, руб./год	Расходы на медицинское страхование на душу населения в РФ, руб.	Остаток на душу населения за год, руб./год (граждане трудоспособного возраста)	Накопленный остаток на душу населения, руб. (граждане трудоспособного возраста)
1	2	3	4	5	6
2040	1 674 078	53 570	24 892	236 718	271 491
2041	1 754 433	56 142	24 892	267 968	308 795
2042	1 838 646	58 837	24 892	301 912	349 595
2043	1 926 901	61 661	24 892	338 681	394 091
2044	2 019 392	64 621	24 892	378 410	442 496
2045	2 116 323	67 722	24 892	421 240	495 033
2046	2 217 907	70 973	24 892	467 321	551 936
2047	2 324 366	74 380	24 892	516 809	613 452
2048	2 435 936	77 950	24 892	569 867	679 840
2049	2 552 861	81 692	24 892	626 666	751 373
2050	2 675 398	85 613	24 892	687 387	828 335
2051	2 803 817	89 722	24 892	752 217	911 029
2052	2 938 400	94 029	24 892	821 354	999 769
2053	3 079 444	98 542	24 892	895 004	1 094 888
2054	3 227 257	103 272	24 892	973 385	1 196 733
2055	3 382 165	108 229	24 892	1 056 722	1 305 672
2056	3 544 509	113 424	24 892	1 145 254	1 422 088
2057	3 714 646	118 869	24 892	1 239 231	1 546 386
2058	3 892 949	124 574	24 892	1 338 913	1 678 990
2059	4 079 810	130 554	24 892	1 444 575	1 820 345
2060	4 275 641	136 821	24 892	1 556 504	1 970 919
2061	4 480 872	143 388	24 892	1 674 999	2 131 203
2062	4 695 954	150 271	24 892	1 800 378	2 301 713

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделируя структуру системы накопительных счетов медицинского страхования, мы проанализировали два преимущества системы (мотивацию граждан к охране здоровья и коммерческую конкуренцию между медицинскими учреждениями) и два потенциальных риска (давление на расходы фонда и осуществление семейного сотрудничества).

Для китайских данных мы с помощью модели Грея спрогнозировали хороший баланс в фонде медицинского страхования Китая на следующие пять лет с возможным балансом в 402,2 млрд юаней на 2026 г. Также была разработана модельная формула расходов на здравоохранение на душу населения для последующих моделей управления. Для российских данных мы использовали авторегрессионную модель, которая показывает, что текущий баланс Фонда медицинского страхования России является дефицитным и что дефицит будет увеличиваться в течение следующих пяти лет и может достичь 43 587,9 млн руб. в 2029 г.

Для обеспечения последующего управления была разработана модель подушевых расходов на медицинское страхование. Используя эту модель управления, мы рассчитали, что сумма, накопленная на душу населения в китайском Фонде медицинского страхования в 2040 г., достигнет 243 045 юаней, что уже соответствует требованию неснижаемого остатка на МНС, необходимого для оплаты медицинской помощи на период дожития. Результаты модели управления,

предложенной для МНС в России, показывают, что после внедрения системы МНС в 2022 г. неснижаемый остаток, необходимый для накопления на душу населения в 2052 г., составит 999 769 руб. После достижения минимального баланса средства продолжают накапливаться и могут быть использованы для выплаты пособий неработающим и для укрепления физического здоровья нации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Амбросьева Т.Г., Силаева А.А.** (2013). Проблемы модернизации современной системы медицинского страхования // *Сервис в России и за рубежом*. № 3 (41). С. 3–17. [Ambrosieva T.G., Silaeva A.A. (2013). Problems of modernization of modern health insurance system in the Russian Federation. *Service in Russia and Abroad*, 3 (41), 3–17 (in Russian).]
- Буре В.М., Плахотник С.В.** (2007). Адаптивные методы прогнозирования временных рядов в среде MATLAB. В сб.: «Проектирование научных и инженерных приложений в среде MATLAB: Труды Всероссийской научной конференции». Санкт-Петербург, 23–26 октября. С. 1363–1370. [Bure V.M., Plahotnik S.V. (2007). Adaptive methods of time series forecasting in MATLAB environment. In: *Designing of scientific and engineering applications in MATLAB environment: Proceedings of All-Russian Scientific Conference*. Saint Petersburg, October 23–26, 1363–1370 (in Russian).]
- Дьячкова К.Е.** (2022). Обязательное медицинское страхование (ОМС) как инструмент социальной защиты населения. В сб.: «Актуальные проблемы социоэкономики в XXI веке. Сборник статей научных докладов по итогам XIV Международной научной конференции студентов и молодых ученых». Москва, 8 апреля 2022 г. Под ред. Л.С. Морозовой. Часть 1. М.: Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс». С. 204–217. [Diachkova K.E. (2022). Mandatory medical insurance (MMI) as a tool of social protection of population. In: *Actual problems of socioeconomics in XXI century: Collection of scientific papers on the results of XIV International Scientific Conference of Students and Young Scientists*. Edited by L.S. Morozova. Part 1. Moscow, 8 April. “Russians” 204–217 (in Russian).]
- Козыренко Е.И., Авдеева Л.О.** (2019). Современное состояние финансирования здравоохранения в России // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика*. № 1. С. 153–164. DOI: 10.24143/2073-5537-2019-1-153-164 [Kozyrenko E.I., Avdeeva L.O. (2019). Modern state of health care financing in Russia. *Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Economics*, 1, 153–164. DOI: 10.24143/2073-5537-2019-1-153-164 (in Russian).]
- Конахин И.В.** (2019). Модели авторегрессии порядка p (Ar(p)-модели). В сб.: «Информация как двигатель научного прогресса: сборник статей Международной научно-практической конференции». 25 января. Волгоград: Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна». С. 111–112. [Konakhin I.V. (2019). Autoregressive models of order p (Ar(p)-models). In: *Information as an engine of scientific progress: Collection of articles of the International Scientific-Practical Conference*. January 25, Volgograd, Aetherna, 111–112 (in Russian).]
- Кратович П.В.** (2010). Модели нейронных сетей и модели $arima$ в задаче прогнозирования временных рядов. В сб.: «Математические методы управления: сборник научных трудов». Тверь: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тверской государственный университет» С. 69–78. [Kratovich P.V. (2010). Neural network models and arima models in the problem of time series forecasting. In: *Mathematical methods of control: Collection of scientific papers*. Tver: Tver State Univ., 69–78 (in Russian).]
- Ли В.** (2022). Моральные риски в медицинском страховании (например, США, Китай и Россия) // *Инновации и инвестиции*. № 2. С. 272–275. [Lee V. (2022). Moral risks in health insurance (the example of USA, China, and Russia). *Innovations and Investments*, 2, 272–275 (in Russian).]
- Ожогин М.В.** (2022). Система медицинского страхования в КНР: структурно-исторический аспект. В сб.: «Эффективное управление и контроль в здравоохранении: Материалы Всероссийской научно-практической конференции». Санкт-Петербург, 11 марта 2022 г. Под редакцией И.Т. Русева, А.Х. Ахминевой. Санкт-Петербург: Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова. С. 53–58. [Ozhogin M.V. (2022). Medical insurance system in PRC: structural-historical aspect. In: *Effective management and control in health care: Materials of All-Russian Scientific and Practical Conference*. Edited by I.T. Rusev, A.H. Akhmineeva. St. Petersburg: S.M. Kirov Military Medical Academy. Saint Petersburg, March 11, 53–58 (in Russian).]
- Самойлов Д.И., Соколов Е.В.** (2015). Экономико-математическая модель управления финансовым результатом работы структурных подразделений и поликлиники в целом // *Экономика и управление: проблемы, решения*. Т. 2. № 8. С. 22–32. [Samoilov D.I., Sokolov E.V. (2015). Economic-mathematical model of management of financial result of work of structural divisions and polyclinic. *Economics, and Management: Problems, Solutions*, 2, 8, 22–32 (in Russian).]
- Соколов Е.В., Гайворонская К.Д., Пилогина А.В.** и др. (2015). Управление финансами наукоемких предприятий: Учебник. Под ред. Е.В. Соколова. М.: ИД «Научная библиотека». 672 с. [Sokolov E.V., Gaivoronskaya K.D., Pilogina A.V. et al. (2015). Management of finances of science-intensive enterprises: Textbook. Edited by E.V. Sokolov. M.: ID “Scientific Library”. 672 p.]

- Piljugina A.V.** et al. (2015). *Finance management of knowledge-intensive enterprises: Textbook*. Moscow: "Scientific Library" Publishing House. 672 p. (in Russian).]
- Соколов Е.В., Гречкин Д.А.** (2017). Медицинские накопительные счета как инструмент совершенствования системы финансирования здравоохранения и экономики России // *Экономика и управление: проблемы, решения*. Т. 3. № 12. С. 83–93. [Sokolov E.V., Grechkin D.A. (2017). Medical savings accounts as a tool to improve the system of health financing and the economy Russia. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 3, 12, 83–93 (in Russian).]
- Соколов Е.В., Гречкин Д.А.** (2018). Прорывные технологии финансирования здравоохранения и экономики России // *Экономика и управление: проблемы, решения*. Т. 8. Май. С. 8–15. [Sokolov E.V., Grechkin D.A. (2018). Breakthrough technologies of health care financing and Russia's economy. *Economics, and Management: Problems, Solutions*, 8, May, 8–15 (in Russian).]
- Соколов Е.В., Костырин Е.В.** (2020). Организация перехода граждан России на медицинские накопительные счета // *Экономика и управление: проблемы, решения*. Т. 1. № 8 (104). С. 55–71. DOI: 10.36871/ek.ur.p.r.2020.08.01.008 [Sokolov E.V., Kostyrin E.V. (2020). Organization of transition of Russian citizens to medical savings accounts. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 1, 8 (104), 55–71 (in Russian).]
- Томская К.М.** (2018). Анализ временных рядов с помощью авто-регрессионных моделей // *Интеграция наук*. № 4 (19). С. 45–50. [Tomskaya K.M. (2018). Time series analysis using autoregressive models. *Integration of Sciences*, 4 (19), 45–50 (in Russian).]
- Успенская И.В., Манухина Е.В., Юрина С.В.** (2018). Анализ финансового обеспечения территориальной программы обязательного медицинского страхования // *Социальные аспекты здоровья населения*. № 1 (59). DOI: 10.21045/2071-5021-2018-59-1-10 [Uspenskaya I.V., Manukhina E.V., Jurina S.V. (2018). Analysis of financial support for territorial program of compulsory health insurance. *Social Aspects of Public Health*, 1 (59). DOI: 10.21045/2071-5021-2018-59-1-10 (in Russian).]
- Хабарова Е.Л., Емельянова Т.В.** (2019). О последовательном оценивании параметров авто-регрессионной модели с непрерывным временем. Всероссийская молодежная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Все грани математики и механики: Сборник статей». Томск, 23–27 апреля 2019 г. Под редакцией А.В. Старченко. Томск: Издательский дом Томского государственного университета. С. 189–197. [Khabarova E.L., Emel'janova T.V. (2019). On sequential parameter estimation of an autoregressive model with continuous time. In: *All-Russian youth scientific conference of students, postgraduate students and young scientists*. Tomsk, 23–27 April, 2019. A.V. Starchenko (ed.). Tomsk: Tomsk State Univ., 189–197 (in Russian).]
- Deng J.** (1989). Introduction to Grey system theory. *Journal Grey System*, 1, 1–24.
- Jiao M., Wang H.** (2018). Prediction on the urban employee basic medical insurance scheme funds: A case study of Jiangsu province. *Chinese Journal of Health Policy*, 11 (11), 16–21.
- Lan Y., Xia X.-H.** (2021). Study on the balance of payment and sustainable development of medical insurance fund for urban workers — Take Sichuan Province as an example. *Soft Science of Health*, 35(9): 30–34. DOI: 10.3969/j.issn.1003-2800.2021.09.007 Available at: <http://www.wsrkx.net/CN/abstract/abstract1273.shtml>
- Smil S.** (2019). A hybrid exponential smoothing and recurrent neural network method for time series forecasting. *International Journal of Forecasting*, 36 (1), 75–85. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2019.03.017
- Yang X., Zou J., Kong D., Jiang G.** (2018). GM grey model analysis (1, 1) for predicting typhoid and paratyphoid morbidity trend in Wuhan city. *Preventive Medicine in Zhejiang*, 97.

Managing Chinese and Russian healthcare development using a predictive Gray model and an autoregressive relationship model

© 2023 П. Хе, E.V. Kostyrin

П. Хе,

*Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow, Russia;
e-mail: pinghe7483@gmail.com*

E.V. Kostyrin,

*Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow, Russia;
e-mail: kostyrinev@bmstu.ru*

Received 28.11.2022

Abstract. This article examines the possible risks for health insurance funds due to an ageing population and the prevalence of infectious diseases by analyzing the structural differences between the existing health insurance funding systems in China and Russia and using Gray's model and an autoregressive model to forecast the existing flows of health insurance funds in Russia and China. The results of the forecasting model are then incorporated into a subsequent management model in order to propose optimizations for the future management of health insurance systems in both countries. The novelty of this paper lies not only in the analysis of the structure of the health insurance financing system, but also in the use of a predictive model to propose optimized management decisions for the future development of health insurance. The results provide theoretical support as well as guidance for national health insurance management. The results of the optimized management model for Russian health insurance show that the optimized solution not only improves the financing gap well, but also leaves a balance.

Keywords: Federal Compulsory Health Insurance Fund, compulsory health insurance, large-scale systems, Chinese health care, Gray model forecasting, medical savings accounts, financing system, cost-effectiveness, management.

JEL Classification: C61, C63, G23, I13.

For reference: **Хе П., Костырин Е.В.** (2023). Managing Chinese and Russian healthcare development using a predictive Gray model and an autoregressive relationship model. *Economics and Mathematical Methods*, 59, 3, 100–116. DOI 10.31857/S042473880023259-3 (in Russian).

===== МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ =====

Оптимизация стратегий поведения в имитационной модели многоагентной социально-экономической системы

© 2023 г. А.С. Акопов, А.Л. Бекларян

А.С. Акопов,
ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: akopovas@umail.ru

А.Л. Бекларян,
НИУ ВШЭ, Москва; e-mail: abeklaryan@hse.ru

Поступила в редакцию 12.03.2023

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-21-00012).

Аннотация. В статье представлена новая имитационная модель многоагентной социально-экономической системы (МСЭС), в которой реализуются индивидуальные, в том числе межпродуктовые, взаимодействия. В рамках МСЭС изучаются модели поведения агентов-производителей и агентов-потребителей со своими целевыми функционалами. В частности, производители реализуют собственную производственную стратегию посредством выбора моментов времени для ввода новых основных фондов и трудовых ресурсов. Потребители участвуют в бартерных и монетарных сделках, взаимодействуя с другими агентами. Состояния готовности агентов-производителей вводить новые основные фонды и трудовые ресурсы, а также состояния готовности агентов-потребителей заключать бартерные и монетарные сделки задаются для каждого момента времени с помощью логнормальных распределений с заданными характеристиками, являющимися управляющими параметрами системы. Сформулированы важные двухкритериальные оптимизационные задачи для ансамблей агентов-производителей и агентов-потребителей. Разработан новый параллельный гибридный генетический алгоритм (MORCGA-MOPSO), обеспечивающий, в частности, возможность поиска оптимальных по Парето решений для задач максимизации средней (по ансамблю агентов) прибыли и общего числа покупателей продукции агентов-производителей, а также максимизации средней полезности и денежных накоплений агентов-потребителей. Вычислены параметры логнормальных распределений, определяющих состояния взаимодействующих агентов, принимающих индивидуальные решения. Выявлены особенности стратегий поведения производителей и потребителей, позволяющие достигать улучшения значений целевых функционалов за счет управления динамикой ввода производственных ресурсов и выбора предпочтительных типов межпродуктовых взаимодействий, в частности бартерных, монетарных и др.

Ключевые слова: многоагентная социально-экономическая система, межпродуктовые взаимодействия, имитационное моделирование экономических процессов, генетические алгоритмы, метод роя частиц, многокритериальная оптимизация.

Классификация JEL: C02, C61, C63, D51, D91.

Для цитирования: **Акопов А.С., Бекларян А.Л.** (2023). Оптимизация стратегий поведения в имитационной модели многоагентной социально-экономической системы // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 3. С. 117–131. DOI: 10.31857/S042473880027006-5

ВВЕДЕНИЕ

Первая экономико-математическая балансовая модель, характеризующая межотраслевые производственные взаимосвязи в экономике, была разработана В.В. Леонтьевым (Леонтьев, 1925, 1936). Модель межотраслевого баланса (МОБ) описывает соотношения между выпуском продукции в одной отрасли и использованием продукции других отраслей экономики для технологического обеспечения этого выпуска. В дальнейшем в СССР были разработаны динамические модели межотраслевого баланса (МОБ) (Шатиллов, 1967; Аганбегян, Вальтух, 1974), с использованием которых можно изучать взаимовлияние динамики конечного спроса и характеристик производителей (основных фондов, трудовых ресурсов и т.д.), в том числе с учетом влияния рыночных факторов на плановую социально-экономическую систему (Ведута, 1999).

В настоящее время актуально построение агент-ориентированных имитационных моделей (АОМ) (Makarov, Bakhtizin, Epstein, 2022). Методы АОМ применяются для изучения поведения взаимодействующих агентов с индивидуальными системами принятия решений, (например, для исследования популяционной динамики мигрантов и коренных жителей (Макаров и др., 2019, 2020, 2022), изучения эффектов сегрегации и десегрегации населения в моделях ограниченного соседства (Акопов, Бекларян Л., Бекларян А., 2021), оптимизации характеристик интеллектуальных транспортных систем (Акопов, Beklaryan, Thakur, 2022) и др.). Важным преимуществом АОМ является возможность учета влияния индивидуального поведения каждого агента и процессов их взаимодействия на систему в целом, что обеспечивает существенно большую реалистичность и управляемость моделируемой системы.

Предпринимаются усилия по созданию агент-ориентированных МОБ (Суслов и др., 2016), в том числе с использованием оптимизационных алгоритмов для формирования сбалансированных межотраслевых и межрегиональных связей (см. оптимизационные межотраслевые межрегиональные модели (ОМММ) в (Ершов, Мельникова, Суслов, 2009)).

Комбинированное применение АОМ и МОБ представляет собой нетривиальную задачу, так как включение в модель агентов со своими индивидуальными системами принятия решений, реализующих стохастические процессы межотраслевого и межпродуктового взаимодействия, приводит к принципиальному усложнению изучаемой системы. В этом случае традиционные методы линейного программирования и векторной оптимизации практически не применимы для поиска наилучших траекторий развития многоагентной социально-экономической системы (МСЭС). Поэтому для оптимизации характеристик крупномасштабной МСЭС целесообразно использовать эвристические методы оптимизации, в частности генетические (Holland, 1992; Akofov et al., 2019) и роевые алгоритмы (Kennedy, 1997; Xiaohui, Eberhart, 2002).

Актуальность развития методов моделирования и оптимизации характеристик МСЭС обусловлена прежде всего потребностью в улучшении динамики макроэкономических характеристик системы за счет оптимального управления индивидуальными стратегиями межотраслевого и межпродуктового взаимодействия. Здесь под стратегией взаимодействия понимается выбор моментов времени, обеспечивающих максимизацию интегрального выпуска и минимизацию совокупных производственных издержек со стороны агентов–предприятий различных отраслей экономики. При этом на поведение агентов-производителей и агентов-потребителей оказывают влияние множество факторов, в частности — их пространственное распределение, радиус торгового взаимодействия, вероятность заключения продуктовых сделок и др. Подобные стохастические модели, предложенные впервые в работах (Поспелов, 2018; Поспелов, Жукова, 2012), применяются, в частности, для поиска оптимальных торговых стратегий.

Улучшение характеристик МСЭС может быть реализовано в результате постановки и решения задач многокритериальной оптимизации для формирования и аппроксимации фронтов Парето (Lotov, Bushenkov, Kamenev, 2004; Lovot, Miettinen, 2008) с использованием предложенных эвристических алгоритмов.

