

Российская академия наук

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Том 58 № 4 2022

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, Г.В. Егоров, Р.С. Ениколопов,
А.В. Захаров, С.Б. Измалков (зам. главн. ред.), В.Л. Квинт, Г.Б. Клейнер, М. Кубонива,
А.М. Либман, В.Н. Лившиц, В.Л. Макаров, В.М. Полтерович, А.Б. Поманский,
А.В. Савватеев, 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 58, номер 4, 2022

Теоретические и методологические проблемы

Рудаков И.О., Устюжанина Е.В. Тенденции изменения содержания труда на разных этапах исторического развития 5

Егорова Н.Е., Горлов А.В. Исследование зависимости между уровнями общественного доверия и коррупции: топологическая модель и статистические методы 17

Народнохозяйственные проблемы

Афанасьев М.Ю., Ильин Н.И. Новые ориентиры для выбора приоритетных направлений диверсификации экономики на базе системы ситуационных центров 29

Прокопьев М.Г. Влияние внешнеторговой политики на продовольственную независимость по отдельным товарным группам: методические аспекты 45

Региональные проблемы

Гаврилец Ю.Н., Кудров В.А., Тараканова И.В. Статистический анализ и моделирование взаимосвязи региональной экономики и науки 56

Шевченко Е.С. Оценка влияния демографических факторов на уровень инфляции в регионах России 71

Отраслевые проблемы

Красавцева А.Р., Городецкий А.Е. Логико-лингвистический метод оценки риска специализированного кредитования (на примере проектного финансирования) 83

Косякина А.И. Анализ факторов банкротства российских застройщиков 92

Проблемы предприятий

Шориков А.Ф. Методика оптимизации адаптивного управления выпуском продукции предприятия на основе динамической экономико-математической модели 102

Математический анализ экономических моделей

Скаржинская Е.М., Цуриков В.И. Влияние личностных качеств агентов на экзогенное формирование лидерства по Штакельбергу в модели коллективных действий 113

* * *

В.М. Полтеровичу — 85 123

В.А. Волконскому — 90 125

Содержание за 2022 год (том 58) 127

Russian Academy of Sciences

ECONOMICS AND MATHEMATICAL METHODS

VOLUME 58 No. 4 2022

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),
Egorov G.V., Enikolopov R.S., Gavrilets Yu.N., Izmalkov S.B. (Deputy Editor-in-Chief),
Kleiner G.B., Kuboniwa M., Kvint V.L., Libman A.M., Livshits V.N., Makarov V.L.,
Polterovich V.M., Pomanskiy A.B., Savvateev A.V., Shitova I.S. (Deputy Editor-in-Chief),
Ustyuzhanina E.V. (Deputy Editor-in-Chief),
Volchkova N.A., Volkonskiy V.A., Zakharov A.V.

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 58, No. 4, 2022

Theoretical and methodological problems

Rudakov I.O., Ustyuzhanina E.V. Tendencies of labor content changes at different stages of historical development 5

Egorova N.E., Gorlov A.V. Investigation of the relationship between the levels of public trust and corruption: A topological model and statistical methods 17

Problems of national economy

Afanasiev M. Yu., Ilin N.I. New guidelines for choosing priority areas of economic diversification based on a system of situational centers 29

Prokopyev M.G. The impact of foreign trade policy on food independence for separate commodity groups: Methodological aspects 45

Regional problems

Gavrilets Yu.N., Kudrov A.V., Tarakanova I.V. Statistical analysis and modeling of regional economy and science relationship 56

Shevchenko E.S. Impact estimation of demographic factors on the inflation rate in the Russian regions 71

Industrial problems

Krasavtseva A.R., Gorodetskiy A.E. Logical-linguistic method for assessing the risk of specialized lending (on the example of project financing) 83

Kosyakina A.I. Analysis of bankruptcy factors of the Russian developers 92

Problems of enterprises

Shorikov A.F. Technique for optimizing the adaptive control of the output of an enterprise based on a dynamical economic and mathematical model 102

Mathematical analysis of economic models

Skarzhinskaya E.M., Tsurikov V.I. The influence of the agents' personal qualities on the exogenous formation of Stackelberg leadership in a collective action model 113

* * *

V.M. Polterovich — 85 123

V.A. Volkonskiy — 90 125

Contents for 2022 (vol. 58) 127

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Тенденции изменения содержания труда на разных этапах исторического развития

© 2022 И.О. Рудаков, Е.В. Устюжанина

И.О. Рудаков,

РЭУ имени Г.В. Плеханова, Москва; e-mail: thefirstrudakov@gmail.com

Е.В. Устюжанина,

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

Поступила в редакцию 27.06.2022

Аннотация. В статье исследуется, как проявляются и изменяются основные характеристики трудовой деятельности на протяжении различных этапов исторического развития. Авторы предлагают классифицировать трудовую деятельность по четырем критериям, выделяя следующие направления расслоения трудовых отношений: свободный и подневольный труд, престижные и обыденные виды деятельности, квалифицированный и неквалифицированный труд, творческий и рутинный труд. Для того чтобы решить поставленную задачу, в работе проанализированы основные подходы к периодизации истории; выделены ключевые события и даты, отмечающие начало и конец исторических этапов для разных подходов. На основе сопоставления различных подходов все обсуждаемые периодизации приведены к единой шкале времени. В итоге предложен обобщенный подход к периодизации истории. Для каждого исторического периода дана его краткая характеристика и описаны предпосылки его появления, показано проявление выделенных направлений расслоения трудовых отношений: каким образом они осуществляются, как эти проявления меняются от периода к периоду, как распределяется трудовая деятельность в рамках обсуждаемых характеристик. Представлена визуализация направлений расслоения трудовых отношений с описанием изменения их динамики на разных исторических этапах предложенной периодизации. Сделан вывод о том, что дифференциация труда имеет волнообразный характер; выделенные нами направления расслоения трудовых отношений имеют место практически во всех периодах истории хозяйственной деятельности, они демонстрируют разнонаправленный характер изменений и взаимосвязи друг с другом. Обосновано, что дифференциация труда возрастает в периоды технологических революций.

Ключевые слова: хозяйственная деятельность; трудовые отношения; дифференциация труда; свободный и подневольный труд; престижные и обыденные виды деятельности; творческий и рутинный труд; квалифицированный и неквалифицированный труд; расслоение труда.

Классификация JEL: A13, N30, J01.

Для цитирования: **Рудаков И.О., Устюжанина Е.В.** (2022). Тенденции изменения содержания труда на разных этапах исторического развития // *Экономика и математические методы*. Т. 58. № 4. С. 5–16. DOI: 10.31857/S042473880023014-4

ВВЕДЕНИЕ

Историю развития трудовых отношений можно представить как движение в направлении постепенного разделения труда и специализации трудовых функций, повышения квалификации работников, освобождения их от давления внеэкономического принуждения и формирования условий для раскрытия творческих способностей личности. Но одновременно можно вести речь и о противоположных трендах — обеднении содержания труда, возникновении новых форм принуждения к труду, выхолащивании интеллектуальной составляющей трудовой деятельности, рутинизации трудовых функций. И эти противоречивые тенденции характерны не только для сегодняшнего периода автоматизации и роботизации производственных процессов. Схожие явления можно проследить на всем протяжении истории развития хозяйственной деятельности.

Задача настоящей работы — проследить соотношение важнейших характеристик трудовой деятельности на различных этапах исторического развития. Авторы исходят из предположения, что смена моделей организации хозяйственной жизни ведет к изменению характера труда и его дифференциации. Под дифференциацией труда мы понимаем процесс разделения работников по

трудовым функциям и положению в системе экономических отношений. В качестве показателей дифференциации мы предлагаем использовать параметры, характеризующие сам процесс труда (уровень квалификации и наличие творческого начала) и отношения между экономическими агентами (наличие принуждения к труду и общественный статус исполнителей трудовых функций). Научная гипотеза исследования — в своем историческом развитии дифференциация труда имеет волнообразный характер.

Для решения поставленной задачи мы вводим в рассмотрение понятие *направление расслоения трудовых отношений* — дихотомический классификатор трудовой деятельности по выбранной характеристике (критерию).

Нами были выбраны четыре характеристики трудовой деятельности:

- наличие (отсутствие) той или иной формы принуждения к труду, кроме естественной цели непосредственного удовлетворения потребностей;
- возможность (отсутствие возможности) с помощью трудовой деятельности демонстрировать атрибуты успеха (статуса), признаваемые в данном сообществе;
- необходимость (отсутствие необходимости) длительной специальной подготовки для выполнения профессиональных функций;
- наличие (отсутствие) возможности выполнять свои трудовые функции на основе сложившихся алгоритмов.

Соответственно, мы получили четыре направления расслоения трудовых отношений: 1) свободный и подневольный труд; 2) престижные и обыденные виды деятельности; 3) квалифицированный и неквалифицированный труд; 4) творческий и рутинный труд.

Свободный труд — деятельность экономического агента, не связанная с прямым подчинением другим лицам, в основе которого (подчинения) лежит либо внеэкономическое принуждение, либо добровольное ограничение своей свободы в обмен на вознаграждение. При этом могут иметь место такие факторы принуждения к труду, как необходимость жизнеобеспечения или навязывание смыслов (символическое принуждение).

Подневольный труд предполагает обязанность экономического агента подчиняться указаниям других лиц.

Престижная деятельность — деятельность, позволяющая демонстрировать наглядные атрибуты успеха (статуса), и поэтому она воспринимается в данном сообществе как уважаемое занятие.

Обыденная деятельность не позволяет получать и демонстрировать признаваемые в данном сообществе атрибуты успеха и/или статуса.

Квалифицированный труд — деятельность, требующая длительной подготовки работника с целью приобретения им специальных знаний, умений и навыков, необходимых для выполнения профессиональных функций.

Неквалифицированный труд — деятельность, для выполнения которой не требуются узкоспециализированные знания, умения и навыки.

Творческий труд — деятельность в условиях высокой степени неопределенности и отсутствия отработанных шаблонов выполнения трудовых функций.

Рутинный труд — деятельность, осуществляемая на основе известных алгоритмов и в соответствии с отработанными шаблонами.

Исследование того, каким образом трудовая деятельность развивалась в рамках выделенных нами направлений, призвано помочь лучше понять траекторию и особенности эволюции трудовых отношений в современную эпоху.

Объектом исследования выступает трудовая деятельность человека (ее содержательная часть) на протяжении истории развития хозяйственной деятельности.

Для решения задачи данной статьи необходимо: 1) выделить этапы исторического развития — модели организации хозяйственной жизни, в рамках которых будет оцениваться дифференциация труда; 2) проанализировать соотношение направлений расслоения труда на каждом из этапов.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ПЕРИОДИЗАЦИИ ИСТОРИИ

Существуют различные подходы к периодизации истории эволюции человеческого общества. В данном разделе мы обсуждаем наиболее известные из этих подходов.

Элвин Тоффлер

Э. Тоффлер рассматривает исторический процесс в виде постепенно переходящих друг в друга волн, при этом переход одной волны в другую происходит в разное время для разных стран, регионов и обществ.