Цель данной статьи состоит в разработке подхода к моделированию стохастических продуктовых взаимодействий между агентами-потребителями (индивидуумами) и агентами-производителями (предприятиями различных отраслей промышленности), управляющими динамикой ввода новых производственных ресурсов. Для поиска наилучших компромиссных (Парето-оптимальных) решений в подобной крупномасштабной МСЭС разработан новый двухкритериальный генетический алгоритм MORCGA-MOPSO (Multi-objective real-coded genetic algorithm aggregated with particle swarm optimization).

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МСЭС

Концепция модели

Рассматривается закрытая МСЭС, состоящая из *территориально распределенных промышленных агентов-производителей* (предприятий) и *агентов-потребителей* (индивидуумов), в которой в каждый момент модельного времени между каждой парой агентов, находящихся в диапазоне видимости, может быть осуществлен товарообмен или монетарная сделка (т.е. покупка продукта за деньги) для обеспечения производственного процесса и получения прибыли агентами-предприятиями либо удовлетворения потребительского спроса со стороны домохозяйств.

Производственные возможности предприятий зависят от числа задействованных в них работников и динамики основных фондов, определяемой интенсивностью инвестиционных вложений. Для расчета объемов выпускаемой предприятиями продукции в натуральном выражении используются производственные функции Кобба–Дугласа с заданными параметрами. Для упрощения модели будем считать, что каждое предприятие имеет однозначную отраслевую классификацию и выпускает только один тип продукта (например, нефть, продукцию черной металлургии и т.д.). Темпы изменения цен на продукцию считаются эндогенными и зависят от соотношения объема продукции, имеющейся у агентов-производителей (данного продукта), и совокупного спроса на эту продукцию со стороны агентов-потребителей. Таким образом, имитируется формирование равновесных цен на локальных рынках, которые используются при расчете прибыли производителей и расходов потребителей. Аналогично, увеличение прибыли агентов-предприятий изменяет темпы роста заработной платы, что приводит к периодическому перераспределению рабочей силы между предприятиями в пределах отрасли.

Агенты-потребители сами ничего не производят, но участвуют в монетарных и бартерных сделках, взаимодействуя друг с другом и производителями с целью личного потребления готовой продукции. При этом потребление носит инерционный характер, т.е. в течение некоторого периода времени приобретенный или обмененный продукт сохраняется за агентом (т.е. рассматриваются потребительские товары долговременного пользования). Также, работники могут участвовать в производственных процессах агентов-производителей для получения денежных средств (формирования накоплений для будущего потребления), могут менять место работы в случае существенной асимметрии в уровнях заработной платы между предприятиями своей отрасли и при наличии свободных рабочих мест в территориальной доступности.

Конфигурация пространственного размещения агентов-производителей и связанных с ними индивидуумов задается централизованно (рис. 1). На нем показана ситуация потенциальной конкуренции двух агентов-предприятий (выделенных светло-серым цветом) за трудовые ресурсы (выделенных темно-серым цветом), находящихся в зоне территориальной доступности (рабочих мест) заданной размерности, а также конечных потребителей, в том числе предприятий-потребителей, находящихся в зоне торгового взаимодействия.

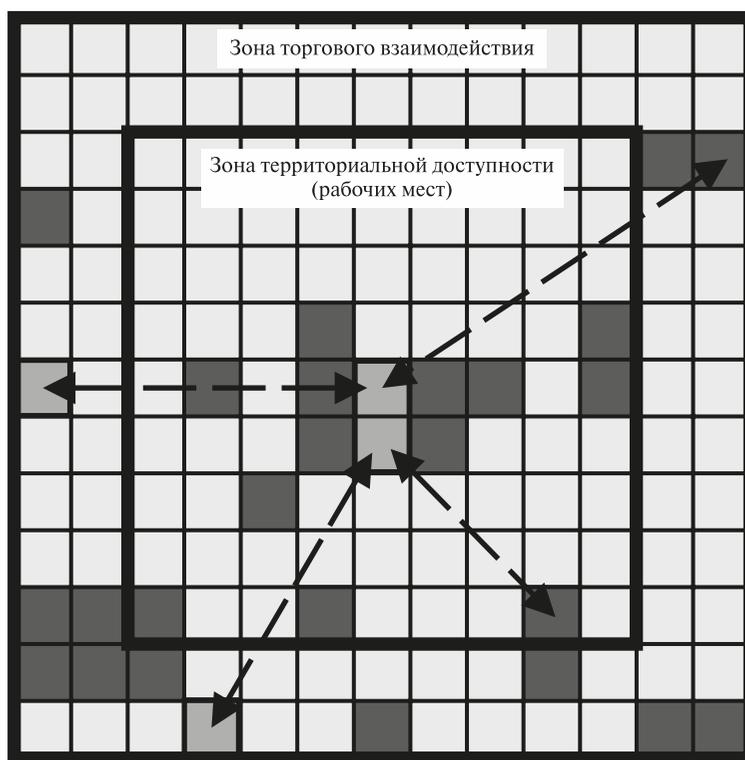


Рис. 1. Конфигурация пространственного размещения агентов-предприятий и связанных с ними трудовых ресурсов

Стратегия принятия индивидуальных решений агентов-производителей состоит в формировании оптимальных состояний (готовности) ввода новых основных фондов и трудовых ресурсов, влияющих на объемы выпуска соответствующей продукции. Стратегия для агентов-потребителей — в формировании оптимальных состояний (готовности) заключения торговых сделок для каждого момента времени.

В рамках изучаемой МСЭС рассматривается пара концептуально связанных двухкритериальных оптимизационных задач. В первой задаче целевыми функционалами являются средняя (по ансамблю агентов) накопленная прибыль агентов-производителей и среднее число покупателей, которые должны быть максимизированы. Во второй задаче целевые функционалы — средняя (по ансамблю агентов) полезность от потребления конечной продукции для агентов-потребителей и сформированные накопления, которые также должны быть максимизированы. Для каждой подобной задачи требуется сформировать подмножества решений оптимальных по Парето, среди которых экономические агенты могут выбрать наиболее предпочтительные субоптимальные решения. При этом необходимо учитывать ограничения на значения соответствующих целевых функций и искомым переменных. Далее приведем краткое формальное описание разработанной модели МСЭС.

Пусть $T = \{t_0, t_1, \dots, |T|\}$ — набор моментов времени (по месяцам), $|T|$ — общее число моментов времени; $t_0 \in T$ и $t_{|T|} \in T$ — начальный и конечный моменты модели; $P = \{p_1, \dots, p_{|P|}\}$ — набор индексов отраслей промышленности и выпускаемых ими продуктов (упорядоченных по уровню отраслевой схожести продуктов), где $|P|$ — общее число отраслей (видов продукции); $J_p = \{j_{p1}, \dots, j_{p|J_p|}\}$, $p \in P$ — набор индексов агентов-производителей (предприятий отраслей промышленности), где $|J_p|$ — общее число агентов-производителей в отрасли промышленности p ; $I = \{i_1, \dots, i_{|I|}\}$ — набор индексов агентов-потребителей (домохозяйств), где $|I|$ — общее число агентов-потребителей.

Модель поведения агентов-производителей

Агенты-производители реализуют собственную производственную стратегию посредством выбора моментов времени для ввода новых основных фондов и трудовых ресурсов. Подобный подход впервые предложен в работах, посвященных изучению динамических МОБ (Шатилов, 1967; Аганбегян, Вальгух, 1974).

Основные фонды агента-производителя j_p , зависящие от интенсивности инвестиций в момент t_k ($t_k \in T$), равны

$$K_{j_p}(t_k) = K_{j_p}(t_{k-1}) + a_{j_p}(t_k) \Delta K_{j_p}(t_k), \quad (1)$$

где $\Delta K_{j_p}(t_k)$, $j_p \in J_p$, $p \in P$ — заданный темп ввода новых основных фондов агента-производителя j_p в момент t_k ($t_k \in T$); $a_{j_p}(t_k) \in \{0, 1\}$, $j_p \in J_p$, $p \in P$ — состояние готовности агента-производителя j_p ($j_p \in J_p$, $p \in P$) к вводу новых основных фондов в момент t_k ($t_k \in T$).

Количество трудовых ресурсов (из числа агентов-потребителей), задействованных агентом-производителем j_p в момент t_k ($t_k \in T$), равно

$$L_{j_p}(t_k) = L_{j_p}(t_{k-1}) + c_{j_p}(t_k) \Delta L_{j_p}(t_k), \quad (2)$$

где $\Delta L_{j_p}(t_k)$, $j_p \in J_p$, $p \in P$ — темп формирования новых рабочих мест, занятых агентами-потребителями, входящими в зону территориальной доступности соответствующего агента-производителя в момент t_k ($t_k \in T$); $c_{j_p}(t_k) \in \{0, 1\}$, $j_p \in J_p$, $p \in P$ — состояние готовности агента-производителя j_p ($j_p \in J_p$, $p \in P$) к вводу новых основных фондов и трудовых ресурсов в момент t_k ($t_k \in T$).

Состояния готовности агента-производителя j_p ($j_p \in J_p$, $p \in P$) к вводу новых основных фондов и трудовых ресурсов задаются для каждого момента времени t_k с помощью логнормальных распределений с заданными характеристиками:

$$a_{j_p}(t_k) = \begin{cases} \left[\frac{\ln N(\mu_a, \sigma_a^2)}{\ln N(\mu_a, \sigma_a^2)} \right] / \left[\ln N(\mu_a, \sigma_a^2) \right], & \text{если } \ln N(\mu_a, \sigma_a^2) > 0, \\ 0, & \text{если } \left[\ln N(\mu_a, \sigma_a^2) \right] = 0, \end{cases} \quad (3)$$

$$A_{j_p}(t_k) = \begin{cases} \left[\frac{\ln N(\mu_A, \sigma_A^2)}{\ln N(\mu_A, \sigma_A^2)} \right] / \left[\ln N(\mu_A, \sigma_A^2) \right], & \text{если } \ln N(\mu_A, \sigma_A^2) > 0, \\ 0, & \text{если } \left[\ln N(\mu_A, \sigma_A^2) \right] = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где $\{\ln N(\mu_a, \sigma_a^2), \ln N(\mu_c, \sigma_c^2)\}$ — случайные величины, имеющие логнормальные распределения с параметрами $\{\mu_a, \sigma_a^2, \mu_c, \sigma_c^2\}$.

Объем продукции, выпускаемой производителем j_p в отрасли p , вычисляемый с использованием производственной функции Кобба–Дугласа в момент t_k , равен

$$\widehat{v}_{j_p}(t_k) = A_p K_{j_p}^{\gamma_p}(t_k) L_{j_p}^{1-\gamma_p}(t_k), \tag{5}$$

где A_p, γ_p — параметры производственной функции в отрасли p .

Производственные расходы производителя j_p в момент t_k —

$$\tilde{z}_{j_p}(t_k) = \sum_p^{|P|} \left(\pi_p(t_k) g_{pj_p} \widehat{v}_{j_p}(t_k) \right), \tag{6}$$

где $g_{pj_p} \in [0, 1], p \in P, j_p \in J_p$ — коэффициент прямых затрат, характеризующий количество продукции отрасли p , которое расходуется при производстве одной единицы продукции производителя j_p .

Уровень заработной платы, выплачиваемой агентом-производителем j_p , зависящий от темпов роста прибыли в момент t_k :

$$w_{j_p}(t_k) = w_{j_p}(t_{k-1}) \tilde{r}_{j_p}(t_{k-1}) / \tilde{r}_{j_p}(t_{k-2}). \tag{7}$$

Стоимость единицы продукции в отрасли p (зависит от соотношения объемов продукции, имеющих у продавцов, и спроса со стороны покупателей) в момент t_k может быть определена как

$$\pi_p(t_k) = \pi_p(t_{k-1}) \sum_{j_p=1}^{|J_p|} \widehat{v}_{j_p}(t_k) / \sum_{i=1}^{|I|+|J_p|} \widehat{v}_{d_i}(t_k), \tag{8}$$

где $\widehat{v}_{d_i}(t_k), d_i \in P, i \in J_b \cup I$ — количество продукта d_i , востребованного агентами i (спрос со стороны предприятий и домохозяйств) в момент t_k .

Валовая прибыль агента-производителя j_p в момент t_k :

$$\tilde{r}_{j_p}(t_k) = \pi_p(t_k) \tilde{v}_{j_p}(t_k) - \tilde{z}_{j_p}(t_k) - L_{j_p}(t_k) w_{j_p}(t_k), \tag{9}$$

где $\tilde{v}_{j_p}(t_k), j_p \in J_p, p \in P, t_k \in T$ — объем продукции, реализованной агентом-производителем j_p в результате монетарных сделок в момент t_k .

Средняя прибыль агентов-производителей равна

$$R = \frac{1}{|J_p|} \sum_{t_k=0}^{|T|} \sum_{j_p=1}^{|J_p|} \tilde{r}_{j_p}(t_k). \tag{10}$$

Среднее число покупателей продукции агентов-производителей —

$$C = \frac{1}{|J_p|} \sum_{t_k=0}^{|T|} \sum_{j_p=1}^{|J_p|} \sum_i^{|I|+|J_p|} \tilde{n}_{ij_p}(t_k), \tag{11}$$

где

$$\tilde{n}_{ij_p}(t_k) = \begin{cases} 1, & \text{если } \tilde{v}_{ij_p}(t_k) > 0, \\ 0, & \text{если } \tilde{v}_{ij_p}(t_k) = 0. \end{cases}$$

Здесь $\tilde{v}_{ij_p}(t_k)$ — объем продукции, проданной или переданной по бартеру агенту i ($i \in I \cup J_p, p \in P$) агентом-производителем j_p ($j_p \in J_p, p \in P$) в момент t_k .

Тогда можно сформулировать первую задачу формирования оптимальных стратегий поведения агентов-производителей в следующем виде.

Задача А. Требуется максимизировать среднюю прибыль и среднее число покупателей для ансамбля агентов-производителей по набору управляющих параметров, определяющих состояния агентов $\{\mu_a, \sigma_a^2, \mu_c, \sigma_c^2\}$

$$\begin{cases} \max_{\{\mu_a, \sigma_a^2, \mu_c, \sigma_c^2\}} R; \\ \max_{\{\mu_a, \sigma_a^2, \mu_c, \sigma_c^2\}} C \end{cases} \tag{12}$$

при ограничениях $\underline{R} \leq R \leq \bar{R}$, $\underline{C} \leq C \leq \bar{C}$, $\mu_a, \mu_c \in [-1, 1]$, $\sigma_a^2, \sigma_c^2 \in (0, 1]$, где \underline{U} , \underline{N} , \bar{U} , \bar{N} — нижние и верхние граничные значения целевых функций агентов-потребителей.

В рамках предложенного подхода для ансамбля агентов-производителей могут быть выбраны и другие целевые функционалы, например объем выпуска (5), производственные расходы (6) и др.

Модель поведения агентов-потребителей

Агенты-потребители участвуют в бартерных и монетарных сделках, взаимодействуя с другими агентами-потребителями и агентами-производителями. Подобный подход впервые был предложен для построения и изучения моделей случайных продаж (Kiyotaki, Wright, 1989; Поспелов, Жукова, 2012; Akorov et al., 2023).

В такой системе расстояние между продуктом $p_i(t_k)$ ($p_i(t_k) \in P$), имеющимся у продавца \tilde{i} , и продуктом $d_i(t_k)$ ($d_i(t_k) \in P$), который необходим агенту-потребителю i , измеренное по длине дуги числовой окружности с равномерно распределенными числами $1, \dots, |P|$ в момент t_k :

$$\delta_{\tilde{i}i}(t_k) = (|P| - 1)^{-1} \min \left\{ |p_i(t_k) - d_i(t_k)|, |P| - |p_i(t_k) - d_i(t_k)| \right\}. \quad (13)$$

Здесь $p_i(t_k) \in P$, $\tilde{i} \in J_p \cup I$, $p \in P$ — индекс продукта, имеющегося у агента-продавца \tilde{i} в момент t_k ; $d_i(t_k) \in P$, $i \in I$ — индекс продукта, который необходим агенту-потребителю i в момент t_k .

Оценка уровня соответствия продукта продавца \tilde{i} ($\tilde{i} \in J_p \cup I$, $p \in P$) интересам агента-потребителя i ($i \in I$) в момент t_k может быть задана как:

$$\beta_{\tilde{i}i}(t_k) = \begin{cases} 1, & \text{если } \delta_{\tilde{i}i}(t_k) \leq \alpha, \\ 0, & \text{если } \delta_{\tilde{i}i}(t_k) > \alpha, \end{cases} \quad (14)$$

где $\alpha \geq 0$ — коэффициент контрактности (т.е. порогового соответствия) продукта агента-продавца интересам агента-покупателя. Поскольку $\alpha \in [0, 1]$, этот коэффициент может интерпретироваться как вероятность сделки.

Состояния готовности агента-потребителя i к заключению бартерных и монетарных сделок задаются для каждого момента времени t_k с помощью логнормальных распределений с заданными характеристиками:

$$b_i(t_k) = \begin{cases} \lfloor \ln N(\mu_b, \sigma_b^2) \rfloor / \lfloor \ln N(\mu_b, \sigma_b^2) \rfloor, & \text{если } \ln N(\mu_b, \sigma_b^2) > 0; \\ 0, & \text{если } \lfloor \ln N(\mu_b, \sigma_b^2) \rfloor = 0, \end{cases} \quad (15)$$

$$m_i(t_k) = \begin{cases} \lfloor \ln N(\mu_m, \sigma_m^2) \rfloor / \lfloor \ln N(\mu_m, \sigma_m^2) \rfloor, & \text{если } \ln N(\mu_m, \sigma_m^2) > 0; \\ 0, & \text{если } \lfloor \ln N(\mu_m, \sigma_m^2) \rfloor = 0, \end{cases} \quad (16)$$

где $\{\ln N(\mu_b, \sigma_b^2), \ln N(\mu_m, \sigma_m^2)\}$ — случайные величины, имеющие логнормальные распределения с параметрами $\{\mu_b, \sigma_b^2, \mu_m, \sigma_m^2\}$.

В каждый момент t_k между агентом \tilde{i} ($\tilde{i} \in J_p \cup I$, $p \in P$) и агентом-потребителем i может осуществляться монетарная или бартерная сделка, результатом которой является симметричное изменение количества денежных средств при монетарном взаимодействии:

$$q_{\tilde{i}}(t_k) = \begin{cases} q_{\tilde{i}}(t_{k-1}) + \pi_p(t_k), & \text{если выполняется I;} \\ q_{\tilde{i}}(t_{k-1}), & \text{если выполняется III,} \end{cases} \quad (17)$$

$$q_i(t_k) = \begin{cases} q_i(t_{k-1}) - \pi_p(t_k), & \text{если выполняется I;} \\ q_i(t_{k-1}), & \text{если выполняется III, —} \end{cases} \quad (18)$$

и продуктов у агентов при монетарном или бартерном взаимодействии:

$$v_{p_i}(t_k) = \begin{cases} v_{p_i}(t_{k-1}) - 1, & \text{если выполняется I или II;} \\ v_{p_i}(t_{k-1}), & \text{если выполняется III,} \end{cases} \quad (19)$$

$$v_{p_i}(t_k) = \begin{cases} v_{p_i}(t_{k-1}) + 1, & \text{если выполняется I или II;} \\ v_{p_i}(t_{k-1}), & \text{если выполняется III,} \end{cases} \quad (20)$$

где

I: $\{\pi_i(t_{k-1})=0 \ \& \ \pi_i(t_{k-1})>0 \ \& \ \beta_{\tilde{i}\tilde{i}}(t_k)=1 \ \& \ m_i(t_k)m_i(t_k)=1\}$ и агенты расположены в пределах зоны торгового взаимодействия, что означает отсутствие денег у продавца, наличие денег у покупателя, наличие продукта у продавца, пороговое соответствие продукта агента-продавца интересу агента-покупателя и обоюдная готовность агентов к монетарным сделкам;

II: $\{\pi_i(t_{k-1})=0 \ \& \ \pi_i(t_{k-1})=0 \ \& \ \beta_{\tilde{i}\tilde{i}}(t_k)=1 \ \& \ b_i(t_k)b_i(t_k)=1\}$ и агенты расположены в пределах зоны торгового взаимодействия, что означает отсутствие денег у продавца и покупателя, пороговое соответствие продукта агента-продавца интересу агента-покупателя и обоюдная готовность агентов к бартерным сделкам;

III: $\{\pi_i(t_{k-1})>0 \ \& \ \pi_i(t_{k-1})>0\}$, или $\{\pi_i(t_{k-1})=0 \ \& \ \pi_i(t_{k-1})>0 \ \& \ p_i(t_k)=d_i(t_k) \ \& \ m_i(t_k)m_i(t_k)=0\}$, или $\{\pi_i(t_{k-1})=0 \ \& \ \pi_i(t_{k-1})=0 \ \& \ p_i(t_k)=d_i(t_k) \ \& \ b_i(t_k)b_i(t_k)=0\}$, или $\beta_{\tilde{i}\tilde{i}}(t_k)=0$, или агенты не расположены в зоне торгового взаимодействия, что означает встречу двух агентов с деньгами, или неготовность агентов к сделке, или пороговое несоответствие продукта агента-продавца интересу агента-покупателя.

Прирост денежных средств у агентов-потребителей также обеспечивается получением заработной платы от агентов-производителей в случае занятости.

Средняя полезность для агентов-потребителей может быть определена как

$$U = \frac{1}{|I|} \sum_{t_k=0}^{|I|} \sum_{i=1}^{|I|} \beta_{\tilde{i}\tilde{i}}(t_k) \left((\delta_{\tilde{i}\tilde{i}}(t_k) + 1)^{-v} - \lambda r \right), \quad i \in \{\tilde{i} : i \in I, \beta_{\tilde{i}\tilde{i}}(t_k) = 1\}; \quad (21)$$

средние денежные накопления агентов-потребителей —

$$N = \frac{1}{|I|} \sum_{t_k=0}^{|I|} \sum_{i=1}^{|I|} q_i(t_k). \quad (22)$$

Здесь $r \in [1, \bar{r}]$ — радиус торгового взаимодействия, т.е. диапазон ячеек дискретного пространства размещения агентов, считающихся соседними, \bar{r} — максимально допустимое расстояние между взаимодействующими агентами; $\{v, \lambda\}$ — коэффициенты, определяющие влияние издержек расстояния между целевым и приобретаемым продуктом, а также между покупателем и продавцом соответственно.

Тогда можно сформулировать вторую задачу формирования оптимальных стратегий поведения агентов-потребителей в следующем виде.

Задача В. Требуется максимизировать среднюю полезность от потребления и средние денежные накопления для ансамбля агентов-потребителей по наборам управляющих параметров, определяющих состояния агентов $\{\mu_b, \sigma_b^2, \mu_m, \sigma_m^2\}$

$$\begin{cases} \max_{\{\mu_b, \sigma_b^2, \mu_m, \sigma_m^2\}} U; \\ \max_{\{\mu_b, \sigma_b^2, \mu_m, \sigma_m^2\}} N \end{cases} \quad (23)$$

при ограничениях: $\underline{U} \leq U \leq \bar{U}$, $\underline{N} \leq N \leq \bar{N}$, $\mu_b, \mu_m \in [-1, 1]$, $\sigma_b^2, \sigma_m^2 \in (0, 1]$. Здесь, \underline{U} , \underline{N} , \bar{U} , \bar{N} — нижние и верхние граничные значения целевых функций агентов-потребителей.

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ

Алгоритм MORCGA-MOPSO

Далее, был разработан генетический оптимизационный алгоритм (MORCGA-MOPSO), агрегированный по целевым функционалам с предложенной МСЭС (рис. 2), реализованными с использованием FLAME GPU (Richmond et al., 2010). Особенностью MORCGA-MOPSO является применение методов машинного обучения, в частности искусственных нейронных сетей (ИНС), для аппроксимации фитнес-функции, компоненты которой (т.е. целевые функционалы) вычисляются в результате имитационного моделирования. Подобный подход позволяет существенно сократить временные затраты, обусловленные необходимостью множественных пересчетов агентной модели для каждого варианта потенциальных решений (Jin, 2005).

Важным отличием MORCGA-MOPSO (рис. 2) от других известных алгоритмов многокритериальной оптимизации (например, SPEA (Zitzler, Thiele, 1999), SPEA2 (Zitzler, Laumanns, Thiele, 2001), NSGA-II (Deb et al., 2002a) MOPSO (Xiaohui, Eberhart, 2002) и FCGA (Akopov et al., 2022))

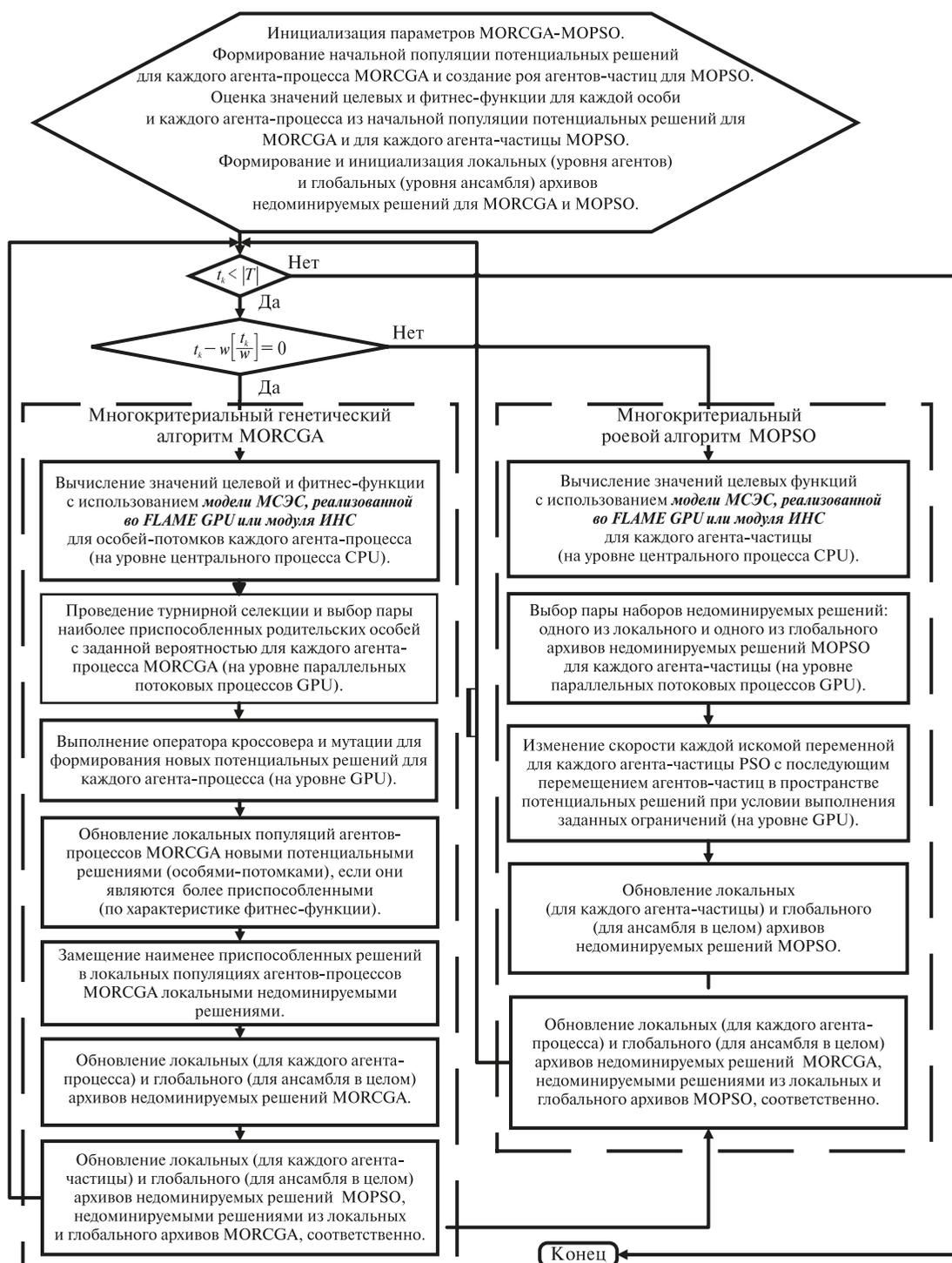


Рис. 2. Блок-схема генетического алгоритма (MORCGA-MOPSO) ($t = \{t_0, \dots, |T|\}$ — набор итераций MORCGA-MOPSO, $|T|$ — общее число итераций, $t_0 \in T$, $t_{|T|} \in T$ — начальный и конечный моменты MORCGA-MOPSO; w — частота чередования использования алгоритмов MORCGA и MOPSO и взаимного обновления полученными недоминируемыми решениями в рамках единой процедуры эволюционного поиска)

является комбинирование различных эвристических методов в рамках единой процедуры эволюционного поиска Парето-оптимальных решений. В частности, выполнена интеграция многокритериального генетического алгоритма вещественного кодирования MORCGA (multi-objective real-coded genetic algorithm) и многокритериального роевого алгоритма MOPSO

(multi-objective particle swarm optimization). В результате обеспечивается существенно большее быстродействие вычислительной процедуры при сохранении достаточно высокого качества получаемых решений (в сравнении с автономным использованием генетических и роевых алгоритмов).

Результаты тестирования и верификации MORCGA-MOPSO

Для апробации и верификации разработанного алгоритма MORCGA-MOPSO были привлечены известные тестовые функции (табл. 1).

Затем была выполнена оценка производительности алгоритма MORCGA-MOPSO в сравнении с другими известными параллельными алгоритмами многокритериальной оптимизации, также реализованными с использованием FLAME GPU по наиболее важным критериям:

LHV — максимизируемый показатель, характеризующий логарифмический гиперобъем, определяющий суммарную площадь пространства, покрываемого фронтом Парето;

IGD — максимизируемая метрика, характеризующая расстояние между фронтом Парето, полученным с помощью эвристического алгоритма, и эталонным фронтом Парето;

CPF — максимизируемая мощность фронта Парето, характеризующая число найденных недоминируемых решений, принадлежащих фронту Парето (при условии равномерного распределения решений по фронту Парето);

PT, секунд — минимизируемое время, затрачиваемое на формирование Парето-оптимальных решений;

Таблица 1. Тестовые функции для RCGA-PSO

Тестовая функция	Постановка задачи (минимизируемые целевые функции)	Диапазоны поиска решений
FT1 — функция Бина — Корна (Binh, Korn, 1997)	$\begin{cases} f_1 = 4x^2 + 4y^2 \\ f_2 = (x - 5)^2 + (y - 5)^2 \end{cases}$ при условии $\begin{cases} g_1 = (x - 5)^2 + y^2 \leq 25; \\ g_2 = (x - 8)^2 + (y + 3)^2 \geq 7,7 \end{cases}$	$0 \leq x \leq 5; 0 \leq y \leq 3$
FT2 — функция Фонсеки—Флеминга (Fonseca, Fleming, 1995)	$\begin{cases} f_1 = 1 - \exp\left(-\sum_{j=1}^n (x_j - n^{-1/2})^2\right); \\ f_2 = 1 - \exp\left(-\sum_{j=1}^n (x_j + n^{-1/2})^2\right) \end{cases}$	$-4 \leq x_j \leq 4, 1 \leq j \leq n$
FT3 — функция Курсаве (Kursawe, 1991)	$\begin{cases} f_1 = \sum_{j=1}^2 \left(-10 \exp\left(-0,2\sqrt{x_j^2 + x_{j+1}^2}\right)\right); \\ f_2 = \sum_{j=1}^3 \left(x_j ^{0,8} + 5x_j^3\right) \end{cases}$	$-5 \leq x_j \leq 5, 1 \leq j \leq 3$
FT4 — функция Полони 2 для задач двухкритериальной оптимизации (Poloni et al., 2000)	$\begin{cases} f_1 = 1 + (A_1 - B_1)^2 + (A_2 - B_2)^2; \\ f_2 = (x + 3)^2 + (y + 1)^2 \end{cases}$ где $\begin{cases} A_1 = 0,5 \sin 1 - 2 \cos 1 + \sin 2 - 1,5 \cos 2; \\ A_2 = 1,5 \sin 1 - \cos 1 + 2 \sin 2 - 0,5 \cos 2; \\ B_1 = 0,5 \sin x - 2 \cos x + \sin y - 1,5 \cos y; \\ B_2 = 1,5 \sin x - \cos x + 2 \sin y - 0,5 \cos y \end{cases}$	$-\pi \leq x \leq \pi, -\pi \leq y \leq \pi$
FT5 — функция Зистера—Дьеба—Тери N.3 (Deb et al., 2002b)	$\begin{cases} f_1 = x_1; \\ f_2 = gh, \end{cases}$ где $\begin{cases} g = 1 + \frac{9}{29} \sum_{j=2}^{30} x_j; \\ h = 1 - \sqrt{f_1 / g} - (f_1 / g) \sin(10\pi f_1) \end{cases}$	$0 \leq x_j \leq 1, 1 \leq j \leq 30$
FT6 — функция Зистера—Дьеба—Тери N.4 (Deb et al., 2002b)	$\begin{cases} f_1 = x_1; \\ f_2 = gh, \end{cases}$ где $\begin{cases} g = 91 + \sum_{j=2}^{10} (x_j^2 - 10 \cos(4\pi x_j)); \\ h = 1 - \sqrt{f_1 / g} \end{cases}$	$0 \leq x_1 \leq 1, -5 \leq x_j \leq 5, 2 \leq j \leq 10$

CPF / PT — соотношение числа полученных недоминируемых решений к затраченному процессному времени.

В табл. 2 представлены средние значения показателей производительности MORCGA-MOPSO в сравнении с другими известными параллельными алгоритмами многокритериальной оптимизации.

Таблица 2. Оценка эффективности MORCGA-MOPSO

Показатель эффективности	MORCGA-MOPSO	Алгоритмы MORCGA и PSO				
		SPEA	SPEA2	NSGA-II	FCGA	MOPSO
FT1 — Функция Бина и Корна						
<i>LHV</i>	3,841	3,824	3,829	3,840	3,843	3,807
<i>IGD</i>	0,0759	0,0224	0,0761	0,1323	0,2795	0,0223
<i>CPF</i>	1712	996	1052	2587	2760	835
<i>PT, с</i>	54	52	63	103	147	21
<i>CPF/PT</i>	31,7	19,2	16,8	25,0	18,8	39,1
FT2 — Функция Фонсеки и Флеминга						
<i>LHV</i>	-0,0014	-0,0038	-0,0034	-0,0013	-0,0019	-0,0019
<i>IGD</i>	0,0002	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0009
<i>CPF</i>	1330	379	519	2826	2825	308
<i>PT, с</i>	41	27	32	165	257	21
<i>CPF/PT</i>	32,2	14,2	16,2	17,2	11,0	14,9
FT3 — Функция Курсава						
<i>LHV</i>	1,9016	1,8895	1,8923	1,8996	1,9035	1,8664
<i>IGD</i>	0,0439	0,0493	0,1489	0,0608	0,0618	0,1166
<i>CPF</i>	117	29	24	357	335	36
<i>PT, с</i>	31	21	14	44	45	21
<i>CPF/PT</i>	3,8	1,4	1,7	8,1	7,4	1,7
FT4 — Функция Полони						
<i>LHV</i>	2,7065	2,6815	2,7055	2,6933	2,6925	2,7061
<i>IGD</i>	0,1606	0,2787	0,2002	0,3737	0,3362	0,1298
<i>CPF</i>	112	53	84	54	67	94
<i>PT, с</i>	25	17	18	31	35	21
<i>CPF/PT</i>	4,5	3,2	4,7	1,8	1,9	4,5
FT5 — Функция Зистера–Дьеба–Тери N.3						
<i>LHV</i>	0,2021	0,2011	0,2021	0,2014	0,2021	0,2017
<i>IGD</i>	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0024	0,0024
<i>CPF</i>	259	259	259	258	260	258
<i>PT, с</i>	22	17	23	35	43	11
<i>CPF/PT</i>	11,8	15,5	11,4	7,4	6,0	24,2
FT6 — Функция Зистера–Дьеба–Тери N.4						
<i>LHV</i>	0,0678	0,0561	0,0614	0,0758	0,0743	0,0630
<i>IGD</i>	0,0096	0,0153	0,0151	0,0111	0,0104	0,0103
<i>CPF</i>	1106	144	116	3588	3480	123
<i>PT, с</i>	37	15	13	121	185	11
<i>CPF/PT</i>	29,6	9,4	9,2	29,6	18,8	11,5

Примечание. Темно-серым цветом выделены ячейки с показателями эффективности эвристических алгоритмов, значения которых являются наилучшими для соответствующей тестовой функции (т.е. максимальными для *LHV*, *CPF*, *CPF/PT* и минимальными для *IGD* и *PT*).; светло-серым — показатели, значения которых можно оценить как относительно благоприятные.

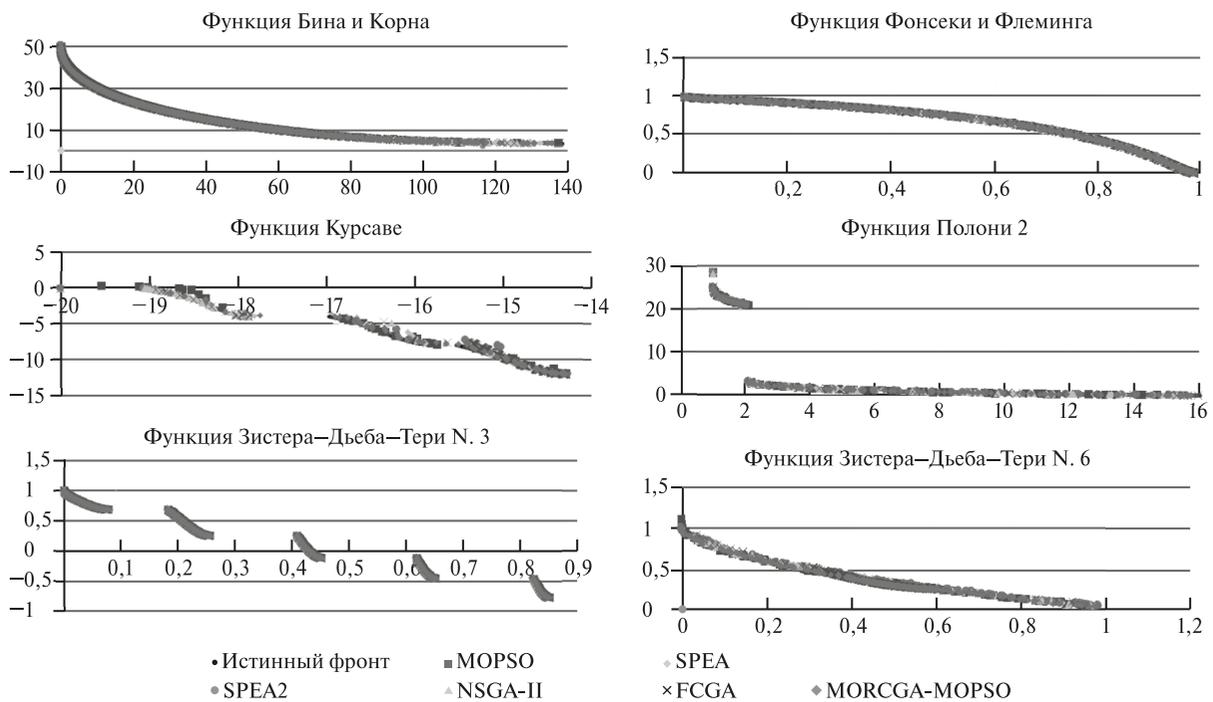


Рис. 3. Аппроксимируемые фронты Парето для набора тестовых функций

Оптимизационные эксперименты были проведены на суперкомпьютере ЦЭМИ РАН DSWS PRO (2x Intel Xeon Silver 4114, 1x NVIDIA QUADRO RTX) при использовании 100 агентов-процессов и агентов-частиц, общем числе итераций $|T|=100$ и $w=5$.