Первая волна формируется во время перехода к регулярному сельскохозяйственному производству. Появляется разделение труда, формируются социальные классы, касты и сословия. *Вторая волна* формируется во время промышленной революции. Углубляется разделение труда, усложняется социальная иерархия, происходит отчуждение производителя от своего труда. Объем выпуска начинает увеличиваться за счет внедрения машин (Тоффлер, 2010). *Третья волна* стала формироваться, когда число работников в сфере услуг постепенно (с нарастанием) превысило численность работников остальных секторов. Движущими силами развития этого периода Тоффлер считает расширение компьютеризации, искусственного интеллекта и алгоритмов машинного обучения, позволяющих принимать более быстрые и точные решения.

Адам Фергюсон

А. Фергюсон предложил трехчленную типологию развития человеческих обществ: дикарские, варварские, цивилизованные.

Дикарство — период, когда основной деятельностью общества является охота, собирательство и рыболовство. Частной собственности нет, произведенный продукт делится между всеми членами общества. Варварское состояние характеризуется началом скотоводства и развитием земледелия. Происходит формирование классов, зарождение частной собственности, появление первых государств (Фергюссон, 2000). Цивилизация — финальная стадия развития человеческих обществ с развитым разделением труда, институтом государства, письменным законодательством и городами.

Анн Робер Жак Тюрго

Анн Робер Жак Тюрго также выделял три стадии развития человечества по критерию вида деятельности, который решающим образом влияет на обеспечение общества необходимыми ему благами. Соответственно, он выделяет охотничье-собирательскую, пастушескую и земледельческую стадии (Тюрго, 1937). В дальнейшем исследователи преобразовали трехстадийный подход Тюрго в четырехстадийный, добавив к нему торгово-промышленную стадию.

Фридрих Лист

По мнению Листа, нации проходят следующие стадии экономического развития: дикость, пастушеская, земледельческая, земледельческо-промышленная и земледельческо-промышленно-торговая. Последние стадии различаются между собой, прежде всего с точки зрения международной торговли (Лист, 1841).

Карл Маркс

К. Маркс разделяет историю человечества на пять общественных формаций — стадии общественного развития, которые характеризуются определенной конфигурацией производительных сил и детерминируемым этой конфигурацией типом производственных отношений. Для европейских цивилизаций характерны, по мнению Маркса, следующие формации: первобытнообщинный строй, рабовладельческий способ производства, феодальный способ производства, капитализм и коммунизм. Внутри каждой формации (кроме первой и последней) можно выделить два основных противоборствующих класса: производящее большинство и правящее меньшинство — владельцы средств производства (Маркс, 2018).

В период первобытнообщинного строя используемые орудия труда примитивны, экономического излишка не производится, классовое деление отсутствует, труд имеет всеобщий характер.

Рабовладельческий способ производства основывается на частной собственности на условия труда и непосредственный производительный класс — рабов. Экономический излишек присваивается рабовладельцами.

Феодальный способ производства предполагает разбиение общества на два класса: феодалов — собственников земли — и крестьян, находящихся в личной зависимости от феодалов. Экономический излишек присваивается феодалами. Некоторые исследователи отмечают, что рабовладельческого способа не существовало и что следует объединить рабовладельческий и феодальный способы в единую сословно-классовую формацию (Кобищанов, 1992; Илюшечкин, 1996).

Капиталистический способ производства основывается на юридическом равенстве всех граждан в условиях экономического неравенства — отделения работников от средств производства. Работники обладают собственностью только на свою рабочую силу и вынуждены продавать ее капиталистам как товар — в обмен на средства к существованию. Экономический излишек присваивается владельцами средств производства — капиталистами.

Коммунизм, согласно Марксу, предполагает ликвидацию института частной собственности, возвращение к всеобщему характеру труда и действительному равенству всех членов общества. В основе этого равенства должен лежать уровень развития производительных сил, позволяющий удовлетворять все разумные потребности всех членов общества, оставляя им время для свободного развития личности.

В работах Маркса упоминается также «азиатский способ производства», который характеризовался отсутствием института частной собственности в его классическом понимании, наличием очень сильного (тоталитарного) государства, которое присваивает себе большую часть экономического излишка. Азиатский способ производства опирается на бюрократию как привилегированный класс и сельскую общину как основную единицу хозяйственной деятельности (Илюшечкин, 1996; Семенов, 2019).

Торстейн Веблен

Веблен делит историю на два крупных блока: первобытное дикарство и варварство. Различие между этапами Веблен объясняет различием в сознании или духовном настрое: общество можно охарактеризовать как хищническое, когда демонстративное соперничество стало главенствующим признаком повседневной жизни человека в этом сообществе. Одним из основных отличий варварства от дикарства, по Веблену, является появление праздного (непроизводительного) класса (Веблен, 2021).

В дальнейших исследованиях Веблен разделил каждую стадию на два этапа. В миролюбивой фазе он выделил этап зарождения варварства, а стадию варварства разделил на начальный и поздний периоды.

Дэниел Белл

Белл выделяет три периода: доиндустриальный, индустриальный и постиндустриальный периоды, но фокусируется на переходе к постиндустриальному периоду. Согласно Беллу подавляющая часть деятельности людей в постиндустриальном обществе будет связана с получением, обработкой и принятием решений на основе информации с использованием информационно-коммуникационных технологий (Белл, 2004).

Мануэль Кастельс

М. Кастельс разделяет понятия «способы производства» и «способы развития». Способы производства определяют правила присвоения, распределения и использования экономического излишка. Способы развития — технологические схемы, посредством которых труд создает продукт, детерминируя размер и качество экономического излишка. Каждый способ развития определяется элементом, который является фундаментальным для повышения производительности производственного процесса. При аграрном способе развития источник растущего экономического излишка — результат количественного роста трудовых усилий и природных ресурсов, вовлеченных в производственный процесс. При индустриальном способе в производство вводятся новые источники энергии. При информационном (термин, который использует Кастельс) — технологии генерирования знаний, обработки информации и символической коммуникации (Кастельс, 2000).

Примерная периодизация различных авторов представлена в табл. 1.

Таблица 1. Периодизации разных исследователей с привязкой ко времени

Автор	Шкала времени											
	до 10 000 до н.э.	10 000 — 8 000 до н.э.	8 000 — 3 000 до н.э.	Появление сельского хозяйства 3 000–754 до н.э.	Основание Римской Империи 754 до н.э. — 476	Падение Римской Империи 476–1609	Зарождение капитализма 1609–1769	Промышленная революция 1769–1850	Рост инвестиций в промышленность 1850–1900	Слияния и поглощения 1900–1955	Сектор услуг превышает первичный и вторичный 1955–1990	Распространение компьютеров, формирование виртуальных социальных сетей от 1990
А. Фергюсон	Дикарство			Варварство	Цивилизация							
Т. Веблен	Дикарство	Варварство — начальный период		Варварство — ранний период	Варварство — поздний период		Периодизация не охватывает данного периода					
А. Тюрго	Охотничье-собираТЕЛЬСкая стадия	Пастушеская стадия		Земледельческая стадия			Периодизация не охватывает данного периода					
Ф. Лист	Дикость	Пастушеская стадия		Земледельческая стадия		Земледельческо-промышленная стадия	Земледельческо-промышленно-торговая стадия	Периодизация не охватывает данного периода				
К. Маркс	Первобытнообщинный строй			Рабовладельческий строй		Феодализм	Капитализм		Коммунизм			
Д. Белл	Доиндустриальное общество				Индустриальное общество			Постиндустриальное общество				
М. Кастельс	Аграрный способ развития				Индустриальный способ развития (капитализм и этатизм)			Информационализм				
Э. Тоффлер	Период до Первой волны	Первая волна (агрокультурная революция)				Вторая волна (промышленная революция)		Третья волна (искусственный интеллект)				

Источник: составлено авторами.

Можно условно выделить два основных подхода к периодизации экономической истории: исторический и прогнозно-аналитический. Исторический подход основан на изучении закономерностей прошлого. Прогнозно-аналитический подход базируется на конструировании будущего, при этом за точку отсчета, как правило, берется индустриальная стадия развития и порожденная ею рыночная модель экономики.

К историческому подходу можно отнести периодизации, предложенные А. Фергюссеном, А. Тюрго, Т. Вебленом и Ф. Листом. К прогнозно-аналитическому — периодизации Д. Белла, М. Кастельса и Э. Тоффлера.

Периодизация К. Маркса совмещает черты обоих подходов — и исторического, и прогнозно-аналитического. По периодизации она ближе к историческому подходу. Вместе с тем, прогноз неизбежности смены способа производства сближает подход Маркса с аналитическим направлением.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Обобщая подходы различных исследователей, мы выделили следующие стадии хозяйственного развития (табл. 2). Естественно, что разные народы вступали в те или иные периоды в разные периоды времени. Поэтому интервалы времени взяты по наиболее известным историческим датам и характеризуют первые исторические изменения.

Исторические события, которые легли в основу приведенных выше интервалов времени:

10 000 лет до н.э. — начало одомашнивания скота (зарождение пастушеской экономики);

8000 лет до н.э. — начало регулярного земледелия (зарождение аграрной экономики);

3000 лет до н.э. — возникновение Египетского царства (становление сословной экономики);

754 год до н.э. — возникновение Римской Империи (зарождение рабовладельческих империй)

476 г. — падение Римской Империи (становление феодальной экономики);

1609 г. — первая буржуазная революция (зарождение мануфактурного периода рыночной экономики);

1769 г. — усовершенствование парового двигателя Джеймсом Уаттом (зарождение фабричного периода);

1900 г. — появление первых объединений капиталистических предприятий, начало эпохи слияний и поглощений (зарождение корпоративного периода);

1955 г. — объем выпуска сектора услуг стал превышать все другие сектора экономики (экономика услуг);

1990 г. — информационно-технологическая революция (формирование цифровой экономики).

Таблица 2. Предлагаемая периодизация

Стадии развития	Периоды	Интервалы времени
Дикость	Присваивающая экономика	До 10 000 до н.э.
Общинная экономика	Пастушеская экономика	10 000–8000 до н.э.
	Первобытная аграрная экономика	8000–3000 до н.э.
Сословная экономика	Варварский период	3000–754 до н.э.
	Рабовладельческий период	754 до н.э. — 476 н.э.
	Феодальная экономика	476–1609
Рыночная экономика	Мануфактурный период	1609–1769
	Фабричный период	1769–1920
	Корпоративный период	1920–1955
	Экономика услуг	1955–1980
Современная экономика	Цифровой период	1980 — настоящее время

Источник: составлено авторами.

Не все народы прошли через все выделенные периоды. В частности, пастушеский и рабовладельческий периоды, а также экономика услуг были характерны не для всех сообществ. Тем не менее эти периоды внесли свой вклад в развитие трудовых отношений.

СООТНОШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ХОЗЯЙСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ

Присваивающая экономика

Для этого этапа характерно удовлетворение подавляющей части общественных потребностей посредством охоты, рыболовства и собирательства. Все необходимое для выживания добывается, создается и потребляется внутри общины.

Явного расслоения людей по их участию в трудовой деятельности не наблюдается. Более сильные и ловкие члены общины пользуются большим уважением (престижем), но это связано не столько с выполняемыми ими трудовыми функциями, сколько с самим понятием силы (Корякин, 2020).