Анализ показал, что предложенный гибридный генетический алгоритм MORCGA-MOPSO по критерию временной эффективности (PT) сопоставим с методами быстрой многокритериальной эвристической оптимизации MOPSO (Xiaohui, Eberhart, 2002) и SPEA (Zitzler, Thiele, 1999), а по мощности фронта Парето (CPF) и логарифмическому гиперобъему (LHV) — с ресурсозатратными алгоритмами NSGA-II (Deb et al., 2002) и FCGA (Akorov et al., 2022).

На рис. 3 представлена визуализация аппроксимируемых фронтов Парето, полученных с использованием исследуемых алгоритмов для выбранного набора тестовых функций. Результатом решения двухкритериальных задач А и В являются множества субоптимальных решений. Из них на рис. 3 приведены 8 наиболее различающихся решений (А.1–А.8 и В.1–В.8).

Как следует из графиков на рис. 3 и данных в табл. 2 (см. показатель IGD), алгоритм MORCGA-MOPSO обеспечивает достаточное приближение аппроксимируемых фронтов Парето к соответствующим истинным фронтам, количественные характеристики которых являются известными.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Далее, были проведены оптимизационные эксперименты с использованием разработанного гибридного генетического алгоритма MORCGA-MOPSO, агрегированного по целевым функционалам с предложенной имитационной моделью МСЭС. При этом были приняты следующие наиболее важные допущения.

Период моделирования $|T|=12$ (мес.).

Общее число отраслей промышленности — $|P|=15$, отрасли характеризуются эластичностью выпуска по основным фондам $\gamma_p \in [0,3; 0,98]$, $p \in P$ (нижняя граница соответствует «производству резиновых и пластмассовых изделий», верхняя — «производству машин и оборудования»).

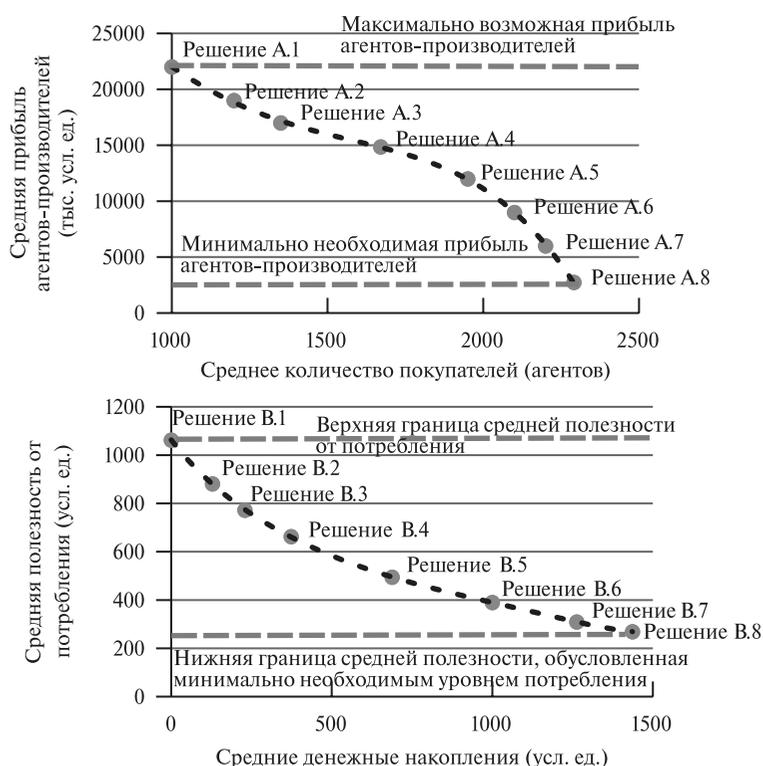


Рис. 4. Аппроксимируемые фронты Парето, вычисленные для задач А и В с использованием MORCGA-MOPSO

Общее число агентов-производителей, т.е. промышленных предприятий, $|J_p| = 150$ (соотношение с реальным числом предприятий 1: 2000) и агентов-потребителей, т.е. занятых и незанятых индивидуумов, $|I| = 3000$ (соотношение с реальным числом людей 1: 5000).

Радиус торгового взаимодействия: $r = 10$ (ячеек дискретного пространства).

Коэффициенты, определяющие влияние издержек расстояний: $\nu = 1,5$, $\lambda = 0,01$.

На рис. 4 показаны фронты Парето и выделены частные наиболее отличающиеся субоптимальные альтернативы, полученные в результате решения задач А и В с использованием MORCGA-MOPSO.

В табл. 3 представлены субоптимальные решения, принадлежащие фронтам Парето (см. рис. 4), вычисленным с использованием MORCGA-MOPSO для задач А и В.

Таблица 3. Субоптимальные решения, принадлежащие фронтам Парето

Субоптимальные решения для задачи А	Параметры логнормальных распределений агентов-производителей				Преимущественные состояния агентов	
	μ_a	σ_a^2	μ_c	σ_c^2	$a_j(t_k)$	$A_j(t_k)$
Решение А.1	-0,4450	0,4620	-0,1010	0,8190	0	0
Решение А.2	-0,6500	0,0540	-0,2730	0,3440	0	0
Решение А.3	0,1530	0,6810	0,1930	0,4850	0	0
Решение А.4	0,1720	0,5360	0,2680	0,3020	0	1
Решение А.5	0,3890	0,6700	0,6480	0,6690	1	1
Решение А.6	0,6730	0,4850	0,9740	0,5540	1	1
Решение А.7	0,7250	0,4700	0,8230	0,5350	1	1
Решение А.8	0,8050	0,7740	0,9840	0,6190	1	1

Окончание таблицы 3

Субоптимальные решения для задачи В	Параметры логнормальных распределений агентов-потребителей				Преимущественные состояния агентов	
	μ_b	σ_b^2	μ_m	σ_m^2	$b_i(t_k)$	$m_i(t_k)$
Решение В.1	0,9710	0,3500	0,9520	0,0200	1	1
Решение В.2	0,9340	0,0230	0,8570	0,8240	1	1
Решение В.3	0,7850	0,3220	0,9200	0,7360	1	1
Решение В.4	0,9670	0,7690	0,8970	0,5790	1	1
Решение В.5	0,7350	0,1520	0,1170	0,9010	1	0
Решение В.6	0,1620	0,7910	0,1470	0,6610	0	0
Решение В.7	-0,1220	0,8260	-0,1490	0,5720	0	0
Решение В.8	-0,5510	0,2320	-0,2870	0,7650	0	0

Стратегия поведения агентов-производителей, направленная на максимизацию собственной прибыли (решения А.1–А.4) в основном реализуется за счет ограничения темпов ввода новых основных фондов и трудовых ресурсов (см. табл. 3). Увеличение клиентской базы, наоборот, обуславливает необходимость наращивания производственных ресурсов (решения А.5–А.8). Стратегия поведения агентов-потребителей, направленная на максимизацию средней полезности от потребления, как правило, предполагает реализацию всех типов сделок (решения В.1–В.4). Максимизация денежных накоплений сопровождается отказом от монетарных сделок в пользу бартерного обмена (решения В.5–В.8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе представлен подход к имитационному моделированию продуктовых взаимодействий и оптимизации стратегий поведения экономических агентов в рамках МСЭС. Сформулированы важные двухкритериальные оптимизационные задачи для ансамблей агентов-производителей и агентов-потребителей. Разработан новый параллельный гибридный генетический алгоритм (MORCGA-MOPSO), в рамках которого реализуется комбинированное использование генетического алгоритма вещественного кодирования (класса RCGA) и метода роевой оптимизации (PSO) для достижения максимальной временной эффективности. Выполнена программная реализация разработанной имитационной модели МСЭС, агрегированной по целевым функционалам с предложенным генетическим алгоритмом в системе крупномасштабного агентного моделирования FLAME GPU.

Дальнейшие исследования будут направлены на детализацию МСЭС, увеличение типов и общего количества взаимодействующих экономических агентов, а также развитие методов оптимального управления их поведением с использованием генетических алгоритмов и машинного обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Аганбегян А.Г., Вальтух К.К.** (1974). Использование народно-хозяйственных моделей в планировании. М.: Экономика. 231 с. [Aganbegyan A.G., Valtukh K.K. (1974). *The use of national-economy models in planning*. Moscow: Ekonomika (in Russian).]
- Акопов А.С., Бекларян Л.А., Бекларян А.Л.** (2021). Мультисекторная модель ограниченного соседства: сегрегация агентов и оптимизация характеристик среды // *Математическое моделирование*. Т. 33. № 11. С. 95–114. [Akopov A.S., Beklaryan L.A., Beklaryan A.L. (2022). Multisector bounded-neighborhood model: Agent segregation and optimization of environment's characteristics. *Math. Models & Comput. Simul.*, 14, 503–515 (in Russian).]
- Ведута Н.И.** (1999). Социально эффективная экономика. Под общей ред. Е.Н. Ведута. Moscow: РЭА. 254 с. [Veduta N.I. (1999). *Socially effective economy*. Moscow: REA (in Russian).]
- Ершов Ю.С., Мельникова Л.В., Суслов В.И.** (2009). Практика применения оптимизационных мультирегиональных межотраслевых моделей в стратегических прогнозах российской экономики // *Вестник НГУ. Серия: Социально-экономические науки*. Т. 9. № 4. С. 9–23. [Ershov Yu.S., Melnikova L.V., Suslov V.I. (2009). The practice of the use of multiregional input-output models in strategic forecasts of Russian economy. *Vestnik NSU. Series: Social and Economics Sciences*, 9 (4), 9–23 (in Russian).]

- Леонтьев В.В.** (1925). Баланс народного хозяйства СССР. Методологический разбор работы ЦСУ // *Плановое хозяйство: Ежемесячный журнал. Издание Госплана СССР*. № 12. С. 254–258. [**Leontief W.W.** (1925). Balance of the national economy of the USSR. Methodological analysis of the work of the CSB. *Planned Economy: Monthly Journal. Publication of the State Planning Commission of the USSR*, 12, 254–258 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В.** (2019). Укрупненная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского союза // *Экономика и математические методы*. Т. 55. № 1. С. 3–15. [**Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Rovenskaya E.A., Strelkovskiy N.V.** (2019). Aggregated agent-based simulation model of migration flows of the European Union countries. *Economics and Mathematical Methods*, 55 (1), 3–15 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В.** (2020). Агентное моделирование популяционной динамики двух взаимодействующих сообществ: мигрантов и коренных жителей // *Экономика и математические методы*. Т. 56. № 2. С. 5–19. [**Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Rovenskaya E.A., Strelkovskiy N.V.** (2020). Agent-based modelling of population dynamics of two interacting social communities: Migrants and natives. *Economics and Mathematical Methods*, 56 (2), 5–19 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В.** (2022). Агентное моделирование социально-экономических последствий миграции при государственном регулировании занятости // *Экономика и математические методы*. Т. 58. № 1. С. 113–130. [**Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Rovenskaya E.A., Strelkovskii N.V.** (2022). Agent-based modeling of social and economic impacts of migration under the government regulated employment. *Economics and Mathematical Methods*, 58 (1), 113–130 (in Russian).]
- Поспелов И.Г.** (2018). Модель случайных продаж // *Математические заметки*. Т. 103. № 3. С. 445–459. [**Pospelov I.G.** (2018). A model of random sales. *Math. Notes*, 103, 453–465 (in Russian).]
- Поспелов И.Г., Жукова А.А.** (2012). Стохастическая модель торговли неликвидным товаром // *Труды МФТИ*. Т. 2. № 4. С. 131–146. [**Pospelov I.G., Zhukova A.A.** (2012). Stochastic model of illiquid asset trade. *Proceedings of MIPT*, 2, 131–146 (in Russian).]
- Суслов В.И., Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М., Костин В.С., Мельникова Л.В., Цыплаков А.А.** (2016). Агент-ориентированная многорегиональная модель «затраты — выпуск» российской экономики // *Экономика и математические методы*. Т. 52. № 1. С. 112–131. [**Suslov V.I., Domozhiron D.A., Ibragimov N.M., Kostin V.S., Melnikova L.V., Tsyplakov A.A.** (2016). Agent-based multiregional input-output model of the Russian economy. *Economics and Mathematical Methods*, 52 (1), 112–131 (in Russian).]
- Шатилов Н.Ф.** (1967). Моделирование расширенного воспроизводства. М.: Экономика. 173 с. [**Shatilov N.F.** (1967). *Modeling the expanded reproduction*. М.: Ekonomika (in Russian).]
- Акопов А.С., Beklaryan A.L., Zhukova A.A.** (2023). Optimization of characteristics for a stochastic agent-based model of goods exchange with the use of parallel hybrid genetic algorithm. *Cybernetics and Information Technologies*, 23 (2), 87–104.
- Акопов А.С., Beklaryan L.A., Thakur M.** (2022). Improvement of maneuverability within a multiagent fuzzy transportation system with the use of parallel biobjective real-coded genetic algorithm. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23 (8), 12648–12664.
- Акопов А.С., Beklaryan L.A., Thakur M., Verma D.B.** (2019). Parallel multi-agent real-coded genetic algorithm for large-scale black-box single-objective optimisation. *Knowledge-Based Systems*, 174, 103–122.
- Binh T., Korn U.** (1997). MOBES: A multiobjective evolution strategy for constrained optimization problems. In: *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms. Czech Republic*, 176–182.
- Deb K., Pratap A., Agarwal S., Meyarivan T.** (2002a). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6 (2), 182–197.
- Deb K., Thiele L., Laumanns M., Zitzler E.** (2002b). Scalable multi-objective optimization test problems. *Proceedings of the 2002 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 1, 825–830.
- Fonseca C.M., Fleming P.J.** (1995). An overview of evolutionary algorithms in multiobjective optimization. *Evolutionary Computation*, 3 (1), 1–16.
- Holland J.H.** (1992). Genetic Algorithms. *Scientific American*, 267 (1), 66–73.
- Jin Y.** (2005). A comprehensive survey of fitness approximation in evolutionary computation. *Soft Computing*, (9), 3–12.
- Kennedy J.** (1997). The particle swarm: Social adaptation of knowledge. *Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, 303–308.
- Kiyotaki N., Wright R.** (1989). On money as a medium of exchange. *Journal of Political Economy*, 97 (4), 927–954.
- Kursawe F.** (1991). A variant of evolution strategies for vector optimization. *PPSN 1990. Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Berlin, Heidelberg, 496, 193–197.

- Lotov A.V., Bushenkov V.A., Kamenev G.K.** (2004). *Interactive decision maps. Approximation and visualization of the Pareto frontier*. Boston: Kluwer Academic Publishers. 307 p.
- Lotov A.V., Miettinen K.** (2008). Visualizing the Pareto Frontier. In: *Multiobjective optimization. Interactive and evolutionary approaches, lecture notes in computer science*, 5252. Berlin-Heidelberg: Springer, 213–244.
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Epstein J.M.** (2022). Agent-based modeling for a complex world. 2nd ed., revised. Moscow: GAUGN, Scientific publications department. 74 p.
- Poloni G., Giurgevich A., Onesti L., Pediroda V.** (2000). Hybridization of a multi-objective genetic algorithm, a neural network and a classical optimizer for a complex design problem in fluid dynamics. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 186 (2–4), 403–420.
- Richmond P., Walker D., Coakley S., Romano D.** (2010). High performance cellular level agent-based simulation with FLAME for the GPU. *Briefings in Bioinformatics*, 11 (3), 334–347.
- Xiaohui Hu, Eberhart R.** (2002). Multiobjective optimization using dynamic neighborhood particle swarm optimization. *Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation. CEC'02 (Cat, 02TH8600)*. Honolulu, HI, USA, 1677–1681.
- Zitzler E., Laumanns M., Thiele L.** (2001). *SPEA2: Improving the strength Pareto evolutionary algorithm*. Swiss Federal Inst. Technol., Zürich, Switzerland, TIK-Rep. 103 p.
- Zitzler E., Thiele L.** (1999). Multiobjective evolutionary algorithms: A comparative case study and the strength Pareto approach. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 3 (4), 257–271.

Optimization of behaviour strategies within the simulation model of a multi-agent socio-economic system

© 2023 A.S. Akopov, A.L. Beklaryan

A.S. Akopov,

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow (CEMI RAS), Russia; e-mail: akopovas@umail.ru

A.L. Beklaryan,

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia; e-mail: abeklaryan@hse.ru

Received 12.03.2023

The research was supported by Russian Science Foundation (project no. 23-21-00012).

Abstract. This article presents a new simulation model of a multi-agent socio-economic system (MA-SES), in which individual, including interproduct interactions are implemented. Within the MA-SES, the models of agent-producers and agents-consumers behaviour with their objective functions are studied. In particular, producers follow their own production strategies by choosing the moments for introducing new fixed assets and labour resources. Consumers participate in barter and monetary deals by interacting with other agents. The states of readiness of agents-producers to introduce new fixed assets and labour resources, as well as the states of readiness of agents-consumers to complete barter and monetary deals are set up for each time moment using lognormal distributions with given characteristics, which are the control parameters of the system. Important bi-objective optimization problems are formulated for ensembles of agents-producers and agents-consumers. A new parallel hybrid genetic algorithm (MORCGA-MOPSO) was developed, in particular, providing the possibility of seeking the Pareto-optimal solutions for maximising the average (over an ensemble of agents) profit and the total number of agent-producers' buyers, as well as maximising the average utility and monetary savings of agents-consumers. The parameters of log-normal distributions that determine the states of interacting agents that make individual decisions are computed. The features of the behavioural strategies of producers and consumers are determined, which make possible to achieve an improvement in the values of the objective functions through controlling the dynamics of the input of production resources and choosing the preferred types of interproduct interactions, in particular, barter, monetary etc.

Keywords: multi-agent socio-economic systems, simulation of economic processes, interproduct interactions, genetic algorithms, particle swarm optimization, multicriteria optimization.

JEL Classification: C02, C61, C63, D51, D91.

For reference: **Akopov A.S., Beklaryan A.L.** (2023). Optimization of behaviour strategies within the simulation model of a multi-agent socio-economic system. *Economics and Mathematical Methods*, 59, 3, 117–131. DOI: 10.31857/S042473880027006-5 (in Russian).

===== МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ =====

**Модель роста экономических агентов с учетом взаимодействия
и запаздывания на взаимные воздействия**

© 2023 г. Т.Р. Кильматов

Т.Р. Кильматов,

Дальневосточный федеральный университет; Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского, Владивосток; e-mail: talgat_k@mail.ru

Поступила в редакцию 11.04.2023

Аннотация. Построена динамическая модель экономического роста агентов с учетом взаимного партнерства. Предполагается возможность временного запаздывания взаимных воздействий. В основе модели — система обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом. Представлены простые частные аналитические решения, позволяющие провести экономическую интерпретацию результатов. Приведены сравнительные количественные расчеты модельного роста агентов при различных сценариях развития. Расчеты представлены на глубину порядка десятилетия при характерных мировых темпах развития 3% в год. Выделяются два основных сценария. Первый (фактор кооперации) — изоляции агента в процессе взаимодействия и обмена технологиями. Здесь вследствие изоляции масштаб отставания агента составляет 60% базового сценария за рассматриваемый период времени. Второй (сценарный расчет) — учет эффекта временного запаздывания—опережения использования достижений других агентов. В этом случае при прочих равных условиях динамический рост агента, который не только участвует в кооперации, но и опережает других на один-два года во внедрении достижений партнеров, обгоняя в динамическом росте в полтора раза. Таким образом, показано, что наиболее эффективный рост происходит при опережающей скорости реакции на партнерские воздействия. Это является результатом мультипликативного накопления преимущества. Ускоренный экономический рост послевоенной Японии является примером такого опережения.

Ключевые слова: динамическая модель экономики, экономическое взаимодействие и кооперация, временное запаздывание, дифференциальные уравнения с отклоняющимися переменными.

Классификация JEL: CO2, C39.

Для цитирования: **Кильматов Т.Р.** (2023). Модель роста экономических агентов с учетом взаимодействия и запаздывания на взаимные воздействия // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 3. С. 132–136. DOI: 10.31857/S042473880026952-6

ВВЕДЕНИЕ

Классические динамические модели макроэкономического роста (Solow, 1956; Romer 1990) предназначены для оценки значимых факторов роста и прогнозирования роста экономических процессов. Варианты развития динамического моделирования в экономике и обзор моделей представлены, в частности, в работе (Андрианов и др., 2015). Подобные модели непрерывно совершенствуются и в них добавляются новые факторы. Современное усложнение, удорожание и ускорение НИОКР изменяет социально-экономические условия. В частности, растет специализация и разделение труда на уровне отдельных государств, регионов и даже континентов. В высокотехнологичных конечных продуктах (например, в авиастроении) используются комплектующие детали из большого числа стран. Одновременно скорость изменения технологических процессов столь велика, что перед предприятиями практически непрерывно стоит проблема своевременного освоения и замены старых, и даже слегка устаревших, технологий. В этом случае особое значение приобретает экономический параметр — время реакции на современные воздействия. Математическая теория для моделирования процессов временной реакции на внешние воздействия в приложении к технике разрабатывалась с середины прошлого века (Bellman, 1949; Эльсгольц, Норкин, 1971), развитие этой теории можно найти в (Бекларян, 2007).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

В статье строится динамическая модель роста в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом. Цель моделирования — рассмотреть совместный рост n экономических агентов с учетом их взаимодействия, оценить влияние фактора «кооперации — индивидуализации» и фактора «временной задержки — опережения» на динамику развития.

Рассмотрим n экономических агентов (стран), которые взаимодействуют между собой. Пусть $x_i(t)$ — параметр, характеризующий уровень роста агента i (например, ВВП) в заданный момент времени. Динамический рост осуществляется за счет собственных внутренних ресурсов или в результате кооперации, что модельно можно представить в виде динамических уравнений

$$\dot{x}_i = \beta_i x_i + \sum_j^n \alpha_{ij} x_i x_j, \alpha_{ii} = 0, i = 1, \dots, n. \tag{1}$$

Здесь первый член в правой части — положительные эндогенные параметры модели β_i — характеризует рост соответствующего агента за счет собственных ресурсов, второй член — параметры α_{ij} — рост за счет кооперации с другими агентами. Аналогом α_{ij} могут служить подходы моделей популяции (Смит, 1974; Макаров и др., 2020), где рассматриваются специализация и кооперация для совместного сосуществования.

В матричной форме уравнения (1) можно переписать в виде $\dot{X} = BX + AX$, где $B = (\beta_1 \dots \beta_n)$,

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_n \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} 0 & \alpha_{12}X_1 & \dots & \alpha_{1n}X_1 \\ \alpha_{21}X_2 & 0 & \dots & \alpha_{2n}X_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1}X_n & \alpha_{n2}X_n & \dots & 0 \end{pmatrix},$$

по диагонали квадратной матрицы A стоят нули. Размерность β_i — величина, обратная времени; размерность α_{ij} — величина, обратная произведению времени t на уровень роста $x_i(t)$.

Система (1) с начальными условиями

$$x_i(t_0) = x_{i0}, \quad i = 1, \dots, n \tag{2}$$

описывает динамическую траекторию роста агентов во времени при условии применения собственных ресурсов, а также кооперации с другими агентами и с различными значениями параметров. Если система (1) предполагает задание функций в разные моменты времени, тогда она переходит в уравнения с отклоняющимися переменными, и начальные условия надо задавать в окрестности начальной точки (подробности см. в (Эльсгольц, Норкин, 1971; Бекларян, 2007)). В общем случае реализация (1)–(2) возможна в виде численной компьютерной имитации, которая целесообразна скорее всего только при адекватном статистическом наполнении модели.

ЧАСТНЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Рассмотрим простые частные случаи, допускающие аналитические решения и ясную экономическую интерпретацию. Например случай, когда агенты имеют одинаковые симметричные экономические параметры, т.е.

$$\beta_i = \beta, \alpha_{ij} = \alpha \text{ при } i \neq j, x(t) = x_i(t), x_i(0) = x_0. \tag{3}$$

Если нет отклонений аргументов, то все функции в модели в один и тот же момент зависят от времени. Тогда система (1) сводится к одному уравнению

$$\dot{x} = \beta x + \alpha(n-1)x^2 \tag{4}$$

и аналитическое решение системы с начальными условиями (2) имеет вид

$$\frac{x(t)}{x_0} = \frac{\beta e^{\beta t}}{\beta + x_0 \alpha(n-1)(1 - e^{\beta t})}. \tag{5}$$

При самостоятельном развитии агента, т.е. при $n = 1$ ($\alpha = 0$), решение имеет экспоненциальный вид

$$x(t)/x_0 = e^{\beta t}. \tag{6}$$

Если агент развивается только как реципиент (аналог островного туристического государства), т.е. только за счет партнеров, тогда $\beta = 0$ и решение (5) имеет гиперболический вид

$$x(t)/x_0 = (1 - x_0 \alpha (n-1)t)^{-1}. \quad (7)$$

Ясно, что (6)–(7) являются частными случаями решения (5).

МОДЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ВРЕМЕННЫХ ЗАДЕРЖЕК ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ АГЕНТОВ

Будем полагать, что взаимодействие и кооперация для некоторых агентов происходят с некоторой временной задержкой τ , т.е. для других — соответственно с опережением. Здесь будем проводить аналитические выкладки в приближении модели (4), в которой второй член в правой части уравнения зависит от отклоняющегося аргумента $t - \tau$, причем для построения аналитического решения полагаем, что время задержки является малым параметром. Такие приближения предполагают простые аналитические построения (Кильматов, 2003, 2013). Разлагая второй член в правой части (4) по малому параметру, получаем обобщение модели с учетом временных задержек при учете кооперативных эффектов

$$\dot{x} = \beta x + \alpha(n-1)(x^2 - 2x\dot{x}\tau). \quad (8)$$

Уравнение (8) и его решения построены и имеют смысл только при ограничении, что безразмерный параметр $\tau\beta < 1$. При значительной величине τ модель теряет устойчивость и однозначность решения (Бекларян, 2004, 2007).

В предположении, что в τ -окрестности точки t_0 функция постоянная и равна $x(0) = x_0$, частный интеграл уравнения (8) будет иметь вид

$$\frac{x}{x_0} \left(\frac{\alpha(n-1)x_0 + \beta}{\alpha(n-1)x + \beta} \right)^{1-2\tau\beta} - e^{\beta t} = 0. \quad (9)$$

Здесь решение (5) является частным случаем (9) при $\tau = 0$.

Проведем количественный анализ влияния разных факторов на основании представленных аналитических решений. Предполагаем, что характерные численные значения входящих экзогенных переменных соответствуют средним значениям роста мировой экономики.

ЧИСЛЕННЫЕ СЦЕНАРИИ ДИНАМИЧЕСКОГО РОСТА С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ

Оценим влияние различных факторов на динамику роста агента в рамках приведенной аналитической модели. Зададим правдоподобные экзогенные переменные для временного масштаба 1 год. Предполагаем, что среднемировая экономика развивается за счет собственных ресурсов с темпом 3% в год, т.е. $\beta = 0,03 \text{ год}^{-1}$. Для более простых модельных сценариев роста будем считать, что в начальный момент времени $t_0 = 0$, $x_0 = 1$. Ниже в расчетах динамика $x(t)$ приводится в долях относительно начального состояния $x(t)/x_0$. За базовый сценарий примем значение безразмерной величины $x_0 \alpha (n-1) \beta^{-1} = 1$, т.е. на начальном этапе внутренний фактор роста и внешнее воздействие равновелики. В частности, если порядок взаимодействующих агентов равен 10 ($n = 11$), то $x_0 \alpha = 0,003 \text{ год}^{-1}$.

Здесь следует отметить временную прогностическую ограниченность приложения представленных аналитических решений. Ограничение соответствует случаю, когда знаменатель принимает нулевое значение. В частности, для (5) это момент времени $t_* \beta = \ln(1 + \beta / [x_0 \alpha (n-1)]) \sim 0,7$. Для представленного численного примера глубина прогноза не более 20 лет.

Влияние различных факторов будем рассматривать относительно базового сценария — формула (5) за временной прогноз в 12 лет. Обозначим этот сценарий через С0. Остальные сценарии рассматриваются, когда один параметр отклоняется от базового.

Сценарий С1 — агент действует один и не пользуется достижениями партнеров, $n = 1$, рост агента происходит только за счет собственных ресурсов. Этот случай соответствует соотношению (6), где эффект временных задержек не учитывается.

Сценарий С2 — агент является реципиентом, растет только за счет внешних партнеров, $\beta = 0$. Расчет производится по формуле (7), эффект временных задержек не учитывается.

Таблица. Сценарии динамики роста экономического агента при значениях параметров

t , год	C0	C1	C2	C3
0	1,00	1,00	1,00	1,00
3	1,21	1,09	1,10	1,25
6	1,49	1,20	1,22	1,65
9	1,90	1,31	1,37	2,25
12	2,53	1,43	1,56	4,00

Сценарий C3 — учитывается эффект временных задержек, агент опережает остальных при взаимодействии на 2 года, $\tau = -2$; формула (8). Таким образом, базовый сценарий C0 отстает от сценария C3, поскольку в данном случае агент вследствие опережающего использования потенциала партнеров имеет временное преимущество 2 года при внедрении технологий.

Расчеты показывают (см. таблицу), что динамический рост агента чувствителен к временным задержкам при использовании современных достижений. Легко оценить, что даже при опережении в 1 год ($\tau = -1$) для нашего примера получим $x(12)/x_0 \approx 3$, что также существенно опережает базовый сценарий. Таким образом, временной фактор задержек/опережения при взаимодействии агентов является важным фактором динамического развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная динамическая модель роста в виде системы дифференциальных уравнений с отклоняющимися переменными позволяет выделить влияние факторов совместного кооперативного развития и временной реакции на внешние изменения. Количественные сценарии показывают, что эффект временного опережения на внешние вызовы выводит экономического агента на предпочтительные позиции преимущества перед другими. Появляется эффект мультипликативного накопления выгоды, т.е. более ранний старт во времени увеличивает преимущество лидера. В исторической ретроспективе этот эффект можно интерпретировать в том числе как одну из причин бурного экономического роста послевоенной Японии, начавшей стартовать с опережением при внедрении передовых технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Андрианов Д.Л., Арбузов В.О., Ивлиев С.В., Максимов В.П., Симонов П.М. (2015). Динамические модели экономики: теория, приложения, программная реализация // *Вестник Пермского университета. Экономика*. Т. 27. № 4. С. 8–32. [Andrianov D.L., Arbuzov V.O., Ivliev S.V., Maksimov V.P., Simonov P.M. (2015). Dynamic economy models: theory, applications, software implementation. *Perm University Herald. Economy*, 27, 4, 8–32 (in Russian).]
- Бекларян Л.А. (2007). Введение в теорию функционально-дифференциальных уравнений. Групповой подход. М.: Факториал Пресс. 288 с. [Beklaryan L.A. (2007). *Introduction to the theory of functional differential equations. Group approach*. Moscow: Faktorial Press. 2007. 288 p. (in Russian).]
- Кильматов Т.Р. (2003). Моделирование временного запаздывания в динамических экономических системах // *Вестник ДВГАЭУ*. № 2. С. 81–87. [Kilmatov T.R. (2003). Modeling the delay process in dynamic economic systems. *Bulletin of the Far Eastern Federal University*, 2, 81–87 (in Russian).]
- Кильматов Т.Р. (2013). Временной лаг как фактор потери устойчивости экономической системы // *Экономика и математические методы*. Т. 49. № 3. С. 120–122. [Kilmatov T.R. (2013). Time lag as a factor of the economic system destabilization. *Economics and Mathematical Methods*, 49 (3), 120–122 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В. (2020). Агентное моделирование популяционной динамики двух взаимодействующих сообществ: мигрантов и коренных жителей // *Экономика и математические методы*. Т. 56. № 2. С. 5–19. [Makarov V.L., Bahtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Rovenskaya E.A., Strelkovskiy N.V. (2020). Agent-based modelling of population dynamics of two interacting social communities: migrants and natives. *Economics and Mathematical Methods*, 56 (2), 5–19 (in Russian).]
- Смит Д.М. (1976). Модели в экологии. Пер. с англ. М.: Мир. 184 с. [Smith J.M. (1976). *Models in ecology*. Transl. from English. Moscow: Mir (in Russian). Originally publ. in 1974 by University of Sussex. Cambridge: University Press.]

- Эльсгольц Л.Э., Норкин С.Б. (1971). Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом. М.: Наука. 296 с. [Elsgolc L.E., Norkin S.B. (1971). *Introduction to the theory of differential-difference equations*. Moscow: Nauka. 296 p. (in Russian).]
- Bellman R. (1949). On the existence and boundedness of solutions differential-difference equations. *Annals of Mathematics*, 50, 2, 347–355. DOI: 10.2307/1969460
- Romer P. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98, 5, 71–102.
- Solow R.M. (1956). Contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70, 1, 65–94.

Dynamic model of economic agents including interaction and delay effects

© 2023 T.R. Kilmатов

T.R. Kilmатов,

Far Eastern Federal University, Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok, Russia; e-mail: talgat_k@mail.ru

Received 11.04.2023

Abstract. The dynamic model of economic growth of several agents is presented. This is a system of non-linear differential-difference equations. The model takes into account the interaction of economic agents and the delay effect. Some simple analytic particular solutions are shown. These analytical solutions allow some clear economic interpretation. The comparative scenario quantitative calculations are given. The calculations are presented for time period of a decade and the typical global development rate of 3% per year. There are two main scenarios. The first scenario of cooperative or isolated agent development is considered. There is the scenario of the agent development due to the support of other partners. The consequence of isolation is the backlog of 60% per decade. The second scenario is the time delay effect using the achievements of other agents. An advance time lag of one-two years is considered. In this case, ceteris paribus, the dynamic growth of the agent is 1.5 times ahead of the others. More effective growth occurs with the faster and advance reaction rate to partners' achievements. In this case there is the effect of the multiplicative accumulation of advantage. This scenario can be interpreted as the illustration of the accelerated economic growth of post-war Japan.

Keywords: economic dynamic model, economic interaction and cooperation, delay, differential-difference equations.

JEL Classification: CO2, C39.

For reference: **Kilmатов T.R.** (2023). Dynamic model of economic agents including interaction and delay effects. *Economics and Mathematical Methods*, 59, 3, 132–136. DOI: 10.31857/S042473880026952-6 (in Russian).

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Пространственно-эконометрический подход к моделированию результатов выборов в России: муниципальный уровень

© 2023 г. Л.Е. Кулецкая, О.А. Демидова, Е.В. Семерикова

Л.Е. Кулецкая,

НИУ «Высшая школа экономики», Москва; e-mail: lada.kuletskaya@gmail.com

О.А. Демидова,

НИУ «Высшая школа экономики», Москва; e-mail: demidova@hse.ru

Е.В. Семерикова,

НИУ «Высшая школа экономики», Москва; e-mail: esemerikova@hse.ru

Поступила в редакцию 16.02.2023

Аннотация. В данной статье мы оцениваем роль взаимного влияния избирателей, живущих на соседних территориях, и социально-экономических факторов на примере результатов голосования за основного кандидата на президентских выборах 2018 г. в России, где единицей наблюдения является муниципалитет. Мы утверждаем, что пространственные факторы (соседство муниципалитетов, регионов и принадлежность муниципалитетов к одному и тому же региону) существенно влияют на результаты голосования за основного кандидата в каждом муниципалитете. Для подтверждения данной гипотезы мы оценили несколько разных спецификаций модели Дарбина, которые включают дамми-переменные на регион и другие пространственные факторы, и сравнили выводы со спецификациями модели без учета пространственных факторов. Полученные нами результаты подтвердили выдвинутую основную гипотезу: результаты голосования зависят от региона, в который входит муниципалитет, и, кроме того, имеет место положительная пространственная автокорреляция (результаты голосования в соседних муниципалитетах зависят друг от друга). Отсутствие учета пространственных факторов снижает качество подгонки регрессии, наблюдаются изменения в оценках коэффициентов, искажается качественная картина полученных результатов. Мы также показали, что на результаты голосования влияет и экономическое положение региона: чем экономически сильнее муниципалитет, тем выше доля голосов за основного кандидата. Однако довольно интересным оказался результат относительно переменной удаленности муниципалитета от регионального центра: чем дальше от центра находится муниципалитет, тем выше доля голосов за основного кандидата. Мы объясняем это более сильным присутствием оппозиции в столицах регионов.

Ключевые слова: пространственная автокорреляция, электоральные предпочтения, роль социально-экономических условий, пространственная модель Дарбина, президентские выборы в России 2018 г., анализ муниципальных данных, пространственное влияние территорий друг на друга.

Классификация JEL: C21, C31, R5.

Для цитирования: **Кулецкая Л.Е., Демидова О.А., Семерикова Е.В.** (2023). Пространственно-эконометрический подход к моделированию результатов выборов в России: муниципальный уровень // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 3. С. 137–148. DOI: 10.31857/S042473880024435-7

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в академической литературе, посвященной анализу голосования и в целом выбору индивидов среди двух или более вариантов, представлено огромное число работ, рассматривающих эту тему с разных точек зрения. При этом часто акцент делается именно на пространственных подходах к данному анализу (Cutts et al., 2013; Kim, Elliott, Wang, 2003; Wuhs, McLaughlin, 2019). Именно поэтому в данной работе мы также исследуем возможности и результаты пространственного анализа на примере президентских выборов в России 2018 г.

Отдельно в данном исследовании мы остановимся на работах, посвященных анализу российских выборов. Среди обзорных работ выделяется цикл статей (Ахременко, 2007, 2009), где автор подробно рассматривает развитие пространственных моделей электорального выбора, становление

первых теоретических подходов в данной области и их отражение в прикладных исследованиях. Среди эмпирических работ выделяются несколько направлений исследований: использование эконометрических методов и методов пространственного анализа для выявления пространственной автокорреляции и факторов, влияющих на результаты голосования (Sharafutdinova, Turovsky, 2017; Turovsky, Gaivoronsky, 2017; Turovsky, Korneeva, 2018), а также изучение динамики и особенностей поведения электората для разных выборов (Алескеров, Голубенко, 2003; Алескеров и др., 2005; Moraski, Reisinger, 2010; Turovsky, Sukhova, 2018). Авторы (Moraski, Reisinger, 2010) исследовали пространственные особенности политического развития России и степень лояльности избирателей нынешней политической партии, находящейся у власти, в разных регионах. Авторы показали, что республики и южные регионы практически на всех выборах поддерживали Кремль больше, чем другие регионы, в то время как северо-запад России меньше голосовал за нынешнюю политическую партию, находящуюся у власти.

Мы также ранее подробно изучали академическую литературу и статьи (Podkolzina, Kuletskaya, Demidova, 2022; Кулецкая, 2021; Подколзина, Демидова, Кулецкая, 2020), краткими выдержками из которых хотим здесь поделиться.

Как мы писали ранее (Podkolzina, Kuletskaya, Demidova, 2022; Кулецкая, 2021), первые статьи на тему пространственного моделирования в голосовании появились давно, и это были именно теоретические работы, которые в литературе были названы пространственными теориями голосования (*spatial theory of voting*). Как правило, в теоретических работах пространственное моделирование электорального выбора представлено в первую очередь соотношением позиций кандидатов и избирателей на выборах в n -мерном политическом пространстве (*political space*): кандидат, чья позиция оказывается наиболее близкой избирателю, получает его голос (Downs, 1957; Ахременко, 2007).

В самых первых работах на эту тему (Downs, 1957) автор представил так называемую «модель близости» (*proximity model of voting*), в которой избиратели являются рациональными агентами и принимают решения голосовать за того или иного кандидата путем сравнения своих политических воззрений с предпочтениями по различным вопросам и позициями кандидатов или партий по тем же вопросам, максимизируя собственную полезность от победы той или иной партии.