Подневольный труд как феномен отсутствует. В то же время имеют место элементы творческого труда и зачатки квалификации у членов общины, занятых промыслами. Охота первобытного человека являлась во многом творческой деятельностью. Процесс охоты определялся большим числом факторов, оценка и преодоление которых требуют нестандартного подхода. Такую же логику можно использовать для выявления творческих элементов в рыболовстве.

Общинная экономика

Неолитическая революция знаменует собой переход от присваивающего к воспроизводственному типу хозяйственной деятельности.

Пастушеская экономика. Происходит одомашнивание животных и их регулярное воспроизводство, появляется новый вид деятельности — скотоводство.

Труд остается свободным, а отношение членов общины к произведенному продукту — относительно равным. Происходит первое явное разделение труда — выделение скотоводства в самостоятельную отрасль (Bentley et al., 2016; Christian, 2016). Однако констатировать рост квалификационной составляющей труда еще сложно. Разделение труда на престижные и обыденные виды деятельности проявляется неявно. А вот элементы творчества становятся все более значимыми — развитие новой отрасли требует изобретательства и нестандартного мышления.

Аграрная экономика. Следующим этапом хозяйственного развития становится возникновение регулярного земледелия и развитие животноводства. Происходит переход от кочевничества к оседлости и появление зачатков ремесла (кузнецы, гончары).

Охота становится престижным видом деятельности благодаря демонстративно понятным атрибутам успешности охотника — трофеям (Веблен, 2021). Специализированные орудия труда, эксперименты выращивания новых культур и одомашнивания животных способствуют усилению творческой составляющей деятельности отдельных членов общины и повышению их квалификации (Bentley et al., 2016; Christian, 2016). Труд ремесленника становится квалифицированным. Труд остается свободным, а его целью является самообеспечение.

Сословная экономика

На основе роста производительности труда возникает такой феномен, как излишек производимой продукции, что порождает общественное неравенство.

Варварский период. Происходит переход к оседлому образу жизни. Военная деятельность становится все более важной (защита территорий), что приводит к появлению оружейных ремесел, зарождается деятельность по созданию предметов роскоши. Начинают в явном виде проявляться все направления расслоения трудовых отношений: разделение труда; деление деятельности на престижную (охота и война) и обыденную (сельское хозяйство); появление зачатков квалифицированного труда управляющих и ремесленников. Впервые начинает появляться подневольный труд — рабство (Веблен, 2021). Также продолжает проявляться разделение труда на творческий и обыденный — творческое меньшинство находит / изобретает новые подходы к решению

локальных проблем, превращая эти подходы в готовые шаблоны и методологии (в земледелии, скотоводстве, ремесле и войнах).

Рабовладельческий период. Появление феномена экономического излишка и порождаемая им интенсификация военного дела ведут к созданию крупных государственных образований, активно использующих труд пленных. В рабовладельческий период труд впервые становится в ярко выраженной форме принудительным. Квалификация большинства занятых в сельском хозяйстве падает, поскольку рабы используются на простых, рутинных операциях (Scheidel, 2005; Harper, 2011). В то же время происходит рост квалификации ремесленников и людей, посвятивших себя развитию науки и искусства. Деление на престижные и обыденные виды деятельности многократно возрастает. Творчество поощряется и развивается, в том числе за счет роста объема экономического излишка, создаваемого рабами.

Как мы уже отмечали ранее, рабовладельческий период характерен не для всех народов. Многие народы миновали этот строй, перейдя непосредственно от общинной экономики к феодализму. Однако именно рабский период наиболее ярко характеризует стратификацию, характерную для нового типа общественного устройства.

Феодальная экономика. При переходе к феодализму непосредственные производители приобретают права, но одновременно и множество обязанностей перед феодалом, церковью и общиной. Привилегированный класс также стратифицируется и выстраивается в вассальные иерархии. Важной характеристикой периода является появление средневековых городов — условные торговые центры, где крестьяне и ремесленники приобретают друг у друга необходимые им средства производства и предметы потребления, а представители привилегированных сословий — предметы военного дела и роскоши.

Труд ремесленников становится высококвалифицированным: требуются специальные знания и длительная подготовка (Chatterjee, 2020). Возрастает различие между престижными (война) и обыденными (сельское хозяйство) видами деятельности. Появляются профессии с большой долей творческой составляющей: философы, художники, архитекторы. Однако большая часть населения (крестьянство) занимается низкоквалифицированным рутинным физическим трудом.

Рыночная экономика

Институт рынка как эквивалентного встречного обмена благами возник еще во времена аграрной экономики. Однако именно в рыночной экономике ведущими производственными единицами становятся хозяйственные организации, производящие товары для обмена и ориентированные на получение прибыли, а не на непосредственное удовлетворение потребностей.

Мануфактурный период. Мануфактуры и активное использование технологии разделения труда являются одними из важнейших и определяющих характеристик периода. Мануфактура состоит из большого числа работников, причем каждый отвечает за выполнение одной простой операции, не требующей длительной подготовки и квалификации (Маркс, 2018). Это разделение труда повышает совокупную производительность труда, но обедняет содержание процесса труда и приводит к деквалификации работников. Престиж труда непосредственного производителя снижается. В то же время успешные владельцы мануфактур и купцы повышают свой социальный статус. Деление на творческие и рутинные виды деятельности сохраняется как в рамках поисков новых технологических и управленческих решений, так и в рамках профессий.

Фабричный период. Характеризуется рядом технологических революций. Главным источником производительности становится введение в производство новых источников энергии (Тофлер, 2010). Наука становится фактором производства, ее финансирование приобретает систематический характер. В этот период сохраняются многие тенденции мануфактурного периода — экономическое принуждение к труду, низкоквалифицированный наемный рабочий, снижение престижа производительного труда. При этом появляются новые виды квалифицированного труда в управлении и творческого труда в науке.

Корпоративный период. Это эпоха слияний и поглощений, появления крупных национальных (а затем и транснациональных) компаний, на которых работают сотни тысяч человек и которые производят огромные объемы продукции. Производство все больше алгоритмизируется. Возрастает внутренние транзакционные издержки. Увеличивается прослойка административно-управленческого персонала, которая стратифицируется на генераторов решений

(творческая деятельность) и исполнителей-контролеров (исполнителей рутин) — формируются крайние группы высоко- и низкоквалифицированных управленческих работников. Возникает феномен низкоквалифицированного умственного труда. Экономическое принуждение к труду ослабевает, за счет того что общество становится более социально-ориентированным. Появляются гарантии для безработных, низко-обеспеченных и нуждающихся граждан.

Экономика услуг. Вокруг производственных компаний начинает формироваться рыночная экосистема из обслуживающих их фирм и/или работников (Buera, Kaboski, 2009). Это способствует развитию экономики услуг, доля которой сначала становится равной, а затем и обгоняет долю промышленного и сельскохозяйственных секторов. Престижность деятельности на этой стадии определяется ее доходностью или социальной значимостью. Большая часть населения занимается наемным подконтрольным трудом. Услуги, требующие преимущественно физического труда (курьеры, обслуживающий персонал), можно отнести к рутинному труду низкой квалификации. Услуги, требующие умственного труда (консультанты, менеджеры, финансисты), относятся к квалифицированным видам деятельности с элементами творческого начала.

Современная экономика

Цифровая экономика. Развитие вычислительной техники, появление и распространение компьютеров приводит к цифровизации производства — его роботизации, автоматизации и появлению феномена компьютерного труда. Компьютеризация ведет к разделению работников на две страты: инноваторов и операторов. Для инноваторов повышаются требования к профессии — умение решать нестандартные задачи и создавать принципиально новые продукты. Труд операторов также становится связан с цифровыми технологиями, но имеет рутинный характер. Компьютеры обеспечивают инфраструктуру труда этих работников — связь и выполнение стандартизированных работ (Устюжанина, 2021; Rossi-Hansberg et al., 2019).

Престижность труда также определяется прибыльностью и социальной значимостью деятельности. Большая часть населения занимается подконтрольным наемным трудом, основанном на экономическом принуждении (Устюжанина, 2017). При этом появляются такие формы трудовой деятельности, как портфельная и проектная занятость, а также занятость по требованию, позволяющие снизить риски от наемного труда (Устюжанина и др., 2021). На этом этапе расслоение квалифицированного и неквалифицированного труда становится более жестким. Неквалифицированный труд проявляется в форме либо простого физического труда, либо труда операторов, обслуживающих компьютеры.

Творческие виды деятельности на этом этапе получают наиболее заметное развитие. Одним из престижных видов деятельности становится создание контента на сетевых социальных платформах.

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

Представленная периодизация позволяет выявить несколько закономерностей.

1. Начиная с периода варварства, все формы расслоения трудовых отношений явно проявляются на всем протяжении истории.

2. Развитие трудовых отношений имеет неоднаправленный характер. Доля свободного труда сначала демонстрирует тенденцию снижаться (увеличивается доля подневольного труда), а затем начинает повышаться. В то же время уровень различия между престижными и обыденными видами деятельности демонстрирует другую тенденцию — сначала увеличивается, а затем становится относительно стабильным.

3. Некоторые формы расслоения положительно связаны между собой (квалифицированный и творческий труд). В то же время, как мы уже отмечали, соотношения свободного и подневольного труда, с одной стороны, и престижных и обыденных видов деятельности, с другой, изменяются в разных направлениях.

4. Снижение доли квалифицированного и творческого труда, связанное с внедрением новых технологий. Это сначала проявляется в мануфактурный период (максимальное использование технологии разделения труда), а затем и в цифровой период (внедрение компьютерного труда, более жесткое разделение труда и его стандартизация/алгоритмизация). После мануфактурного периода происходит рост квалифицированного и творческого труда за счет адаптации и распространения

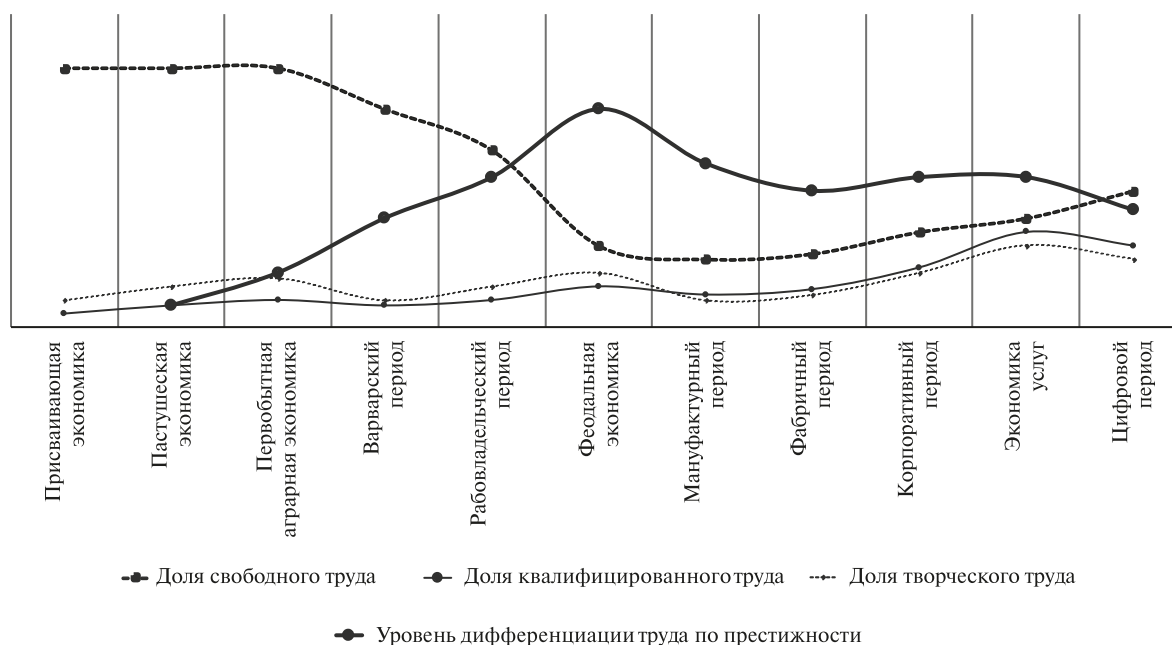


Рисунок. Характеристики трудовых отношений на различных этапах хозяйственного развития

технологий, появления новых профессий и новых видов организации бизнеса. Пока неясно, будет ли происходить похожий процесс во время цифрового периода.

Символическое представление выявленных закономерностей демонстрирует рисунок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного нами исследования были получены следующие результаты.

Предложен подход к периодизации истории через призму развития трудовых отношений. Выделены этапы развития экономической системы: дикость, общинная, сословная, рыночная и современная экономики, в рамках которых определены периоды развития, обладающие отличительными особенностями. Для каждого этапа и периода дана краткая характеристика его ключевых черт. Показано, каким образом проявляется каждая из базовых форм расслоения трудовых отношений в предложенной периодизации.

Проведенное исследование позволило выявить следующие закономерности развития трудовых отношений:

- 1) гипотеза исследования о волнообразном характере дифференциации труда, ее усилении и ослаблении в разные периоды развития, нашла свое подтверждение;
- 2) дифференциация труда в форме расслоения трудовых отношений проявляется на протяжении практически всей истории хозяйственной деятельности;
- 3) изменение характеристик трудовой деятельности имеет неоднонаправленный характер. Так, доля подневольного труда сначала постоянно растет, а затем стабилизируется, и даже начинает незначительно снижаться;
- 4) связи между различными параметрами трудовой деятельности имеют разнонаправленный характер. Если тенденции изменения доли квалифицированного и творческого труда совпадают, то соотношение свободного и подневольного труда, а также престижных и обыденных видов деятельности демонстрируют более сложные и противоречивые тенденции;
- 5) динамика доли творческого и квалифицированного труда отражает внедрение новых технологий. Они снижаются в мануфактурный период, в период массового внедрения технологии

разделения труда, но затем начинают увеличиваться вместе со значимостью научной и управленческой деятельности;

б) в периоды технологических революций дифференциация труда, как правило, возрастает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Белл Д. (2004). Грядущее постиндустриальное общество. Опыт социального прогнозирования. М.: Academia. [Bell D. (2004). *The coming of post-industrial society: A venture in social forecasting*. Moscow: Academia (in Russian).]
- Веблен Т. (2021). Теория праздного класса. М.: Neoclassic. [Veblen T. (2021). *The theory of the leisure class*. Moscow: Neoclassic (in Russian).]
- Илюшечкин В.П. (1996). Теория стадийного развития общества. М.: Восточная литература. [Ilyushechkin V.P. (1996). *Theory a society phased development*. Moscow: Vostochnaja Literatura (in Russian).]
- Кастельс М. (2000). Информационная эпоха: экономика, общество и культура. М.: Изд. дом ГУ ВШЭ. [Castels M. (2000). *The rise of the network society*. Moscow: Publ. House NRU HSE (in Russian).]
- Кобищанов Ю.М. (1992). Теория большой феодальной формации // *Вопросы истории*. Т. 4. № 5. С. 57–72. [Kobishanov Yu.M. (1992). Theory of great feudal formation. *Voprosy Istorii*, 4, 5, 57–72(in Russian).]
- Корякин В.В. (2020). К вопросу о сущности и основных особенностях первобытной экономики (эпоха неолита) // *Новые идеи в философии*. № 7. С. 103–113. [Koryakin V.V. (2020). On the essence and main features of the primitive economy (Neolithic epoch). *New Ideas in Philosophy*, 7, 103–113 (in Russian).]
- Маркс К. (2018). Капитал. СПб.: Лениздат. [Marx K. (2018). *Capital*. Saint Petersburg: Lenisdat (in Russian).]
- Семенов Ю.И. (2019). Политарный («азиатский») способ производства: сущность и место в истории человечества и России: философско-исторические очерки. Серия «Академия фундаментальных исследований: история». М.: Ленанд. [Semenov Yu.I. (2019). *Politar ('Asian') mode of production: Essence and place in history of mankind and Russia: Philosophic and historic essays*. Series: Academy of the fundamental researches: history. Moscow: Leland (in Russian).]
- Торфлер Э. (2010). Третья волна. Москва: АСТ. [Toffler A. (2010). *Third wave*. Moscow: AST (in Russian).]
- Тюрго А.Р. (1937). Избранные философские произведения. Москва: ГСЭИ. [Turgot J.R. (1937). *Selected works of philosophy*. Moscow: GSEI (in Russian).]
- Устюжанина Е.В., Евсюков С.Г., Сигарев А.В., Устюжанин В.Л. (2021). Трансформация рынка труда: влияние пандемии и прогнозы на будущее // *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*. № 1. С. 77–102. [Ustyuzhanina E.V., Evsukov S.G., Sigarev A.V., Ustyuzhanin V.L. (2021). Labour market transformation: Impact of the pandemic and future forecasts. *Moscow University Economics Bulletin*, 1, 77–102 (in Russian).]
- Устюжанина Е.В., Сигарев А.В., Шейн Р.А. (2017). Цифровая экономика как новая парадигма экономического развития // *Экономический анализ: теория и практика*. Т. 16. № 12. С. 2238–2253. [Ustjuzhanina E.V., Sigarev A.V., Shein R.A. (2018). Digital economics as a new paradigm of economic development. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 16, 12, 2238–2253. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-ekonomika-kak-novaya-paradigma-ekonomicheskogo-razvitiya-1/viewer> (in Russian).]
- Фергюссон А. (2000). Опыт истории гражданского общества. М.: РОССПЭН. [Fergusson A. (2000). *An essay on the history of civil society*. Moscow: ROSSPEN (in Russian).]
- Bentley J.H. (2017). *Traditions and encounters: A global perspective on the past*. N.Y.: McGraw-Hill Education.
- Buera F.J., Kaboski J.P. (2009). The rise of the service. *NBER. Working paper*, w14822.
- Chatterjee S. (2020). Postindustrialism and the long arts and crafts movement: Between Britain, India, and the United States of America. *British Art Studies*, 15. DOI: 10.17658/issn.2058–5462/issue-15
- Christian D. (2016). *Maps of time: An introduction to big history*. Berkeley: University of California Press.
- Harper K. (2011). *Slavery in the Late Roman World, AD275–425*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hsieh Ch.-T., Rossi-Hansberg E. (2019). The industrial revolution in services. *NBER. Working paper*, 25968.
- List F. (1841). *The national system of political economy*. London: Longmans, Green, and Company.
- Scheidel W. (2005). Human mobility in Roman Italy, II: The slave population. *Journal of Roman Studies*, 95, 64–79.

Tendencies of labor content changes at different stages of historical development

© 2022 I.O. Rudakov, E.V. Ustyuzhanina

I.O. Rudakov,

Plekhanov Russian University of Economics, Department of Economic theory, Moscow, Russia; e-mail: thefirstrudakov@gmail.com

E.V. Ustyuzhanina,

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

Received 27.06.2022

Abstract. The article investigates how the main characteristics of labor activity are manifested during different stages of historical development. The authors propose to classify labor activity by four labor relations layering directions: free and dependent labor, prestigious and ordinary types of activity, skilled and unskilled labor, creative and routine labor. The main approaches to history periodization were analyzed and presented on a unified time scale. Based on the analysis of existing approaches, a generalized approach to the history periodization is proposed. For each historical period the manifestation of labor relations layering directions is shown: how they are manifested, how this manifestation changes from period to period, how labor activity is distributed within these characteristics. The visualization of how the labor relations layering directions manifest themselves at different historical stages of the proposed periodization is presented. The conclusion is made that the differentiation of labor has a wave-like character; the identified labor relations layering directions and are manifested practically at all periods of history of economic activity, they change in different directions and interrelated with each other; creative and skilled labor relations layering types reflect the process of new technologies introduction; labor differentiation increases during the periods of technological revolutions.

Keywords: economic activity, labor relations, differentiation of labor, free and forced labor, prestigious and mundane activities, creative and routine labor, skilled and unskilled labor, labor relations layering.

JEL Classification: A13, N30, J01.

For reference: **Rudakov I.O., Ustyuzhanina E.V.** (2022). Tendencies of labor content changes at different stages of historical development. *Economics and Mathematical Methods*, 58, 4, 5–16. DOI: 10.31857/S042473880023014-4

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Исследование зависимости между уровнями общественного доверия и коррупции: топологическая модель и статистические методы

© 2022 Н.Е. Егорова, А.В. Горлов

Н.Е. Егорова,
ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: nyegorova@mail.ru

А.В. Горлов,
ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: alessandro_diloretto@mail.ru

Поступила в редакцию 01.09.2022

Аннотация. В статье анализируются понятия «доверие» и «коррупционность общества» и исследуется взаимозависимость между ними с использованием международных индексов Edelman Trust Barometer (*ETB*) и Corruption Perceptions Index (*CPI*). Методами исследования являются: 1) предложенная авторами топологическая модель, построенная на усредненных значениях этих индексов; 2) корреляционный и регрессионный анализ; 3) интервальный метод (изучение зависимости на выбранных диапазонах усредненных значений *ETB* и *CPI*). Топологическая модель использует данные о значениях этих индексов для 28 стран и разработана в двух вариантах для временных периодов (2011–2021) и (2013–2019). В обоих случаях модель дает схожую картину размещения точек на координатной плоскости, что свидетельствует об устойчивости результатов. Сопоставление эмпирических данных на рассматриваемых периодах времени позволило выявить страны с относительно стабильным соотношением индексов *ETB* и *CPI* (Германия, Индонезия, Канада, Колумбия, Франция) и страны, где это соотношение заметно меняется (Австралия, Аргентина, Бразилия, Гонконг, Италия, Нидерланды). Осуществлен анализ топологической модели, на основе которого выявлены зоны низкого, среднего и высокого уровня коррупции, с характерным специфическим типом взаимосвязи между индексами *ETB* и *CPI*. Приблизительно определен общий вид зависимости уровня доверия от коррупции в виде горизонтальной S-образной кривой. Выполнен регрессионный анализ на базе динамических рядов для 28 стран. Для отдельных стран (Нидерландов, Швеции и Японии) получены статистически значимые уравнения линейной регрессии, отражающие взаимосвязь между рассматриваемыми экономическими категориями. Сделан вывод о существенной нелинейности исследуемой зависимости, о чем свидетельствует как визуальный анализ топологической модели, так и результаты регрессионного анализа, проведенного для выбранных интервалов изменения средних значений индексов *ETB* и *CPI*.

Ключевые слова: индекс доверия, индекс восприятия коррупции, топологическая модель, масштабы коррупции, регрессионный анализ, статистические критерии.