Однако ключевые принципы данной модели были впервые поставлены под сомнение в работах (Macdonald, Listhaug, Rabinowitz, 1991; Rabinowitz, Macdonald, 1989), в которых авторы выдвинули альтернативу пространственной «модели близости» — «векторную модель» (*directional model*). Согласно «векторной модели» избиратели, принимая решение, оценивают не только расстояние между своими «идеальными точками» и позициями кандидатов и партий. Избиратели предпочитают голосовать за те партии и кандидатов, которые занимают твердую позицию по политическим вопросам и заявляют, что продвигают политику в том же направлении, которое предпочитает избиратель (Macdonald, Listhaug, Rabinowitz, 1991; Rabinowitz, Macdonald, 1989).

Однако в эмпирических работах авторы обычно сталкиваются с рядом проблем при оценке выбора избирателей и определении ключевых факторов, влияющих на этот выбор. Во-первых, в реальной жизни избиратель сталкивается с ошибками в политических программах кандидатов, или с какими-то положениями в политической программе, с которыми он не был знаком, или с непредвиденными нежелательными будущими событиями, которые могут произойти с конкретным кандидатом у власти. Таким образом, даже если избиратель рационален и информирован обо всех политических позициях кандидатов, надежного способа предсказать окончательный выбор избирателя нет. Во-вторых, если избиратель обладает пространственной мобильностью между регионами, он может изменить свои предпочтения из-за фактора «социального соответствия» (*social conformity*) (Coleman, 2018).

С. Коулман (Coleman, 2004, 2007, 2018) подчеркивает, что обычно на предпочтения избирателей влияют предпочтения их аффилированной группы: семьи, родственников, друзей, коллег. Однако, как отмечается в данных работах, до сих пор не установлено, связан ли этот эффект с интуитивным желанием быть похожим на других или разделять общие, рациональные личные интересы с другими. В (Coleman, 2018) автор нашел доказательства того, что эффект социального соответствия остро чувствовался у значительной части избирателей во время выборов в Государственную думу России в период 1993–2006 гг.

В поведенческой экономике, политологии и социологии также проводится много исследований относительно того, как именно социальная среда влияет на поведение избирателей. Ведь пространственная теория голосования моделирует выбор избирателей, используя функции полезности

избирателей, позиции избирателей по политическим вопросам и их соотношение с позициями кандидатов, однако не затрагивает тему того, как именно *избиратели влияют друг на друга и как внешняя среда влияет на них*. Используя модель близости (Downs, 1957), многие исследователи в области политической науки и психологии предположили, что, определяя свои политические позиции, избиратели зависят друг от друга, от своего социального окружения, от города и района, в котором живут (Huckfeldt, Sprague, 1991; Pattie, Johnston, 2000). Такое влияние называется в литературе контекстуальными эффектами (contextual effects).

Например, авторы (Huckfeldt, Sprague, 1991) обнаружили, что молодые избиратели, испытывающие давление со стороны сверстников, склонны голосовать так же, как их друзья и коллеги, даже если у них разные предпочтения в отношении кандидатов. В (Nieuwbeerta, Flap, 2000) авторы проанализировали, как социальные сети влияли на поведение избирателей на примере выборов в Нидерландах в 1998 г. Было обнаружено, что состав личных социальных сетей влияет на политический выбор; такие характеристики, как религия, образование и социальный статус, серьезно повлияли на поведение респондента при голосовании.

Некоторые исследователи изучают контекстуальные эффекты, анализируя не социальные характеристики избирателей, а экономическую и социальную среду во время выборов. Авторы (Cutts et al., 2014) изучили результаты эффектов перелива (spillover effects) на британских выборах 2010 г. В частности, авторы рассмотрели эффекты перелива финансирования политических кампаний в одном населенном пункте на результаты голосования в соседних населенных пунктах. Иными словами, предполагалось, что чем больше денег политическая партия потратит на агитацию в определенном населенном пункте, тем больше голосов она получит от жителей не только этого населенного пункта, но и от соседних. Авторы (Jensen, Lacombe, McIntyre, 2013) предположили, что некоторые факторы социального статуса влияют на лучшую осведомленность о проходящих выборах и политических кампаниях: 1) наличие руководящей должности подразумевает чтение определенных видов средств массовой информации, возможно, деловых журналов или других консервативных изданий; 2) студенты могут пользоваться различными типами медиа-услуг, полагаясь на альтернативные средства массовой информации, которые отражают их особое политическое мировоззрение. В своей работе (Jensen, Lacombe, McIntyre, 2013) авторы пришли к выводу, что такие факторы, как занимаемый пост, руководящая должность на работе и семейное положение, положительно повлияли на голоса за Консервативную партию, а такие характеристики, как обучение в университете на момент выборов, статус одинокого родителя и низкий доход, существенно и негативно повлияли на поддержку Консервативной партии.

Аналогично работе (Cutts et al., 2014) существует ряд статей, в которых рассматриваются не только пространственные характеристики регионов, но и взаимосвязь между экономическими показателями соседних территорий (Blank, 1974; Dominicus, Dijkstra, Pontarollo, 2022; Elinder, 2010; Kim et al., 2003). В своей работе (Kim et al., 2003) авторы проверили гипотезу о том, что голоса за партию, находящуюся в настоящее время у власти, положительно связаны с ростом доходов избирателей и отрицательно — с повышением уровня безработицы. Для проверки гипотезы авторы использовали модель пространственных ошибок (spatial error model, SEM). Преимущества модели пространственных ошибок были также подчеркнуты в статье (Lacombe, Shaughnessy, 2007), которые подтвердили превосходство моделей SEM по сравнению с линейными регрессионными моделями, оцениваемыми с помощью метода наименьших квадратов (МНК) для формулировки выводов, связанных со значимостью регрессоров.

Такие факторы, как экономический рост и безработица на соседних территориях, также рассматривались в статье (Elinder, 2010), где автор проанализировал всеобщие выборы в Швеции на региональном и муниципальном уровнях. На муниципальном уровне безработица не повлияла на голоса избирателей так сильно, как на региональном уровне, в то время как экономический рост несущественно повлиял на государственную поддержку на обоих уровнях. Но на данных, например, выборов в Италии (Bloise, Chironi, Pianta, 2021) авторы подтвердили, что ключевую роль в выборе избирателей сыграли именно экономическое неравенство населения и экономические условия (уровень безработицы, инфляции и т.д.).

В своей работе (Blank, 1974) автор попытался определить, какие экономические и политические факторы влияют на явку избирателей в США и какой тип факторов влияет на явку в большей степени. Обычно многие авторы указывают, что на явку могут существенно влиять несколько типов факторов: индивидуальные (особенно важны образование, доход и профессия) особенности избирателей, региональные особенности территорий проживания, характеристики избирательных

систем и особенности, связанные с политическим климатом на отдельных выборах (Reitan, 2003). Автор (Blank, 1974) в том числе показал, как снижается влияние социально-экономических факторов в некоторых регионах южных штатов, в то время как политические факторы (уровень партийной конкуренции, уровень политической бюрократии, число выборных должностных лиц на 10 000 человек, уровень полномочий губернатора и т.д.) в значительной степени определяют явку избирателей практически во всех регионах и во всех штатах.

Интересный анализ голосования против Европейского союза (далее — ЕС) провели (Dominicis et al., 2022). Авторы пытались понять, какие факторы в наибольшей мере влияют на уровень поддержки партий, выступающих против ЕС. Первичный анализ данных показал следующее наблюдение: поддержка таких партий чаще оказывалась в сельской местности, чем в крупных городах. Авторы продемонстрировали, что есть общие факторы (актуальные как для городской, так и для сельской местности), связанные с более высоким числом голосов против ЕС: рост безработицы, низкая явка избирателей и более высокая доля избирателей, родившихся за пределами ЕС. При этом более высокая доля выпускников университетов, людей в возрасте 20–64 лет и родившихся в другой стране ЕС, снижает голоса против ЕС в сельской местности и пригородах, но никак не влияет на голосование в городах (Dominicis et al., 2022).

В этой статье мы продолжаем наши исследования (Подколзина и др., 2020; Podkolzina, Kuletskaya, Demidova, 2022), развивая идею о пространственной взаимозависимости избирателей на соседних территориях в России (Moraski, Reisinger, 2010; Reisinger, Moraski, 2009; Turovsky, Gaivoronsky, 2017) как через «социальное соответствие» (Coleman, 2018), так и через влияние экономических факторов (Cutts et al., 2014; Kim et al., 2003). Однако в перечисленных выше наших двух работах (Подколзина и др., 2020; Podkolzina, Kuletskaya, Demidova, 2022) пространственно-эконометрический инструментарий применялся для анализа результатов голосования в ограниченном числе муниципалитетов, а именно муниципалитетов Татарстана и соседних с ним регионов. В данной работе мы исследовали уже *все регионы и муниципалитеты России*, делая особый фокус на влиянии пространственной зависимости между соседями.

Таким образом, мы сформулировали основную гипотезу для всех российских муниципалитетов: *пространственные факторы существенно влияют на результаты голосования за основного кандидата в каждом муниципалитете.*

Под пространственными факторами мы подразумеваем 1) учет пространственного влияния соседних муниципалитетов и регионов, 2) принадлежность муниципалитетов к одному и тому же региону.

Указанную выше гипотезу мы разбили на две основные части.

Гипотеза 1. Результаты голосования за основного кандидата различаются по регионам.

Гипотеза 2. Результаты голосования за основного кандидата в каждом муниципалитете положительно зависят от результатов голосования в соседних муниципалитетах, т.е. существует положительная пространственная автокорреляция (что соответствует кластеризации регионов по соответствующему показателю).

Кроме того, учитывая результаты перечисленных выше работ, мы выдвинули еще одну гипотезу.

Гипотеза 3. На результаты голосования влияет экономическое положение региона.

2. МЕТОДЫ

2.1. Основная модель

Для проверки выдвинутых гипотез, согласно рекомендации Д. ЛеСажа (LeSage, Pace, 2009), в качестве первоначальной (benchmark) мы использовали пространственную модель Дарбина, дополненную набором дамми-переменных для регионов (каждый муниципалитет входит в один из регионов):

$$Y_i = \alpha_0 + \sum_{r=2}^R \alpha_r D_{ir} + \rho \sum_{j=1}^n w_{ij} Y_j + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ji} + \sum_{m=1}^k \theta_m \sum_{j=1}^n w_{ij} X_{mj} + \varepsilon_i, \quad (1)$$

где $i = 1, \dots, n$ ($n = 2314$) — номер муниципалитета; $r = 1, \dots, R$ ($R = 80$) — номер региона; Y_i — значение зависимой переменной для муниципалитета i (в данной статье это доля голосов, отданных за основного кандидата); X_{1i}, \dots, X_{ki} — значения объясняющих переменных для муниципалитета i (соответствующие переменные будут описаны ниже); w_{ij} — элементы взвешивающей матрицы W ,

отражающей взаимное влияние муниципалитетов, с помощью которой созданы пространственные лаги зависимой и объясняющих переменных (детали приведены ниже); D_{ir} — дамми-переменные, равные 1, если муниципалитет i входит в регион r (дамми-переменная для первого региона не включена в уравнение регрессии, чтобы не возникло теоретической мультиколлинеарности); ε_i — ошибки регрессии; $\alpha_0, \dots, \alpha_R, \rho, \beta_1, \dots, \beta_k, \theta_1, \dots, \theta_k$ — оцениваемые параметры.

В следующем разделе содержится информация о данных, с помощью которых была оценена модель (1) и ее модификации.

Технически проверка *первой гипотезы* соответствует тестированию статистической гипотезы:

$H_0 : \alpha_2 = \dots = \alpha_R = 0$ (одинаковая зависимость для всех регионов);

$H_1 : \alpha_2^2 + \dots + \alpha_R^2 > 0$ (неодинаковая зависимость для всех регионов).

Проверка *второй гипотезы* соответствует тестированию статистической гипотезы:

$H_0 : \rho = 0$ (отсутствует пространственная автокорреляция);

$H_1 : \rho > 0$ (положительная пространственная автокорреляция).

Проверка *третьей гипотезы* соответствует проверке статистической гипотезы:

$H_0 : \beta_1 = \dots = \beta_k = \theta_1 = \dots = \theta_k = 0$ (отсутствует влияние экономических факторов);

$H_1 : \beta_1^2 + \dots + \beta_k^2 + \theta_1^2 + \dots + \theta_k^2 > 0$ (имеется влияние экономических факторов).

2.2. Данные

Для этого исследования мы собрали несколько типов разных данных, краткое описание которых представлено ниже. Полное описание всех переменных, использованных в окончательной модели, представлено в разд. 3.

1. Для зависимой переменной были собраны данные о голосовании на муниципальном уровне. Первоначальные данные о голосовании были взяты с сайта Центральной избирательной комиссии¹ о результатах выборов Президента России в 2018 г. на уровне территориальных избирательных комиссий (далее — ТИК). Эти данные содержат информацию о проценте избирателей, проголосовавших за кандидатов, и явке на избирательных участках. Мы преобразовали данные с уровня ТИКов на муниципальный уровень на основе имеющихся данных о числе бюллетеней для каждого кандидата и общем числе избирателей.

2. Для объясняющих переменных были использованы социально-экономические факторы муниципальных образований, собранные из открытой базы «База данных показателей муниципальных образований России за 2006–2020 гг.»² за 2017 и 2018 г. Данная база состоит из данных «Показатели муниципальных образований» Федеральной службы государственной статистики³. После сбора подходящих для нашего исследования переменных (эти переменные указаны в табл. 1) мы преобразовали их для корректного использования в нашей модели. Список итоговых переменных представлен в табл. 2⁴.

3. Для построения взвешивающей матрицы соседства W ($w_{ij} = 0$, если регион j не граничит с регионом i и $w_{ij} = 1/n_i$, если регион j граничит с регионом i ; где n_i — число регионов, имеющих общую границу с регионом i), мы использовали данные о границах муниципалитетов с веб-сайта QGIS 3.12⁵. Сама матрица была построена вручную на основе визуальной карты российских муниципальных образований, представленной на сайте.

¹ <http://www.cikrf.ru>, <http://www.vybory.izbirkom.ru>

² data-in.ru — база данных показателей муниципальных образований: объединенные и обработанные данные за 2006–2020 гг. Росстат. Обработка: Веденков М.В., Комин М.О., Цыганков М.В. (2022). Инфраструктура научно-исследовательских данных. АНО «ЦПУР». Доступ: Лицензия CC BY-SA. Размещено: 28.09.2020 (v.2.0, от 27.01.2022). (Ссылка на набор данных: <http://data-in.ru/data-catalog/datasets/115/>.)

³ Росстат: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/bd_munst/munst.htm

⁴ Преобразованные переменные. Под преобразованием мы имеем в виду корректировку всех переменных на размер муниципалитета или численность населения муниципалитета.

⁵ Каталог данных «Административно-территориальные границы Российской Федерации» (https://mydata.biz/ru/catalog/databases/borders_ru).

Таблица 1. Социально-экономические переменные

Переменная	Число значений	Расшифровка
<i>t8006003</i>	2266	Общая протяженность освещенных частей улиц, проездов, набережных на конец года
<i>t8006007</i>	2259	Общая протяженность улиц, проездов, набережных на конец года
<i>t8008019</i>	2293	Общая площадь жилых помещений
<i>t8010001</i>	2177	Введено в действие жилых домов на территории муниципального образования
<i>t8012003</i>	1888	Численность граждан, пользующихся социальной поддержкой (льготами) по оплате жилого помещения и коммунальных услуг на конец отчетного года
<i>t8013003</i>	2151	Профицит (+), дефицит (–) бюджета муниципального образования (местного бюджета), фактически исполнено
<i>t8106005</i>	2089	Доля протяженности автомобильных дорог общего пользования местного значения, не отвечающих нормативным требованиям, в общей протяженности автомобильных дорог общего пользования местного значения
<i>t8112009</i>	2274	Общий коэффициент естественного прироста (убыли)
<i>t8112013</i>	2253	Среднегодовая численность постоянного населения
<i>t8155002</i>	1720	Доля населения, проживающего в населенных пунктах, не имеющих регулярного автобусного и (или) железнодорожного сообщения с административным центром городского округа (муниципального района), в общей численности населения городского округа (муниципального района)
<i>t8155056</i>	2200	Доля населения, получившего жилые помещения и улучшившего жилищные условия в отчетном году, в общей численности населения, состоящего на учете в качестве нуждающегося
<i>t8211001</i>	2034	Общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя — всего
<i>t8213002</i>	2247	Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников крупных и средних предприятий и некоммерческих организаций городского округа (муниципального района)

Примечание. Названия переменных и их расшифровка взяты из Росстата⁶.

Таблица 2. Итоговые переменные

Переменная	Формула для расчета	Расшифровка
<i>light_street</i>	$t8006003 / t8006007$	Доля освещенных частей улиц (от общей протяженности улиц)
<i>houses</i>	$t8008019 / t8112013$	Доля жилых помещений на 1 человека
<i>new_houses</i>	$t8010001 / t8211001$	Доля новых домов в общей площади жилых помещений на 1 человека
<i>soc_support</i>	$t8012003 / t8112013$	Доля граждан, пользующихся социальной поддержкой (льготами) по оплате жилого помещения и коммунальных услуг
<i>deficit_budget</i>	$t8013003$	Профицит (+), дефицит (–) бюджета муниципального образования (местного бюджета), фактически исполнено
<i>ucomf_roads</i>	$t8106005$	Доля протяженности автомобильных дорог общего пользования местного значения, не отвечающих нормативным требованиям
<i>population</i>	$t8112009$	Общий коэффициент естественного прироста (убыли)
<i>faraway</i>	$t8155002$	Доля населения, проживающего в населенных пунктах, не имеющих регулярного автобусного и (или) железнодорожного сообщения с административным центром городского округа (муниципального района)
<i>get_house</i>	$t8155056 (2018 \text{ г.}) - t8155056 (2017 \text{ г.})$	Доля граждан, получивших жилье в 2018 г. — доля граждан, получивших жилье в 2017 г.
<i>salary</i>	$t8213002 / \text{стоимость фиксированного набора потребительских товаров и услуг}^7$ (для каждого региона свое значение)	Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников крупных и средних предприятий и некоммерческих организаций / стоимость фиксированного набора потребительских товаров и услуг (для каждого региона свое значение)

⁶ Краткий методологический комментарий по показателям БД ПМО (https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/rXy6Utk9/met_bdpmo.htm).

⁷ База данных ЕМИСС (<https://www.fedstat.ru/indicator/31052>).

3. ПОЛНОЕ ОПИСАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ

Для нашей модели мы постарались собрать переменные, которые непосредственно могут повлиять на выбор избирателей (видимые и осязаемые показатели для населения). По нашему мнению, это должны быть те переменные, которые отражают, во-первых, само состояние муниципалитета: ремонт дорог, развитие строительства новых домов, качество инфраструктуры, размер населения и прирост нового населения. Во-вторых, переменные должны отражать разные аспекты социальной поддержки: распространенность льгот, пособий, а также уровень заработной платы. Мы считаем, что чем лучше экономическое положение региона и чем больше в нем распространены социальные льготы, тем выше уровень поддержки кандидата, находящегося у власти в период до выборов (т.е. на уровень поддержки основного кандидата). На выбор кандидата влияет и удаленность муниципалитета от центра региона (близость к центру региона позволяет избирателям увидеть результат от программы политической поддержки (например, в виде рекламы кандидата на баннерах, билбордов) того или иного кандидата, ведь чаще всего программы агитации запускают в больших городах).

Именно потому что основной кандидат также является действующим кандидатом, избиратели, оценивающие свою готовность проголосовать, основываются на том, что кандидат делал ранее, насколько ответственно он следил за экономической ситуацией в стране и в регионе избирателя, поэтому для объясняющих переменных мы собрали данные за 2017 г, предшествующий президентским выборам 2018 г.