Классификация JEL: C02, C51, D73.

Для цитирования: Егорова Н.Е., Горлов А.В. (2022). Исследование зависимости между уровнями общественного доверия и коррупции: топологическая модель и статистические методы // Экономика и математические методы. Т. 58. № 4. С. 17–28. DOI: 10.31857/S042473880023015-5

1. ВВЕДЕНИЕ

Категории «общественное доверие» и «коррупция» принадлежат к числу наиболее обсуждаемых в научной литературе. Однако вопросы, касающиеся взаимосвязи между ними, остаются дискуссионными. Принято считать, что в странах с низким уровнем развития коррупционных отношений наблюдается более высокий уровень общественного доверия. И наоборот: при высокой коррупционной составляющей уровень общественного доверия ниже. В то же время имеется ряд примеров, когда такое соотношение не соблюдается. Так, относительно высокие масштабы коррупции (традиционные, например, для ряда стран Юго-Восточной Азии) часто сопровождаются высоким уровнем доверительных отношений, что обусловлено сложившимися в этих государствах культурно-историческими традициями: коррупционная составляющая, присутствующая в осуществляемых транзакциях, является в этих случаях институциональной нормой.

Это же касается и динамического аспекта данного вопроса: тренды, наблюдающиеся при изменении рассматриваемых категорий, зачастую бывают противоречивыми. В частности, излишний

рост доверительности отношений может сопровождаться не ожидаемым падающим трендом уровня коррупции, а приводить к росту масштабов этого явления ввиду снижения уровня общественного контроля.

Очевидно, что рассматриваемые экономические феномены взаимообусловлены и характеризуются наличием сложной системы прямых и обратных связей.

В статье рассматривается гипотеза о нелинейном характере зависимости между уровнем общественного доверия и масштабами коррупции; осуществляется проверка гипотезы на наличие эмпирических данных; выявляются особенности поведения этой функции на отдельных участках в области ее определения.

2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Аналитический обзор научных работ, посвященных исследованию категорий общественного доверия и коррумпированности социально-экономической деятельности, свидетельствует о наличии ряда нерешенных проблем.

Во-первых, в большинстве публикаций и доверительные, и коррупционные отношения, как правило, рассматриваются изолированно, т.е. без учета взаимной связи данных общественных явлений. Между тем рассматриваемые феномены, как уже указывалось, связаны, и система их взаимосвязей сложна и нелинейна. Имеющаяся в разработках ниша делает актуальным исследование именно аспекта взаимной связи данных общественных феноменов.

Во-вторых, проблемы измерения уровней общественного доверия и масштабов коррупции, и в особенности количественной оценки тесноты взаимосвязи между ними, относятся к числу наименее разработанных.

Понятия доверия и коррумпированности входят в круг категорий, наиболее часто изучаемых в рамках неинституционального направления экономической науки.

«Доверие» представляет собой сложное и многогранное понятие, для которого пока не существует единого определения. Термин «*доверие*» был впервые введен в 1964 г. экономистом и филологом Ф. Фукуямой, который обозначил его в своих работах «как ожидание того, что члены данного сообщества будут вести себя нормально и честно, проявляя готовность к взаимопомощи в соответствии с общепризнанными нормами» (Фукуяма, 2004). Важность этого феномена как фактора экономического роста отмечена лауреатами Нобелевской премии Дж.Ю. Стиглицем (Стиглиц, 2005) и К. Эрроу (Arrow, 1972). В настоящее время данный феномен активно исследуется большим числом ученых: (Д.А. Авдеевой, А.В. Беляниным, Ю.Л. Веселовым, И.В. Глушко (Глушко, 2016), В.Е. Дементьевым (Дементьев, 2004), В.П. Зинченко, А.Б. Купрейченко, А.К. Ляско (Ляско, 2003, 2019), Б.З. Мильнером, В.Л. Тамбовцевым, А.Н. Татарко, Дж. Акерлофом, С. Кови, Б. Шо и др.

Коррумпированность общества означает подверженность (склонность) экономических субъектов коррупции, под которой обычно понимается использование должностным лицом возможностей и связей в целях личной выгоды и противоречащее законодательству и моральным установкам. Этимологически этот термин восходит к латинским словам *corrumpere* (растлевать) и *corruptio* (подкуп, продажность, порча, разложение)¹.

Анализ данной экономической категории производится в трудах многих российских исследователей (Сатаров, 2007; Нисневич, Стукал, 2012; Мысловский, 2007; Быкова, 2012; Руденко, 2017; Яковлев, 1999; Балог, 2015; Балог, Троян, 2016; Буров, 2011; Гуров, 2006; Елисеева, Бурова, 2001; Попов, Тарасов, 2005; Суворов, Балаев, 2011; и др.).

Если общественное доверие рассматривается обычно как позитивный фактор, содействующий интенсивности осуществляемых в бизнесе транзакций и обеспечивающий экономический рост (Arrow, 1972), то коррумпированность считается негативным фактором, тормозящим экономику. Однако не все так однозначно. Коррупция может выполнять в различных системах управления как замещающие, так и стимулирующие функции. В частности, в ряде случаев коррупционные механизмы являются своеобразными драйверами принятия важных решений и могут компенсировать отсутствие адекватных легитимных экономических механизмов. В тех случаях, когда решение принимается в неэффективно действующей управленческой структуре, коррупция выполняет

¹ Определение коррупции см.: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Коррупция>

стимулирующие функции, играя роль смазки в целях более эффективной работы бюрократического аппарата (Полтерович, 1998).

Важным вопросом является количественное измерение рассматриваемых категорий доверия и коррупции. В настоящее время разработан комплекс методов, необходимых для количественного измерения уровня доверия экономических субъектов различных иерархий, обзор которых содержится в работах (Егорова, Королева, 2020; Егорова, Смулов, Королева, 2021). Различные подходы к количественной оценке текущего и ожидаемого уровней доверия между экономическими агентами широко представлены в трудах современных отечественных и зарубежных авторов: А.Б. Аюрзанайн, В.В. Позняков, Д.А. Ерошин, С.В. Ефимова, П.В. Жаворонков, Д.М. Сафина, А.Н. Таттарко, П. Дж. Зак, Д.Х. Ибрагимова, А.Л. Журавлев, Ф. Кифер, Е.В. Марушкина, И.А. Николаев, К. Ньютон, С. Нэк, Р. Ла Порте, Ф. Рут, Дж.Ф. Хеливелл и др.

На макроуровне для количественной оценки общественного доверия обычно используются два международных индекса — WVS (World Values Survey) и ETB (Edelman Trust Barometer).

Наиболее часто применяется индекс ETB, который и выбран для дальнейшего исследования. Этот индекс ежегодно составляется независимой коммуникационной фирмой Edelman и официально публикуется с 2000 г. в соответствующих отчетах². Исследование доверия и надежности базируется на основе опросов респондентов различных социальных групп и слоев общества.

Для оценки развития в обществе коррупционных отношений применяется индекс восприятия коррупции (Corruption Perceptions Index, CPI) — показатель, ежегодно составляемый с 1995 г. международной неправительственной организацией «Transparency International» и отражающий уровень восприятия коррупции аналитиками и предпринимателями по 100-балльной шкале. Расчет индекса основывается на методе анкетирования и обработки ответов, полученных в процессе нескольких независимых опросов и выявляющих влияние коррупционных воздействий на бизнес и социальную деятельность. При этом в качестве респондентов участвуют международные финансовые и правовые эксперты. По содержанию и методике построения индекс восприятия коррупции является обратным по отношению к масштабам развития коррупционных отношений в конкретной стране и представляет собой оценку от 0 (максимальный уровень коррупции) до 100 (отсутствие коррупции)³.

3. ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОСВЯЗИ ДОВЕРИЯ И КОРРУПЦИИ

Для анализа взаимосвязи между уровнем доверия и коррумпированности общества авторами предложена топологическая модель, в которой связи между объектами или исследуемыми признаками отображаются в виде *координатных данных*.

Модель представлена множеством точек (x, y) , где x и y получены в результате обработки статистических временных рядов индексов ETB и CPI как средних значений для рассматриваемого временного периода по 28 странам. При этом средние значения CPI формируют величину x на оси абсцисс; а средние значения ETB — величину y на оси ординат. Данная топологическая модель позволяет визуализировать зависимость $y = f(x)$ и оценивать гипотезу о нелинейности имеющихся связей между уровнями доверия и коррупции.

В ходе исследования были построены два варианта топологической модели: 1) основной (для периода 2011–2021 гг.); 2) малый (для периода 2013–2019 гг.), которые представлены на рис. 1. Далее в работе используется преимущественно основной вариант как наиболее репрезентативный. Эмпирические данные для основного и малого вариантов топологической модели приведены в табл. 1. Несмотря на разницу в охвате периода времени (11 лет и 7 лет), оба варианта модели дают схожую картину, что свидетельствует об устойчивости полученных результатов⁴. Сопоставление основного и малого вариантов топологической модели позволяет выявить некоторые тенденции в динамике исследуемых процессов. Наиболее существенное смещение в положении на

² Официальный сайт компании «Edelman» (<https://www.edelman.com/trustbarometer>).

³ Определение индекса восприятия коррупции см.: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_стран_по_индексу_восприятия_коррупции

⁴ Результаты анализа малого варианта топологической модели более детально представлены в работе (Егорова, Королева, Горлов, 2020).

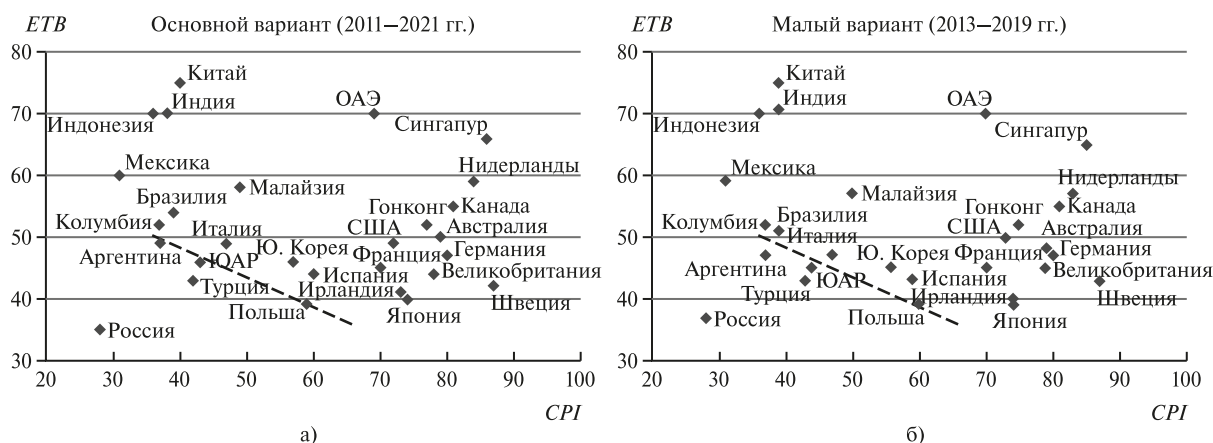


Рис. 1. Топологическая модель: средние значения уровня доверия (*ETB*) и индекса восприятия коррупции (*CPI*) по странам: а) основной вариант; б) малый вариант

Источник: составлено авторами по данным сайтов компаний “Edelman” и “Transparency International”.