4. ЗАПОЛНЕНИЕ ПРОПУСКОВ ДЛЯ ПЕРЕМЕННЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И КОРРЕКТИРОВКА МАТРИЦЫ СОСЕДСТВА МУНИЦИПАЛИТЕТОВ ДЛЯ КАЖДОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

Социально-экономические факторы муниципальных образований, взятые из базы Росстата, по умолчанию содержат в себе достаточное количество пропусков (отсутствие данных, как заметно из табл. 1), причем эти пропуски различны для разных переменных и разных муниципалитетов. В связи с этим для заполнения пропусков и построения качественной модели мы сделали следующее.

1. Так как основной год для наших переменных был год до выборов (2017 г.), то для заполнения пропусков мы использовали данные за 2018 г. То есть для тех муниципалитетов, где мы видели пропуски, мы заполняли их значениями для 2018 г. (если для 2018 г. также не было пропусков в этом муниципалитете).

2. Для оставшихся после выполнения пункта 1 пропусков мы выполнили ряд шагов:

– для каждой переменной мы подобрали потенциальные объясняющие переменные (основываясь на корреляционной матрице и на смысловом значении самих переменных);

– для каждой переменной мы спрогнозировали в ней пропуски при помощи метода «случайного леса» (random forest). Метод наименьших квадратов (МНК) в данном случае оказывается менее предпочтительным, так как метод «случайного леса» дает более корректные прогнозы: если пропуск заполнен, алгоритм сразу начинает его использовать. Если все значения для переменной положительные, то алгоритм «случайного леса» ищет оптимум во множестве положительных чисел, в то время как МНК может показать и отрицательные варианты. Подробнее про метод «случайного леса» и его использование для построения прогнозов можно прочитать в (Stekhoven, Bühlmann, 2012).

Таким образом, мы смогли заполнить пропуски для всех переменных социально-экономических факторов.

Кроме того, для каждой переменной с пропусками мы составили свою матрицу соседства муниципальных образований, для того чтобы нивелировать эффект от присутствия пропусков в данных и корректно рассчитать инструментальные переменные для нашей будущей модели. Для этого для каждой переменной мы обнуляли значения в матрице соседства для тех муниципалитетов, для которых у нас наблюдались пропуски в данных. Таким образом, нами были построены свои матрицы соседства для каждой из переменных, которые мы потом использовали для построения пространственных лагов объясняющих переменных.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как отмечалось выше, в качестве первоначальной была использована пространственная модель Дарбина. Поскольку в правую часть этой модели входит пространственный лаг зависимой переменной $WY = \left(\sum_{j=1}^n w_{1j} Y_j, \dots, \sum_{j=1}^n w_{nj} Y_j \right)'$, а это эндогенная переменная, то на первом шаге был использован метод инструментальных переменных. В качестве инструментов согласно рекомендации (Kelejian, Prucha, 1998) были использованы переменные $X_1, \dots, X_k, WX_1, \dots, WX_k, W^2X_1, \dots, W^2X_k$.

Во всех далее использованных моделях на первом шаге переменная WY была инструментирована с помощью МНК-уравнения

$$WY = \gamma_0 + \gamma_{X1} X_1 + \dots + \gamma_{Xk} X_k + \gamma_{WX1} WX_1 + \dots + \gamma_{WXk} WX_k + \gamma_{W^2X1} W^2X_1 + \dots + \gamma_{W^2Xk} W^2X_k + \varepsilon. \quad (2)$$

Таким образом, на втором шаге переменная WY была заменена на \widehat{WY} , полученную с помощью оценки уравнения (2).

Однако если включать в исходную модель все факторы, то возникает проблема мультиколлинеарности (вычисленное значение CI (conditional index), индекс обусловленности для факторов, входящих в матрицы X и WX , оказался равным 29,28, что достаточно много). Поэтому после оценки первоначальной модели последовательно проверялись гипотезы о равенстве нулю коэффициентов при группе переменных, если соответствующая гипотеза не отвергалась, то эти переменные не включались в модель и модель оценивалась с новым набором факторов. В частности, итоговая модель имеет форму SAR (spatial autoregressive model, пространственная авторегрессионная модель), в нее входит пространственный лаг зависимой переменной, но не пространственные лаги объясняющих переменных. Проведенные тесты показывали гетероскедастичность ошибок оцененных моделей, поэтому использовались стандартные ошибки в форме Уайта.

Результаты оценки итоговой модели (это модель 1) приведены в табл. 1. Полученные результаты подтвердили выдвинутую основную гипотезу. Гипотеза о равенстве нулю коэффициентов при региональных дамми отвергается, следовательно, результаты голосования зависят от региона, в который входит муниципалитет. Коэффициент ρ при пространственном лаге зависимой переменной является значимым и положительным, следовательно, имеет место положительная пространственная автокорреляция. Расположение муниципалитетов относительно результатов голосования за основного кандидата не является случайным, имеет место кластеризация муниципалитетов по рассматриваемому показателю. Это подтверждает и график Морана (см. рисунок), в котором по горизонтальной оси отложено значение центрированной и нормированной зависимой переменной, а по вертикальной оси — также центрированное и нормированное значение ее пространственного лага. На этом графике явно прослеживается положительная зависимость, близкая к линейной.

Для проверки важности включения в модель пространственных факторов мы оценили дополнительные регрессии (модели 2–4 в табл. 3). В модель 2 не включен пространственный лаг зависимой переменной, в модель 3 — региональные дамми, в модель 4 — ни один из пространственных

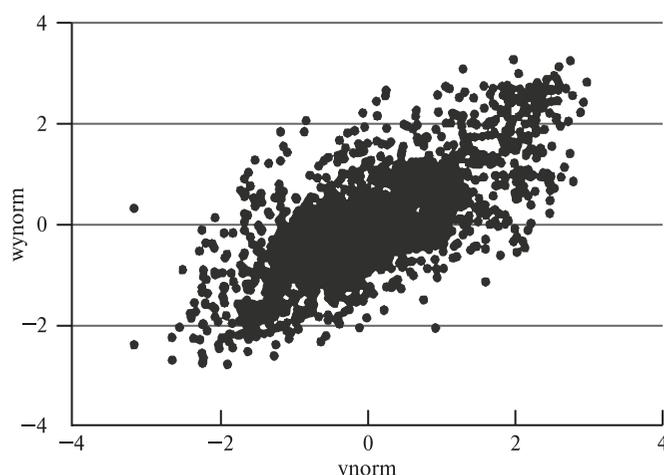


Рисунок. График Морана для зависимой переменной «Доля голосов, отданных за основного кандидата»

Таблица 3. Результаты оценки моделей

Переменные	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4
<i>wyhat</i>	0,1610*		0,8251***	
<i>light_street</i>	0,0141***	0,0167***	0,0055	0,0167***
<i>houses</i>	0,3754*	0,4314**	0,6113	0,9676**
<i>soc_support</i>	0,0201*	0,0229**	0,0173	0,0363**
<i>ucomf_roads</i>	-0,0002***	-0,0002***	-0,0001**	-0,0004***
<i>population</i>	0,0008**	0,0009***	0,0009**	0,0033***
<i>faraway</i>	0,0002**	0,0002***	0,0003**	0,0004***
<i>salary</i>	0,0082***	0,0077***	-0,0053*	-0,0140***
<i>cons</i>	0,6875***	0,8151***	0,1288**	0,7861***
<i>Regional dummies</i>	YES	YES	NO	NO
R^2	0,59	0,59	0,14	0,09
<i>AIC</i>	-7359,67	-7357,56	-5808,22	-5692,44
<i>BIC</i>	-6871,19	-6874,83	-5756,49	-5646,46

Примечание. Символами «*», «**», «***» отмечены оценки, значимые на уровне 10, 5 и 1% соответственно.

факторов. Во всех случаях снижается качество подгонки регрессии, наблюдаются изменения в оценках коэффициентов; в модели 3 искажается качественная картина полученных результатов (изменяются даже значимость коэффициентов и знаки оценок). Все это подчеркивает важность включения в модель пространственных факторов.

Дадим интерпретацию результатам оценки модели 1. Наша первая гипотеза получила эмпирическое подтверждение, поскольку коэффициенты при региональных данных оказались значимы в совокупности. Наибольший уровень поддержки⁸ при прочих равных факторах демонстрируют муниципалитеты Кабардино-Балкарской (0,0912), Карачаево-Черкесской Республик (0,04283), Тывы (0,07895), а наименьший — муниципалитеты Республики Саха (Якутия) (-0,1629), Приморского края (-0,0817), Хабаровского края (-0,153), Амурской области (-0,1587), Сахалинской области (-0,1389), Алтайского края (-0,1127), Омской области (-0,1314). Кроме того, по критерию АИС мы понимаем, что лучше показала себя первая модель: ВИС для нее тоже довольно высокий и некритично меньший, чем для других моделей, R^2 также больше для модели 1 и коэффициент при пространственном лаге (*wyhat*) также значим.

Третья гипотеза получила частичное эмпирическое подтверждение. Большая часть факторов, характеризующих уровень комфорта проживания в регионе, влияет значимо. А именно, чем выше доля освещенных улиц, доля жилых помещений на одного человека, прирост населения, заработная плата, доля граждан, пользующихся социальной поддержкой (льготами) по оплате жилого помещения и коммунальных услуг, тем выше уровень поддержки основного кандидата. Напротив, чем выше доля протяженности автомобильных дорог общего пользования местного значения, не отвечающих нормативным требованиям, тем ниже уровень поддержки основного кандидата. Интересно отметить, что чем выше удаленность от регионального центра, тем выше поддержка основного кандидата (а не наоборот, как мы предполагали изначально). Вероятно, это связано с тем, что как раз в региональных центрах выше уровень оппозиционных программ и движений, чем в небольших городах, деревнях и селах, поэтому в последних уровень поддержки основного кандидата выше.

Получила эмпирическое подтверждение и вторая гипотеза о неслучайном расположении муниципалитетов, положительная оценка коэффициента пространственной автокорреляции свидетельствует о кластеризации муниципалитетов по уровню поддержки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе на примере результатов голосования за основного кандидата на президентских выборах в России 2018 г. мы подтвердили важность учета влияния соседних территорий друг на друга, особенно при анализе социальных или экономических процессов. Используя данные о регионах России на муниципальном уровне, мы подтвердили наличие положительной

⁸ Оценки коэффициентов дамми-переменных при соответствующих регионах приведены в скобках.

пространственной автокорреляции, т.е. результаты голосования схожи в соседних муниципалитетах. Кроме того, результаты голосования зависят от региона, в который входит муниципалитет.

Для проверки важности включения в модель пространственных факторов мы оценили несколько спецификаций модели Дарбина (итоговая модель имеет форму SAR): основная модель включает дамми на регионы и пространственный лаг зависимой переменной, а другие спецификации не включают эти переменные. В случаях невключения пространственных факторов снижается качество подгонки регрессии, наблюдаются изменения в оценках коэффициентов, искажается качественная картина полученных результатов (изменяются даже значимость коэффициентов и знаки оценок). Все это подчеркивает важность включения в модель пространственных факторов.

Отдельно остановимся на социально-экономических факторах, повлиявших на результаты выборов. Чем выше доля освещенных улиц, доля жилых помещений на одного человека, прирост населения, заработная плата, доля граждан, пользующихся социальной поддержкой (льготами) по оплате жилого помещения и коммунальных услуг, тем выше уровень поддержки основного кандидата. Напротив, чем выше доля протяженности автомобильных дорог общего пользования местного значения, не отвечающих нормативным требованиям, тем ниже уровень поддержки основного кандидата. Иными словами, чем более экономически развит муниципалитет, тем больше поддержки его жители оказали основному кандидату на выборах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Алескеров Ф.Т., Бородин А.Д., Каспэ С.И., Маршаков В.А., Салмин А.М.** (2005). Анализ электоральных предпочтений в России в 1993–2003 гг.: динамика индекса поляризованности // *Экономический журнал Высшей школы экономики*. Т. 9. № 2. С. 173–184. [**Aleskerov F.T., Borodin A.D., Kaspe S.I., Marshakov V.A., Salmin A.M.** (2005). Analysis of electoral preferences in Russia in 1993–2003: Polarization index dynamics. *The HSE Economic Journal*, 9, 2, 173–184 (in Russian).]
- Алескеров Ф.Т., Голубенко М.А.** (2003). Об оценке симметричности политических взглядов и поляризованности общества. Препринт ГУ ВШЭ. WP7/2003/04. М.: ГУ ВШЭ [**Aleskerov F.T., Golubenko M.A.** (2003). On the evaluation of a symmetry of political views and polarization of society. *Working paper WP7/2003/04*. Moscow: State University — Higher School of Economics. 24 p. (in Russian).]
- Ахременко А.С.** (2007). Пространственное моделирование электорального выбора: развитие, современные проблемы и перспективы (II) // *Полис. Политические Исследования*. Т. 2. С. 165–179. [**Akhremenko A.S.** (2007). Spatial modeling of electoral choice: Development, modern problems and prospects (II). *Polis. Political Studies*, 2, 165–179 (in Russian).]
- Ахременко А.С.** (2009). Пространственный электоральный анализ: характеристика метода, возможности кросснациональных сравнительных исследований // *Политическая наука*. Т. 1. С. 32–59. [**Akhremenko A.S.** (2009). Spatial electoral analysis: Characteristics of the method, possibilities of cross-national comparative studies. *Political Science*, 1, 32–59 (in Russian).]
- Кулецкая Л.Е.** (2021). Пространственные модели электорального выбора: обзор теоретических и эмпирических подходов // *Пространственная экономика*. Т. 17. № 2. С. 127–164. [**Kuletskaya L.E.** (2021). Spatial modeling of voter choice: The survey of theoretical and empirical approach. *Spatial Economics*, 17, 2, 127–164 (in Russian).]
- Подколзина Е.А., Демидова О.А., Кулецкая Л.Е.** (2020). Пространственное моделирование электоральных предпочтений в Российской Федерации // *Пространственная экономика*. Т. 16. № 2. С. 70–100. [**Podkolzina E.A., Demidova O.A., Kuletskaya L.E.** (2020). Spatial modeling of voting preferences in Russian Federation. *Spatial Economics*, 16, 2, 70–100 (in Russian).]
- Blank R.H.** (1974). Socio-economic determinism of voting turnout: A challenge. *The Journal of Politics*, 36 (3), 731–752.
- Bloise F., Chironi D., Pianta M.** (2021). Inequality and voting in Italy's regions. *Territory, Politics, Governance*, 9 (3), 365–390.
- Coleman S.** (2004). The effect of social conformity on collective voting behavior. *Political Analysis*, 12 (1), 76–96. DOI: 10.1093/pan/mpg015
- Coleman S.** (2007). *Popular delusions: How social conformity molds society and politics*. Cambria Press. DOI: 10.5860/choice.45–6399
- Coleman S.** (2018). Voting and conformity: Russia, 1993–2016. *Mathematical Social Sciences*, 94, 87–95. DOI: 10.1016/j.mathsocsci.2017.10.005

- Cutts D., Webber D., Widdop P., Johnston R., Pattie C.** (2014). With a little help from my neighbours: A spatial analysis of the impact of local campaigns at the 2010 British general election. *Electoral Studies*, 34, 216–231. DOI: 10.1016/j.electstud.2013.12.001
- Dominicis L. de, Dijkstra L., Pontarollo N.** (2022). Why are cities less opposed to European integration than rural areas? Factors affecting the Eurosceptic vote by degree of urbanization. *Cities*, 130, 103937.
- Downs A.** (1957). An economic theory of political action in a democracy. *Journal of Political Economy*, 65 (2), 135–150. DOI: 10.1111/j.1467-6435.1986.tb01254.x
- Elinder M.** (2010). Local economies and general elections: The influence of municipal and regional economic conditions on voting in Sweden 1985–2002. *European Journal of Political Economy*, 26 (2), 279–292. DOI: 10.1016/j.ejpoleco.2010.01.003
- Huckfeldt R., Sprague J.** (1991). Discussant effects on vote choice: Intimacy, structure, and interdependence. *The Journal of Politics*, 53 (1), 122–158.
- Jensen C.D., Lacombe D.J., McIntyre S.G.** (2013). A Bayesian spatial econometric analysis of the 2010 UK general election. *Papers in Regional Science*, 92 (3), 651–666. DOI: 10.1111/j.1435-5957.2012.00415.x
- Kelejian H.H., Prucha I.R.** (1998). A generalized spatial two-stage least squares procedure for estimating a spatial autoregressive model with autoregressive disturbances. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 17 (1), 99–121. DOI: 10.1177/1536867x1301300201
- Kim J., Elliott E., Wang D.** (2003). A spatial analysis of county-level outcomes in US Presidential elections: 1988–2000. *Electoral Studies*, 22, 741–761. DOI: 10.1016/S0261-3794 (02)00008-2
- Lacombe D.J., Shaughnessy T.M.** (2007). Accounting for spatial error correlation in the 2004 presidential popular vote. *Public Finance Review*, 35 (4), 480–499. DOI: 10.1177/1091142106295768
- LeSage J.P., Pace R.K.** (2009). *Introduction to spatial econometrics*. Boca Raton, US: CRC Press Taylor, Francis Group. 340 p.
- Macdonald S.E., Listhaug O., Rabinowitz G.** (1991). Issues and party support in multiparty systems. *The American Political Science Review*, 1107–1131. DOI: 10.2307/1963938
- Moraski B., Reisinger W.M.** (2010). Spatial contagion in regional machine strength: Evidence from voting in Russia's federal elections. In: *APSA 2010 Annual Meeting Paper*. 48 p.
- Nieuwbeerta P., Flap H.** (2000). Crosscutting social circles and political choice effects of personal network composition on voting behavior. *The Netherlands. Social Networks*, 22, 313–335.
- Pattie C., Johnston R.** (2000). “People who talk together vote together”: An exploration of contextual effects in Great Britain. *Annals of the Association of American Geographers*, 90 (1), 41–66. DOI: 10.1111/0004-5608.00183
- Podkolzina E., Kuletskaya L., Demidova O.** (2022). Spatial modelling of voting preferences: The “Mystery” of the Republic of Tatarstan. *Applied Econometrics*, 67, 74–96.
- Rabinowitz G., Macdonald S.E.** (1989). A directional theory of issue voting. *The American Political Science Review*, 83 (1), 93–121. DOI: 10.2307/1956436
- Reisinger W.M., Moraski B.J.** (2009). Regional voting in Russia's federal elections and changing regional deference to the Kremlin. In: *Annual National Conference of the Midwest Political Science Association, 67th* (Chicago, Illinois). 42 p. DOI: 10.17077/g02k-n8zq
- Reitan T.C.** (2003). Too sick to vote? Public health and voter turnout in Russia during the 1990s. *Communist and Post-Communist Studies*, 36 (1), 49–68.
- Sharafutdinova G., Turovsky R.** (2017). The politics of federal transfers in Putin's Russia: Regional competition, lobbying, and federal priorities. *Post-Soviet Affairs*, 33 (2), 161–175.
- Stekhoven D.J., Bühlmann P.** (2012). MissForest — non-parametric missing value imputation for mixed-type data. *Bioinformatics*, 28 (1), 112–118.
- Turovsky R., Gaivoronsky Y.** (2017). Russia's regions as winners and losers: Political motives and outcomes in the distribution of federal government transfers. *European Politics and Society*, 18 (4), 529–551.
- Turovsky R., Korneeva E.** (2018). The Institutional impact on voter turnout: The case of Russia and its regions (2011–2016). *Russian Politics*, 3 (3), 372–395.
- Turovsky R., Sukhova M.** (2020). Federal and subnational elections in Russia: Coherence and divergence in electoral outcomes. *Russian Politics*, 5 (3), 329–353.
- Wuhs S., McLaughlin E.** (2019). Explaining Germany's electoral geography: Evidence from the eastern states. *German Politics and Society*, 37 (1), 1–23. DOI: 10.3167/gps.2018.370101

Spatial econometric approach to modeling election results in Russia: Municipal level

© 2023 L. E. Kuletskaya, O. A. Demidova, E. V. Semerikova

L. E. Kuletskaya,

NRU «Higher School of Economics», Moscow, Russia; e-mail: lada.kuletskaya@gmail.com

O. A. Demidova,

NRU «Higher School of Economics», Moscow, Russia; e-mail: demidova@hse.ru

E. V. Semerikova,

NRU «Higher School of Economics», Moscow, Russia; e-mail: esemerikova@hse.ru

Received 16.02.2023

Abstract. In this article we assess the role of mutual influence of voters living in neighboring territories and the influence of socio-economic factors on the example of voting results for the main candidate in the 2018 elections in Russia where the observation level is municipality. We claim that spatial factors (neighboring of municipalities, regions and belonging of municipalities to the same region) significantly affect the results of voting for the main candidate in each municipality. To confirm this hypothesis, we evaluated several different specifications of the Durbin model, which include dummy variables for the region and other spatial factors, and compared the results with the specifications of the model without taking into account spatial factors. We confirmed main hypothesis: the results of voting depend on the region in which the municipality is included, and, in addition, there is a positive spatial autocorrelation (the results of voting in neighboring municipalities depend on each other). The absence of consideration of spatial factors reduces the quality of regression fitting, coefficient estimates there change, and the qualitative picture of the results obtained is distorted. We also showed that the economic situation of the region also affects the results of the voting: economically stronger the municipality received higher share of votes for the main candidate. However, the result regarding distance of the municipality from the regional center turned out to be quite interesting: the further from the center the municipality is, the higher number of votes the main candidate receives. We explain this by the stronger presence of the opposition in the regional centers.

Keywords: spatial autocorrelation, electoral preferences, the role of socio-economic conditions, spatial Durbin model, presidential elections in Russia 2018, analysis of municipal data, spatial influence of territories on each other.

JEL Classification: C21, C31, R5.

For reference: **Kuletskaya L. E., Demidova O. A., Semerikova E. V.** (2023). Spatial econometric approach to modeling election results in Russia: Municipal level. *Economics and Mathematical Methods*, 59, 3, 137–148. DOI: 10.31857/S042473880024435-7 (in Russian).

К 90-летию со дня рождения академика Александра Ивановича Анчишкина (1933–1987 гг.)

Выдающийся российский ученый экономист академик Александр Иванович Анчишкин родился 11 августа 1933 г. После окончания МГУ им. М.В. Ломоносова начал свой трудовой путь в Научно-исследовательском экономическом институте Госплана СССР, где прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего сектором прогнозирования темпов и пропорций экономического роста.

В 1972 г. А.И. Анчишкин по приглашению академика Н.П. Федоренко перешел работать в Центральный экономико-математический институт Академии наук СССР (ЦЭМИ), где возглавил отдел народнохозяйственного прогнозирования. Александр Иванович стал одним из инициаторов и руководителей разработки «Комплексной программы научно-технического прогресса СССР» (КП НТП) — важнейшего научно-аналитического предпланового документа — фактически инструмента индикативного планирования.

Первая КП НТП была разработана в 1974 г. на период 1976–1990 гг., вторая — в 1976–1978 гг. на период до 2000 г., третья — в 1983 г. Все КП НТП разрабатывались в соответствии с методологией, предложенной А.И. Анчишкиным, при его непосредственном участии и руководстве. Он был душой и мозгом этой программы. Его большой вклад получил признание, и в 1976 г. он был избран членом-корреспондентом АН СССР. Четвертая КП НТП на период 1991–2010 гг. была также начата под руководством А.И. Анчишкина, но была завершена уже после того, как его не стало.

А.И. Анчишкин играл центральную роль в методологическом обосновании и разработке КП НТП. Он был одновременно заместителем председателя Научного совета по проблемам научно-технического и социально-экономического прогнозирования при Президиуме АН СССР и ГКНТ вице-президента АН СССР академика В.А. Котельникова. Александр Иванович придавал серьезное значение совершенствованию методологии прогнозирования научно-технологического и социально-экономического развития, в первую очередь на основе выявления взаимосвязей между научно-технологическими, экономическими и социальными показателями, широкого использования экономико-математических методов и моделей. Под его руководством коллективом ученых и специалистов в 1980 г. были подготовлены методические принципы разработки и уточнения КП НТП.

В 1981 г. А.И. Анчишкин возглавил созданный отдел перспектив экономического и социального развития Госплана СССР и стал членом коллегии Госплана СССР. За короткий период времени ему удалось внести большой вклад в усиление связи Госплана с Академией наук СССР. В 1984 г. он был избран действительным членом Академии наук СССР.

В 1985 г. А.И. Анчишкин был назначен директором Института экономики и прогнозирования научно-технического прогресса АН СССР (ИЭП НТП АН СССР, ныне — Институт народнохозяйственного прогнозирования (ИНП РАН)), созданного по его инициативе на основе отдела народнохозяйственного прогнозирования ЦЭМИ. В новый институт в порядке перевода были зачислены более 200 сотрудников ЦЭМИ, его структура первоначально состояла из восьми отделов, заведующими которых были А.И. Анчишкин, Ю.В. Яременко, С.С. Шаталин, Э.Б. Ершов, В.К. Фальцман, А.Е. Варшавский, Б.Г. Салтыков и А.П. Яркин. Организация этого института была закономерным завершением становления нового направления в отечественной экономической науке, у истоков которого стоял академик А.И. Анчишкин. На ИЭП НТП была возложена работа, направленная на обеспечение деятельности Научного совета по проблемам научно-технического и социально-экономического прогнозирования при Президиуме АН СССР и ГКНТ.

В 1986–1987 гг. основное внимание А.И. Анчишкина было направлено на решение проблем преобразования хозяйственного устройства страны, намеченным XXVII съездом КПСС. Все свои силы Александр Иванович отдавал как теоретическим исследованиям в наиболее актуальных направлениях экономической науки, так и практической деятельности, связанной с ускорением перестройки. Он многое сделал для подготовки представленных Политбюро ЦК КПСС на июньском (1987 г.) Пленуме ЦК КПСС «Основных положений коренной перестройки управления

экономикой». К сожалению, Александр Иванович умер 24 июня 1987 г. за несколько часов до начала Пленума.

А.И. Анчишкин считал своим долгом участвовать в подготовке достойной смены — высококвалифицированных кадров экономистов-исследователей. С 1965 г. и до конца своих дней он вел активную педагогическую деятельность в МГУ им. М.В. Ломоносова, где в 1977–1981 гг. он возглавлял кафедру планирования народного хозяйства. Его лекции отличались безупречной логикой, глубиной и вместе с тем — простотой и доходчивостью изложения.

Идеи, послужившие основой для разработки КП НТП и частично изложенные в его монографиях, представляют большой интерес и в настоящее время. В первую очередь следует выделить две книги. Классической работой, которую и в настоящее время изучают студенты ведущих экономических вузов страны и которая была издана в Чехословакии, Венгрии и Польше и переведена на английский и французский языки, является монография «Прогнозирование роста социалистической экономики» (1973 г.). Наиболее масштабной по замыслу и широте охвата рассматриваемых проблем стала последняя книга А.И. Анчишкина «Наука—техника—экономика», которая была также переведена и опубликована в Чехословакии.

Современные задачи развития науки и высоких технологий, обеспечения технологического суверенитета России подтверждают необходимость интенсификации как экономических, так и междисциплинарных исследований в этом направлении на основе использования накопленного ранее опыта и знаний, а также учета предложений и рекомендаций ведущих ученых страны, направленных на разработку и реализацию научно-технологической и промышленной политики.

Отмечая 90-летие со дня рождения академика А.И. Анчишкина, еще раз отметим его ведущую роль в разработке КП НТП, создании системы макроэкономического прогнозирования и индикативного планирования в нашей стране. Актуальность проблем социально-экономического и научно-технологического развития, на которые указывал Александр Иванович, сохраняется и в настоящее время. Предложенная им методология, предполагавшая разработку научно-технологических программ и проектов, и опыт практической реализации КП НТП заслуживают самого серьезного внимания и изучения с целью их использования в настоящее время — в период реиндустриализации и обеспечения технологического суверенитета.

Имя выдающегося ученого академика Александра Ивановича Анчишкина навсегда останется в истории отечественной экономической науки.

П.А. Минакир



Отделение общественных наук РАН с прискорбием сообщает, что 3 августа 2023 г. ушел из жизни выдающийся ученый-экономист, бессменный на протяжении более тридцати лет руководитель Института экономических исследований ДВО РАН, доктор экономических наук, профессор, действительный член Российской академии наук Павел Александрович МИНАКИР.

Павел Александрович Минакир родился 2 декабря 1947 г. в Симферополе. В 1972 г. после окончания экономического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова приехал работать в Хабаровск в Институт экономических исследований Дальневосточного научного центра АН СССР. С этим институтом и Дальним Востоком России связаны и жизнь, и научная деятельность П.А. Минакира, здесь он прошел путь от стажера до директора (1991 г.) и научного руководителя института (2016 г.). В 1977 г. защитил кандидатскую диссертацию, в 1984 г. — докторскую, в 1997 г. избран членом-корреспондентом РАН, в 2006 г. — действительным членом РАН по специальности «Экономика».

Павел Александрович — один из крупнейших специалистов в России в исследованиях региональной экономики, экономики Дальневосточного региона, международного экономического сотрудничества в Северо-Восточной Азии. По данным направлениям им создана оригинальная научная школа, которая получила широкую известность и признание в России и за рубежом. Научные принципы, сформулированные Минакиром позволяют эффективно согласовывать теоретическую разработку программных методов регионального развития и внешнеэкономического сотрудничества с прикладными задачами развития экономики в национальном и в международном аспектах.

Павел Александрович написал более 500 научных работ, изданных в России и за рубежом, из которых 10 — личные монографии. Полученные им теоретические разработки были положены в основу ряда важнейших документов, определяющих направления развития Дальневосточного региона. Научные труды П.А. Минакира переведены и изданы в США, Великобритании, Японии, Франции, КНР, Республике Корея, Индии.

Павел Александрович уделял значительное внимание подготовке научных кадров и привлечению талантливой молодежи в науку. Под его научным руководством успешно защищены десятки докторских и кандидатских диссертаций. П.А. Минакир возглавлял Объединенный ученый совет Президиума ДВО РАН по общественным наукам, являлся главным редактором журнала «Пространственная экономика» и был членом редакционных коллегий ряда российских и зарубежных журналов, был председателем экономического совета при губернаторе Хабаровского края.

Павел Александрович избран почетным профессором Академии общественных наук провинции Хэйлунцзян, советником Российско-китайского торгово-экономического и научно-технического сотрудничества при правительстве г. Харбина (КНР). За вклад в развитие международных отношений П.А. Минакир награжден правительством Японии Орденом Восходящего солнца.

Многолетняя плодотворная научная и общественная деятельность П.А. Минакира отмечена Почетной грамотой Президента Российской Федерации, медалью Ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, Почетным знаком Ордена Андрея Первозванного, Серебряной и Золотой медалями им. Н.Д. Кондратьева «За вклад в развитие общественных наук», Национальной премией им. Минина и Пожарского «Достойному гражданину — благодарная Россия» и другими наградами.

С.Б. Байзаков



11 июля 2023 г. на 86 году жизни скончался известный ученый, большой друг ЦЭМИ РАН, академик Национальной академии наук Республики Казахстан Сайлау Байзакович Байзаков.

Сайлау Байзакович родился 12 декабря 1937 г. в Джангельдинском районе Костанайской области Республики Казахстан. В 1956 г. поступил на механико-математический факультет Казахского государственного университета имени С.М. Кирова (ныне это Казахский национальный университет имени Аль-Фараби) и закончил его в 1961 г. по специальности «Вычислительная математика». Далее он продолжил обучение на экономическом факультете того же университета и получил второе высшее образование по специальности «Планирование промышленности».

С 1961 по 1963 г. С.Б. Байзаков работал ассистентом, а затем младшим научным сотрудником механико-математического факультета КазНУ им. Аль-Фараби. В 1964 г. он перешел на работу в Вычислительный центр научно-исследовательского института при Госплане Казахской ССР. В этом институте Сайлау Байзакович продвинулся по службе со старшего экономиста до заместителя директора.

В 1974 г. С.Б. Байзаков защитил ученую степень доктора экономических наук в ЦЭМИ АН СССР, а в 1981 г. ему было присвоено звание профессора по прикладной математике.

В 1985–1986 гг., проработав в Академии наук Республики Казахстан в должности первого заместителя председателя Совета по изучению производительных сил Казахстана, по приглашению вышестоящих организаций, Сайлау Байзакович перешел на должность директора Научно-исследовательского института автоматизации процессов планирования и управления при Госплане Казахской ССР. В этой должности он руководил работами по проектированию автоматизированных систем плановых расчетов для союзной республики. Многие результаты этих работ находили одобрение Государственного планового комитета Казахской ССР.

В НИИ АСПУ при Госплане Казахской ССР Сайлау Байзакович создал свою научную школу экономистов-математиков. За этот период его институт стал головным по научно-исследовательским работам в области оптимизации региональной экономики и внутрирегиональному хозрасчету, результаты которых были внедрены в практику хозяйствования.

Будучи ректором института переподготовки и повышения квалификации государственных служащих при Правительстве Республики Казахстан, С.Б. Байзаков участвовал в разработке правительственных программ и проектов реформирования национальной экономики Казахстана, в том числе в разработке стратегии «Казахстан-2030», и организовал переподготовку более 4500 государственных служащих, преимущественно из территориальных органов управления (сельских округов, районных и областных органов управления).

За 1996–1997 гг. Сайлау Байзакович участвовал в ряде проектов в области кадровой политики и опубликовал несколько брошюр и статей о стратегии развития центров обучения и кадровой политики высшего звена управления. Он провел научное редактирование более 20 переводных учебных пособий, обращая особое внимание на учебные материалы для органов местного самоуправления и развития региональной экономики.

С 1997 по 2000 г. С.Б. Байзаков одновременно был внештатным советником Агентства по стратегическому планированию при Президенте Республики Казахстан.

Под руководством Сайлау Байзаковича была выполнена большая работа в составе группы консультантов программы ТАСИС, а в 2004—2007 гг. он работал вице-президентом по науке в Институте экономических исследований и занимался развитием прикладных экономико-математических инструментов прогнозирования.

В 2007—2012 гг. С.Б. Байзаков принимал активное участие в работе всех проводимых ежегодно Астанинских экономических форумов, обеспечил восстановление и развитие творческих научных контактов со всеми экономическими институтами СНГ, в том числе особо тесные связи были установлены с институтами России, Беларуси, Кыргызстана, Таджикистана и Азербайджана.

Сайлау Байзакович создал уникальную, признанную во всем мире научную школу в области применения экономико-математических методов для задач прогнозирования и проведения сценарных расчетов. Благодаря ему в работу Министерства экономического развития и торговли Республики Казахстан были внедрены компьютерные модели общего равновесия, а также методы финансового программирования, эконометрические и прочие модели, а также разработка индикативных планов. Что касается равновесных моделей, то под его руководством был не просто инициирован процесс построения CGE-модели для Республики Казахстан, но и осуществлен контроль всех этапов ее построения с привлечением специалистов различного профиля из нескольких стран.

Плотное сотрудничество Сайлау Байзаковича с нашим институтом началось с его официального обращения на имя директора ЦЭМИ АН СССР В.Л. Макарова, ответ которого приведен ниже.

Письмо Председателю Республиканского правления научно-экономического общества Казахской ССР, д.э.н. проф. С.Б. Байзакову от Директора ЦЭМИ АН СССР В.Л. Макарова

В ответ на Ваше письмо сообщаем, что ознакомление с представленными Вами материалами вызывает необходимость детального обсуждения методических разработок и их научных обоснований. Для этого целесообразно, как отмечается в Вашем письме, установить непосредственные научные контакты между ЦЭМИ АН СССР и РП НЭО Казахской ССР. Считаю также целесообразным создание соответствующего подразделения в одной из научных организаций Казахской ССР для проведения исследований по эффективности производства и применения вычислительной техники в экономических расчетах. ЦЭМИ АН СССР готов оказать научно-методическую помощь по этим вопросам.

Окончательное заключение по представленным Вами материалам может быть дано после обсуждения этих материалов и замечаний, содержащихся в прилагаемом отзыве.

Директор ЦЭМИ АН СССР
чл.-корр. АН СССР

 В.Л.Макаров

После этого между нашими институтами было заключено официальное соглашение о сотрудничестве, проводились совместные мероприятия и исследования в сфере компьютерного моделирования социально-экономических процессов.

Для ЦЭМИ РАН уход из жизни Сайлау Байзаковича — невосполнимая потеря. Он был не только специалистом высочайшего уровня, но и добрым, отзывчивым другом, замечательным человеком и настоящим Гражданином своей страны.

Выражаем глубокие соболезнования родным Сайлау Байзаковича и всем, кто его знал и любил. Светлая память о нем навсегда сохранится в наших сердцах.

Сотрудники ЦЭМИ РАН

Г.М. Татевосян



Редколлегия журнала «Экономика и математические методы» с прискорбием сообщает, что 25 мая 2023 г. на 83 году жизни скончался один из ветеранов ЦЭМИ РАН, к.э.н., ведущий научный сотрудник института Георг Мартинович Татевосян.

Г. М. Татевосян окончил МИНХ им. Г. В. Плеханова в 1963 г. и аспирантуру МИНХ в 1966 г. В 1964–1965 гг. служил в рядах Советской Армии. С 1966 г. совмещал учебу в аспирантуре с научной работой в ЦНИЭЛ при МИНХ им. Г. В. Плеханова. С 1967 г. работал старшим экономистом в НИИ по ценообразованию Госкомцен при Правительстве СССР. В 1969 г. защитил кандидатскую диссертацию.

В ЦЭМИ Г. М. Татевосян работал с 1973 г. в должности с.н.с., а с 1990 г. — в.н.с. Занимался проблемами экономического механизма на уровне предприятий и разработкой экономико-математического аппарата исследований в этой области (модели поведения экономических объектов, системы расчета комплекса экономических показателей, методы разработки экономических показателей, методы обработки исходной информации, адаптация методов автоматической классификации к конкретным объ-

ектам исследования, оптимизация экономических решений, комплекс методов анализа ситуации в экономических объектах).

В институте Г. М. Татевосян был руководителем научных групп, занимал свою нишу в научных исследованиях. Под его руководством было проведено большое число имитационных экспериментов и комплексных расчетов экономических показателей.

С 1992 г. Георг Мартинович занимался региональными экономическими проблемами: разработкой систем показателей, оценкой ситуации в регионах, классификацией регионов по разным признакам (тип экономической политики, стартовые условия для экономического развития, уровень экономических показателей, эффективность экономической деятельности), проблемами инвестиций в реальный сектор, согласованием интересов федерального центра и субъектов федерации. Рекомендации по совершенствованию регионального планирования, разработанные совместно с С. В. Седовой, приняты МЭРТ РФ в 2003 г.

В последние годы Г. М. Татевосян совместно с д.э.н. О. Б. Брагинским проводил постоянный мониторинг состояния российского и мирового нефтехимического комплекса, совместно с к.э.н. Магомедовым Р. Ш. выполнил анализ нормативно-правового и методического обеспечения процессов разработки и реализации форм программно-целевого управления социально-экономическим развитием РФ в период 1992–2019 гг. Г. М. Татевосян занимался обоснованием федеральных целевых программ, разработкой комплексной экономико-математической модели. Активно участвовал в работе научных конференций, семинаров и симпозиумов. Был членом оргкомитетов и руководителем секций научных мероприятий. Г. М. Татевосян был признанным специалистом в этих областях. Его исследования характеризуются творческим подходом, глубокой проработкой методологических проблем, тщательным обоснованием сделанных выводов и умением работать с большими массивами цифровой информации.

За успешную работу Г. М. Татевосян был награжден грамотами ЦЭМИ, РАН и Минобрнауки России, государственной юбилейной медалью «XX лет Победы в ВОВ».

Георг Мартинович всегда был приветливым, отзывчивым другом и товарищем для коллег по работе, замечательным человеком и гражданином своей страны. Светлая память о нём навсегда сохранится в наших сердцах.

Редакционная коллегия журнала выражает глубокие соболезнования родным и близким Георга Мартиновича, коллегам по работе и всем, кто его знал и любил.