Таблица 1. Эмпирические данные для построения топологической модели: средние значения индексов *ETB* и *CPI*

Страна	2011–2021 гг.		2013–2019 гг.	
	<i>ETB</i>	<i>CPI</i>	<i>ETB</i>	<i>CPI</i>
Австралия	50	79	48	79
Аргентина	49	37	47	37
Бразилия	54	39	51	39
Великобритания	44	78	45	79
Германия	47	80	47	80
Гонконг	52	77	52	75
Индия	70	38	71	39
Индонезия	70	36	70	36
Ирландия	41	73	40	74
Испания	44	60	43	59
Италия	49	47	47	47
Канада	55	81	55	81
Китай	75	40	75	39
Колумбия	52	37	52	37
Малайзия	58	49	57	50
Мексика	60	31	59	31
Нидерланды	59	84	57	83
ОАЭ	70	69	70	70
Польша	39	59	39	60
Россия	35	28	37	28
Сингапур	66	86	65	85

Окончание таблицы 1.

Страна	2011–2021 гг.		2013–2019 гг.	
	<i>ETB</i>	<i>CPI</i>	<i>ETB</i>	<i>CPI</i>
США	49	72	50	73
Турция	43	42	43	43
Франция	45	70	45	70
Швеция	42	87	43	87
ЮАР	46	43	45	44
Южная Корея	46	57	45	56
Япония	40	74	39	74

Источник: составлено авторами по данным сайтов компаний “Edelman” и “Transparency International”.

Таблица 2. Страны, имеющие наибольшее смещение на координатной плоскости при сравнении основного и малого вариантов топологической модели (отдельно для индексов *ETB* и *CPI*)

Изменение уровня коррупции		Изменение уровня доверия	
Страна	$ \Delta x = \Delta CPI $	Страна	$ \Delta y = \Delta ETB $
Гонконг	2	Бразилия	3
Испания	1	Нидерланды	3
Южная Корея	1	Италия	2
Сингапур	1	Аргентина	2
Китай	1	Австралия	2

Источник: составлено авторами по данным табл. 1.

координатной плоскости приходится на относительно небольшое число стран, представленных в табл. 1, что свидетельствует об активности происходящих в них трансформаций, влияющих на уровень доверия и коррупции (пандемия, экономические санкции, внешнеэкономическая политика, борьба с коррупцией). К числу таких стран относятся: Аргентина (рост уровня доверия), Малайзия (снижение уровня доверия), Нидерланды (рост уровня доверия, снижение масштабов коррупции), Россия (рост уровня доверия) и т.д. В табл. 2 представлены данные о пяти странах с наиболее высоким по модулю изменением индексов *ETB* и *CPI* ($|\Delta ETB|$ и $|\Delta CPI|$).

В соответствии с данными табл. 1–2 значениями, индикатор *CPI* подвержен меньшей динамике, чем *ETB*, что свидетельствует о большей инерционности коррупционной составляющей и о сложности ее преодоления. В то же время на рис. 1 имеются стационарные точки, не изменяющие своего положения на координатной плоскости, которые соответствуют странам: Германия, Индонезия, Канада, Колумбия, Франция.

Визуальный анализ обоих вариантов топологической модели позволяет сделать следующие выводы.

1. Полученное множество точек представляет собой некое «облако», имеющее небольшой отрицательный наклон к оси абсцисс, а также выраженную нижнюю границу, где происходит их сгущение. В левой части облака находятся «проблемные» страны с наиболее высоким уровнем коррумпированности экономики (Аргентина, Бразилия, Индия, Индонезия, Китай, Колумбия, Мексика, Россия и др.). В правой части — государства, где коррупционная компонента играет значительно меньшую роль (Германия, Канада, Нидерланды, Сингапур и др.).

2. Нижняя граница облака, наблюдающаяся в диапазоне значений $CPI \approx 40–80$, может рассматриваться как аттрактор наиболее часто наблюдаемых значений уровня доверия: индекс *ETB* составляет $\approx 40–50$ (на рис. 1 эта граница отмечена пунктирной линией).

3. Конфигурация облака подтверждает нелинейный характер функции $y = f(x)$ и наличие зон, где эта функция предположительно изменяет свою производную. На полученном множестве точек можно выделить три зоны, где происходит смена тренда функции y , которые характеризуются диапазонами с низкими, средними и высокими значениями CPI .

Так, для основного варианта топологической модели наблюдается следующая картина. В *первой зоне* ($CPI \approx 20-40$) со странами Россия — Мексика — Аргентина — Колумбия — Бразилия — Мексика — Индонезия — Индия — Китай при снижении уровня коррумпированности растет уровень доверия. Причем в отдельных странах этой зоны (государства Юго-Восточной Азии — Китай, Индия, Индонезия) достаточно высокий уровень коррупции сосуществует с очень высоким уровнем доверия, что, по-видимому, связано с культурно-историческими традициями и менталитетом населения.

Такой же тренд функции y наблюдается и в *зоне с высоким значением $CPI > 70$* : Япония — Ирландия — Швеция — Великобритания — Франция — Германия — США — Австралия — Гонконг — Канада — Нидерланды — Сингапур. Для этих стран характерна наиболее благоприятная ситуация: низкий уровень коррупции сочетается с высоким уровнем доверия, растущим при снижении коррупционной компоненты.

В *зоне средних значений ($CPI \approx 40-70$)* имеется обратная тенденция: снижение уровня доверия сопровождается уменьшением уровня коррупции. Такая связь может быть интерпретирована как результат действия антикоррупционных программ, в результате чего повышаются общественные требования к транспарентности производимых экономическими агентами транзакций, возрастает значимость аудита и контроля в предпринимательской деятельности, а также роль судебно-юридических процедур, которые замещают практику доверительных отношений. Иными словами, в этом случае снижение уровня общественного доверия может выступать как инструмент борьбы с коррупционной деятельностью.

Таким образом, анализ топологических моделей, представленных на рис. 1, опровергает представление о том, что высокий уровень доверия всегда связан с низким уровнем коррупции и растет вместе с ее снижением. Данное утверждение справедливо лишь для определенных интервалов области определения функции y . Высокий уровень доверия может сочетаться с высоким уровнем коррупции, а само доверие может выступать как инструмент для регулирования коррупционной составляющей и ее снижения.

4. На множестве точек (x, y) , представляющих топологическую модель в ее обоих вариантах, выделяются периферийные точки, не соответствующие общему порядку на координатной плоскости размещенных точек. Так, для основного варианта топологической модели эти точки соответствуют трем странам-аутсайдерам:



Рис. 2. Топологическая модель: средние значения уровня доверия (ETB) и индекса восприятия коррупции (CPI) для основного варианта (2011–2021 гг.) без включения стран-аутсайдеров

Источник: составлено авторами по данным сайтов компаний “Edelman” и “Transparency International”.

— России (чрезвычайно низкий уровень доверия при высокой коррупции);

— Швеции (сочетание очень низкого уровня доверия при наиболее низких значениях коррупционной составляющей);

— Объединенным Арабским Эмиратам (очень высокая степень доверия при среднем уровне коррупции).

При исключении этих точек из рассмотрения выявляется общая закономерность в расположении точек на координатной оси. Приблизительно вид функции y может быть описан горизонтальной по отношению к оси абсцисс «лежащей» S-образной кривой, различные участки которой могут быть интерполированы некоторыми нелинейными функциями; однако этот вопрос требует специального рассмотрения (рис. 2).

4. ИНТЕРВАЛЬНЫЙ МЕТОД

Для выявления особенностей поведения функции $y = f(x)$ на отдельных участках области ее определения использован интервальный метод. Его специфика в данном случае состоит в том, что диапазоны изменения переменных задаются не только по оси абсцисс (для x), но и для оси ординат (для y). Таким образом, формируются диапазонные коридоры, пересечение которых дает подмножество изучаемых точек (x, y) , принадлежащее топологической модели, представленной на рис. 2. Этот метод (далее — метод диапазонных коридоров, МДК) позволяет отсекают крайние значения индексов CPI и ETB и более четко выявлять тренды их изменения. При сужении диапазонов МДК дает уточнение поведения функции $y = f(x)$ в ее средней зоне (нижней части границы «облака», помеченной пунктиром на рис. 1а), что представляет особый интерес.

В целях удобства интерпретации результатов в работе введен индекс масштаба коррупции (индекс CI), сформированный на базе индекса CPI . Соотношение между этими индексами:

$$CI = 100 - CPI, \quad (1)$$

где CI — индекс масштабов коррупции; CPI — индекс восприятия коррупции. То есть предполагалось, что

$$y = f(\tilde{x}), \quad (2)$$

где $\tilde{x} = CI$.

Применение МДК позволило получить следующие варианты.

Вариант 1 ($ETB \approx 30-50$, $CI \approx 20-75$) включал 15 стран: Австралия, Аргентина, Великобритания, Германия, Ирландия, Испания, Италия, Польша, Россия, США, Турция, Франция, ЮАР, Южная Корея и Япония.

Вариант 2 ($ETB \approx 30-60$, $CI \approx 30-70$) — 12 стран: Аргентина, Бразилия, Испания, Италия, Колумбия, Малайзия, Мексика, Польша, Турция, Франция, ЮАР и Южная Корея.

Вариант 3 ($ETB \approx 30-50$, $CPI \approx 30-70$) — восемь стран: Аргентина, Испания, Италия, Польша, Турция, Франция, ЮАР и Южная Корея.

Далее с учетом сделанных предпосылок методом линейной регрессии выявляется общий тренд функции $y = f(x)$ для вариантов 1–3.

Результаты регрессионного анализа, характеризующего чувствительность уровня доверия к изменению индекса коррупции в группе стран по каждому варианту, приведены в табл. 3.

Согласно полученным данным регрессионные модели имеют слабые статистические характеристики: низкие значения коэффициента детерминации (для модели первого варианта этот показатель близок к 0) и F-критерия Фишера опровергают гипотезу о качестве и надежности регрессий. Величины t -статистик Стьюдента и их доверительные табличные интервалы для каждого показателя также свидетельствуют о недостаточной надежности уравнений⁵. Возможно, такое обстоя-

Таблица 3. Оценка параметров регрессионных моделей по вариантам 1, 2 и 3

Вариант	Регрессионная модель	Коэффициент детерминации	Статистика Фишера	t -статистика	
				t_1	t_2
1	$y = 46,6 - 0,05\tilde{x}$	0,04618	0,62933	15,7270 (0,00000)	-0,79331 (0,44184)
2	$y = 31,4 + 0,33\tilde{x}$	0,36401	5,72352	4,21663 (0,00178)	2,39239 (0,03780)
3	$y = 39,1 + 0,12\tilde{x}$	0,15666	1,11459	6,73239 (0,00052)	1,05574 (0,33173)

Примечание. В скобках приведены доверительные интервалы для t -статистик Стьюдента.

Источник: составлено авторами.

⁵ При оценке результатов учитывалась также величина коэффициента детерминации: чем ближе значение коэффициента к 1, тем сильнее зависимость. Для приемлемых моделей коэффициент детерминации должен быть не меньше 50%; модели с коэффициентом детерминации выше 70% считаются достаточно хорошими.

тельство обусловлено небольшим числом наблюдений, поскольку по вариантам рассматривалось ограниченное число стран.

В целом итоги данного этапа исследований могут быть объяснены особенностями МДК, который позволяет получить хорошие результаты при больших выборках и при отсутствии большого разброса данных. В противном случае (как это было в данном эксперименте) он отсекает значительную часть информации и сужает возможности получения статистически значимых зависимостей.

5. КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПО СТРАНАМ

Результаты корреляционного анализа, выполненного на основе имеющихся динамических рядов индексов *ЕТВ* и *СРІ* по 28 странам за период 2011–2021 гг., представлены в табл. 4. Исследование осуществлялось с использованием коэффициентов ранговой корреляции Спирмена, которые позволяют выявлять статистическую взаимосвязь рассматриваемых случайных величин. Отрицательные значения этих коэффициентов свидетельствуют о наличии отрицательной связи между исследуемыми переменными: с уменьшением коррупционной составляющей в этих странах происходит рост доверия.

Полученные коэффициенты свидетельствуют, что:

– низкая степень взаимосвязи либо ее отсутствие (от 0 до 0,5) между уровнем доверия и индексом коррупции характерна для Австралии, ОАЭ, ЮАР, стран Южной Америки (Бразилия, Колумбия), а также большинства государств Европы (Великобритания, Германия, Ирландия, Испания, Италия, Польша, Россия, Франция), регионов Восточной (Гонконг, Китай, Южная Корея) и Юго-Восточной Азии (Индонезия, Малайзия, Сингапур), стран Североамериканского континента (Канада, Мексика, США);

Таблица 4. Степень связи уровня доверия с индексом коррупции

Страна	Корреляция между <i>ЕТВ</i> и <i>СІ</i>	Страна	Корреляция между <i>ЕТВ</i> и <i>СІ</i>
Австралия	–0,113492	Малайзия	–0,346248
Аргентина	0,519443	Мексика	–0,396445
Бразилия	–0,206568	Нидерланды	–0,827352
Великобритания	0,249556	ОАЭ	0,016239
Германия	0,450693	Польша	–0,065218
Гонконг	–0,109190	Россия	0,306978
Индия	–0,664535	Сингапур	–0,182467
Индонезия	–0,262310	США	–0,350091
Ирландия	0,058645	Турция	0,586464
Испания	0,365038	Франция	0,425725
Италия	0,392558	Швеция	–0,738794
Канада	0,017854	ЮАР	0,014389
Китай	0,096073	Южная Корея	–0,242896
Колумбия	0,358886	Япония	–0,810857

Примечание. Полужирным шрифтом отмечены страны с наиболее высоким по абсолютной величине коэффициентом корреляции.

Источник: составлено авторами.

— средняя и высокая степени (от 0,5 до 0,9) взаимосвязей доверия и коррупции наблюдаются у государств Южной Америки (Аргентина), некоторых представителей Европейского континента (Нидерланды, Турция, Швеция) и стран Юго-Восточной Азии (Индия, Япония).

Поскольку в группы государств с низким и высоким уровнем статистической связи попали как *благополучные*, так и *неблагополучные* в экономическом и политическом отношении страны, можно сделать вывод о том, что данные факторы *благополучия* не играют важной роли в формировании изучаемой статистической связи и уровне ее тесноты.

Особый интерес представляет внутривыборочный регрессионный анализ для каждой из 28 стран, которому посвящен следующий этап исследования.

6. РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ПО СТРАНАМ

Результаты регрессионного анализа приведены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты регрессионного анализа и оценка параметров регрессионных моделей

Страна	Регрессионная модель	Коэффициент детерминации	Статистика Фишера	t-статистика	
				t1	t2
Австралия	$y = 53,2 - 0,16\bar{x}$	0,01288	0,11744	5,46899 (0,00040)	-0,34269 (0,73970)
Аргентина	$y = 10,8 + 0,61\bar{x}$	0,26982	3,32574	0,50926 (0,62282)	1,82366 (0,10151)
Бразилия	$y = 97,1 - 0,71\bar{x}$	0,04267	0,40115	1,42109 (0,18900)	-0,63336 (0,54225)
Великобритания	$y = 33,3 + 0,49\bar{x}$	0,06228	0,59773	2,42088 (0,03856)	0,77313 (0,45927)
Германия	$y = -13,1 + 2,97\bar{x}$	0,20313	2,29411	-0,33257 (0,74708)	1,51463 (0,16417)
Гонконг	$y = 60,6 - 0,37\bar{x}$	0,01192	0,10860	2,29804 (0,04715)	-0,32954 (0,74929)
Индия	$y = 167 - 1,57\bar{x}$	0,44161	7,11769	4,60912 (0,00127)	-2,66790 (0,02571)
Индонезия	$y = 98,9 - 0,45\bar{x}$	0,06881	0,66502	2,77728 (0,02150)	-0,81549 (0,43584)
Ирландия	$y = 37,5 + 0,14\bar{x}$	0,00344	0,03106	1,74982 (0,11408)	0,17624 (0,86401)
Испания	$y = 20,1 + 0,59\bar{x}$	0,13325	1,38365	0,99483 (0,34581)	1,17629 (0,26966)
Италия	$y = 33,1 + 0,31\bar{x}$	0,15410	1,63958	2,59840 (0,02881)	1,28046 (0,23240)
Канада	$y = 54,8 + 0,02\bar{x}$	0,00032	0,00287	7,52008 (0,00004)	0,05357 (0,95845)
Китай	$y = 66,2 + 0,15\bar{x}$	0,00923	0,08385	2,05684 (0,06984)	0,28956 (0,77871)
Колумбия	$y = 6,44 + 0,73\bar{x}$	0,12880	1,33056	0,16172 (0,87510)	1,15350 (0,27842)
Малайзия	$y = 94,9 - 0,72\bar{x}$	0,11989	1,22597	2,84345 (0,01929)	-1,10723 (0,29691)
Мексика	$y = 114 - 0,79\bar{x}$	0,15717	1,67829	2,73781 (0,02293)	-1,29549 (0,22739)
Нидерланды	$y = 95,1 - 2,18\bar{x}$	0,68451	19,5271	11,5834 (1,03983)	-4,41895 (0,00167)
ОАЭ	$y = 67,9 + 0,07\bar{x}$	0,00026	0,00237	1,55294 (0,15486)	0,04872 (0,96220)
Польша	$y = 46,1 - 0,18\bar{x}$	0,00425	0,03844	1,24328 (0,24518)	-0,19607 (0,84891)

Окончание таблицы 5.

Страна	Регрессионная модель	Коэффициент детерминации	Статистика Фишера	<i>t</i> -статистика	
				<i>t</i> ₁	<i>t</i> ₂
Россия	$y = -32,1 + 0,94\tilde{x}$	0,09424	0,93636	-0,46020 (0,65629)	0,96766 (0,35850)
Сингапур	$y = 71,8 - 0,43\tilde{x}$	0,03329	0,30997	6,41239 (0,00012)	-0,55675 (0,59127)
США	$y = 63,7 - 0,52\tilde{x}$	0,12256	1,25715	4,83045 (0,00093)	-1,12123 (0,29121)
Турция	$y = 18,5 + 0,42\tilde{x}$	0,34394	4,71826	1,66327 (0,13062)	2,17215 (0,05791)
Франция	$y = -10,1 + 1,84\tilde{x}$	0,18124	1,99226	-0,25602 (0,80369)	1,411474 (0,19173)
Швеция	$y = 71,9 - 2,29\tilde{x}$	0,54582	10,8158	7,83154 (0,00003)	-3,28874 (0,00940)
ЮАР	$y = 43,2 + 0,04\tilde{x}$	0,00021	0,00186	0,75678 (0,46853)	0,043171 (0,96651)
Южная Корея	$y = 61,5 - 0,35\tilde{x}$	0,05900	0,56428	3,02961 (0,01426)	-0,75118 (0,47173)
Япония	$y = 85,1 - 1,75\tilde{x}$	0,65749	17,2765	7,79688 (0,00003)	-4,15650 (0,00246)

Примечание. В скобках приведены доверительные интервалы для *t*-статистик Стьюдента.

Источник: составлено авторами.

Анализ представленных в табл. 5 данных свидетельствует о том, что наиболее приемлемые величины коэффициента детерминации зафиксированы у регрессионных моделей, построенных для Нидерландов, Швеции и Японии. На оценку качества и надежности данных моделей указывают и достаточно высокие значения *F*-критерия Фишера. Таким образом, указанные страны относятся к группе, имеющей низкий уровень коррупционной составляющей, и находятся в правой части топологической модели, отображенной на рис. 1а в зоне, где со снижением уровня коррупции происходит рост уровня доверия.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Топологическая модель, характеризующая взаимосвязь между уровнем доверия и коррупционностью общества на основе международных индексов *ETB* и *CPI*, рассчитанных для 28 стран и построенная для различных интервалов времени (2011–2021 гг.) и (2013–2019 гг.), дает в обоих случаях схожую картину размещения точек на координатной плоскости, что свидетельствует об устойчивости результатов. Выявлены страны с относительно стабильным соотношением рассматриваемых индексов (Германия, Индонезия, Канада, Колумбия, Франция) и страны, где это соотношение существенно меняется (Австралия, Аргентина, Бразилия, Гонконг, Италия, Нидерланды).

2. Анализ топологической модели свидетельствует о наличии зон низкого, среднего и высокого уровня коррупции, для которых тип связи между рассматриваемыми переменными и характеризующий соотношение между индексами значительно различается. В целом общая картина размещения на плоскости точек, определяющих положение различных стран в выбранных координатах, приближается к горизонтальной S-образной кривой.

3. Функция $y = f(x)$ существенно нелинейна. Об этом свидетельствует как визуальный анализ расположения точек на плоскости, так и отсутствие статистически значимого результата при применении методов диапазонных коридоров и линейных регрессий для анализа отдельных зон кривой $y = f(x)$.

4. Анализ динамических рядов на интервале (2011–2021 гг.) позволил получить для ряда стран (Нидерланды, Швеция и Япония) статистически значимые линейные регрессии, отражающие зависимость уровня доверия от масштабов коррупции.

5. Дальнейшее исследование зависимости $y = f(x)$ следует проводить на основе привлечения нелинейных функций, а также использования репрезентативных данных, которые могут быть получены как за счет увеличения длины временных рядов, так и посредством расширения перечня стран, для которых рассчитываются индексы доверия *ETB* и восприятия коррупции *CPI*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Балог М.М.** (2015). Измерение коррупции: проблемы и основные подходы // *Вестник Псковского государственного университета. Серия «Экономика, право и управление»*. № 2. С. 75–80. [Balog M.M. (2015). Measuring of corruption: Problems and main approaches. *Bulletin of the Pskov State University. Ser. «Economics, Law and Management»*, 2, 75–80 (in Russian).]
- Балог М.М., Троян В.В.** (2016). Основные подходы в вопросах определения и измерения коррупции // *ЭТАП: Экономическая Теория, Анализ, Практика*. № 2. С. 53–65. [Balog M.M., Troyan V.V. (2016). Basic approaches to the definition and measurement of corruption. *ETAP: Economic Theory, Analysis, Practice*, 2, 53–65 (in Russian).]
- Буров В.Ю.** (2011). Существующие проблемы изучения теневой экономики // *Известия Иркутской государственной экономической академии*. № 3. С. 1–8. [Burov V.Yu. (2011). Existing problems of studying the shadow economy. *News of the Irkutsk State Economic Academy*, 3, 1–8 (in Russian).]
- Быкова В.А.** (2012). Методики измерения коррупции // *Отечественные записки*. № 2 (47). [Bykova V.A. (2012). Methods for measuring corruption. *Domestic Notes*, 2 (47) (in Russian).]
- Глушко И.В.** (2016). Доверие и недоверие как социальные практики российского общества. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью «Фонд науки и образования». 280 с. [Glushko I.V. (2016). *Trust and distrust as social practices of Russian society*. Rostov-on-Don: Fund of Science and Education (in Russian).]
- Гуров М.П.** (2006). Теневая экономика и экономические преступления в современной России // *Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России*. № 4 (32). С. 300–308. [Gurov M.P. (2006). Shadow economy and economic crimes in modern Russia. *Bulletin of St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia*, 4 (32), 300–308 (in Russian).]
- Дементьев В.Е.** (2004). Доверие — фактор функционирования и развития современной рыночной экономики // *Российский экономический журнал*. № 8. С. 46–65. [Dementiev V.E. (2004). Trust is a factor in the functioning and development of a modern market economy. *Russian Economic Journal*, 8, 46–65 (in Russian).]
- Егорова Н.Е., Королева Е.А.** (2020). Кредитование субъектов российского малого бизнеса: трансформация традиционной банковской модели в партнерскую // *Экономический журнал ВШЭ*. № 24 (2). С. 53–84. [Egorova N.E., Koroleva E.A. (2020). Lending to Russian small businesses: Transformation of the traditional banking model into a partnership model. *Economic Journal of the Higher School of Economics*, 24 (2), 53–84 (in Russian).]
- Егорова Н.Е., Королева Е.А., Горлов А.В.** (2020). Использование топологической модели и статистических методов для исследования зависимости между уровнями доверия и коррупции // *Друckerовский вестник*. № 6 (38). С. 4–18. [Egorova N.E., Koroleva E.A., Gorlov A.V. (2020). Using a topological model and statistical methods to study the relationship between levels of trust and corruption. *Drucker's Bulletin*, 6 (38), 4–18 (in Russian).]
- Егорова Н.Е., Смупов А.М., Королева Е.А.** (2021). Трансформация модели взаимодействия малых промышленных предприятий и банков на основе повышения уровня доверия. М.: ЦЭМИ РАН. 146 с. [Egorova N.E., Smulov A.M., Koroleva E.A. (2021). *Transformation of the model of interaction between small industrial enterprises and banks based on increasing the level of trust*. Moscow: CEMI RAS. 146 p. (in Russian).]
- Елисеева И.И., Бурова Н.В.** (2001). Подход к измерению теневой экономики в регионах / *Научные труды Российско-европейского Центра экономической политики*. С. 2–12. [Eliseeva I.I., Burova N.V. (2001). An approach to measuring the shadow economy in the regions. *Scientific Works of the Russian-European Center for Economic Policy*, 2–12 (in Russian).]
- Ляско А.К.** (2003). Доверие и транзакционные издержки // *Вопросы экономики*. № 1. С. 42–58. [Lyasko A.K. (2003). Trust and transaction costs. *Voprosy Ekonomiki*, 1, 42–58 (in Russian).]
- Ляско А.К.** (2019). Роль доверительных отношений в конкурентных инновационно-ориентированных стратегических альянсах // *Экономическая наука современной России*. № 4 (87). С. 39–52. [Lyasko A.K. (2019). The role of trust relations in competitive innovation-oriented strategic alliances. *Economics of Contemporary Russia*, 4 (87), 39–52 (in Russian).]
- Мысловский Е.Н.** (2007). Коррупция в России: преступление или образ жизни? // *Следователь*. № 8. С. 42–53. [Myslovsky E.N. (2007). Corruption in Russia: Crime or way of life? *Investigator*, 8, 42–53 (in Russian).]
- Нисневич Ю.А., Стукал Д.К.** (2012). Многоликая коррупция и ее измерение в исследованиях международных организаций // *Мировая экономика и международные отношения*. № 3. С. 83–90. [Nisnevich Y.A., Stukal D.K. (2012). Many-sided corruption and its measurement in the studies of international organizations. *World Economy and International Relations*, 3, 83–90 (in Russian).]
- Полтерович В.М.** (1998). Факторы коррупции // *Экономика и математические методы*. № 3. Т. 34. С. 30–39. [Polterovich V.M. (1998). Factors of corruption. *Economics and Mathematical Methods*, 3, 34, 30–39 (in Russian).]
- Попов Ю.Н., Тарасов М.Ю.** (2005). Теневая экономика в системе рыночного хозяйства. М.: Дело. 242 с. [Popov Yu.N., Tarasov M. Yu. (2005). *Shadow economy in the system of market economy*. Moscow: Delo (in Russian).]
- Руденко В.Н.** (2017). Проблема измерения коррупции: возможны ли объективные международные коррупционные рейтинги? // *Вестник Уральского института экономики, управления и права*. № 2. С. 22–31. [Rudenko V.N. (2017). The problem of measuring corruption: are there objective international corruption ratings? *Bulletin of the Ural Institute of Economics, Management and Law*, 2, 22–31 (in Russian).]

- (2017). The problem of measuring corruption: Are objective international corruption ratings possible? *Bulletin of the Ural Institute of Economics, Management and Law*, 2, 22–31 (in Russian).]
- Сатаров Г.А. (2007). Как измерять и контролировать коррупцию // *Вопросы экономики*. № 1. С. 4–10. [Satarov G.A. (2007). How to measure and control corruption. *Voprosy Ekonomiki*, 1, 4–10 (in Russian).]
- Стиглиц Дж.Ю. (2005). Ревущие девяностые. Семена развала. М.: Современная экономика и право. 289 с. [Stiglitz J.Yu. (2005). *Roaring nineties. Disintegration seeds*. Moscow: Sovremennaya ekonomika i pravo (in Russian).]
- Суворов Б.В., Балаев А.Ш. (2011). Взятничество как система и составная часть коррупции: понятие, социальная и уголовно-правовая характеристика и вопросы совершенствования российского уголовного законодательства // *Вестник экономики, права и социологии*. № 2. С. 157–165. [Suvorov B.V., Balaev A.S. (2011). Bribery as a system and an integral part of corruption: Concept, social and criminal-legal characteristics and issues of improving Russian criminal legislation. *Bulletin of Economics, Law and Sociology*, 2, 157–165 (in Russian).]
- Фукуяма Ф. (2004). Доверие: социальные добродетели и путь к процветанию. М.: ООО «Издательство АСТ», ЗАО НПП «Ермак». 730 с. [Fukuyama F. (2004). *Trust: Social virtues and the path to prosperity*. Moscow: AST Publishing House, Ermak (in Russian).]
- Яковлев А.А. (1999). Теневая активность предприятий и ограничения экономического роста. В кн.: Г.Б. Клейнер (ред.). *Пути стабилизации экономики России*. М.: Информэлектро. С. 175–187. [Yakovlev A.A. (1999). Shadow activity of enterprises and restrictions on economic growth. In: G.B. Kleiner (ed.). *Ways to stabilize the Russian economy*. Moscow: Informelektro, 175–187 (in Russian).]
- Arrow K.J. (1972). Gifts and exchanges. *Philosophy & Public Affairs*, 1, 4, 343–362.

Investigation of the relationship between the levels of public trust and corruption: A topological model and statistical methods

© 2022 N.E. Egorova, A.V. Gorlov

N.E. Egorova,

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

A.V. Gorlov,

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

Received 01.09.2022

Abstract. The article analyzes the concepts of “trust” and “corruption of society” and explores the interdependence between them using the international indexes Edelman Trust Barometer (*ETB*) and Corruption Perceptions Index (*CPI*). The research methods are: 1) the topological model proposed by the authors, based on the averaged values of these indices; 2) correlation and regression analysis; 3) interval method (studying the dependence on the selected intervals of the averaged values of *ETB* and *CPI*). The topological model uses data on the values of these indices for 28 countries and was developed in two versions for the time periods (2011–2021) and (2013–2019). In both cases, the model gives a similar picture of the points placement on the coordinate plane, which indicates the stability of the results. A comparison of empirical data over the time periods revealed countries with a relatively stable ratio of *ETB* and *CPI* indices (Germany, Indonesia, Canada, Colombia, France) and countries where this ratio is noticeably changing (Australia, Argentina, Brazil, Hong Kong, Italy, the Netherlands). The analysis of the topological model was carried out and zones of low, medium and high levels of corruption were identified. Zones are characterized by a specific type of relationship between *ETB* and *CPI* indices. The general type of dependence of the level of trust on corruption in the form of a horizontal S-shaped curve is approximately determined. Regression analysis using time series data for 28 countries was performed. Statistically significant linear regression equations (reflecting the relationship between the considered economic categories) were obtained for some countries (the Netherlands, Sweden and Japan). The conclusion about the significant nonlinearity of the studied relationship is made. This is evidenced by both the visual analysis of the topological model and the results of regression analysis conducted for the selected intervals of change values of the *ETB* and *CPI* indexes.

Keywords: trust index, corruption perception index, topological model, corruption scale, regression analysis, statistical criteria.

JEL Classification: C02, C51, D73.

For reference: Egorova N.E., Gorlov A.V. (2022). Investigation of the relationship between the levels of public trust and corruption: A topological model and statistical methods. *Economics and Mathematical Methods*, 58, 4, 17–28. DOI: 10.31857/S042473880023015-5

НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Новые ориентиры для выбора приоритетных направлений диверсификации экономики на базе системы ситуационных центров

© 2022 М.Ю. Афанасьев, Н.И. Ильин

М.Ю. Афанасьев,

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

Н.И. Ильин,

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

Поступила в редакцию 14.07.2022

Аннотация. Одной из важных управленческих функций системы ситуационных центров является обеспечение планирования (стратегического, среднесрочного, оперативного), которое включает обоснование целей, оптимальное распределение ресурсов для достижения поставленных целей с учетом экономической сложности, эволюционной обусловленности и инновационной активности. Не существует универсального решения для содействия экономическому развитию и структурным изменениям. Необходимо принимать во внимание особенности регионов при разработке и проектировании промышленной и экономической политики. В статье представлен подход к оценке приоритетных направлений диверсификации на основе рекомендаций для развития секторов. Подход ориентирован на повышение экономической сложности региональной экономики, он учитывает эволюционную обусловленность ее развития, влияние инновационной активности регионов и обеспеченность секторов ресурсами. Возможности подхода проверены для 14 секторов экономики Белгородской области на данных 2019 г. Для каждого сектора получены оценки по шести критериям. В качестве приоритетных при выборе регионом направления диверсификации экономики рассматриваются сектора, характеристики которых обладают свойством Парето-оптимальности в рассматриваемой многокритериальной задаче. Внедрение предложенного подхода с использованием цифровых технологий в региональных ситуационных центрах поможет обеспечить координацию решений, принимаемых регионами при выборе приоритетных направлений диверсификации с целью повышения экономической безопасности. Используемая методология позволяет в реальном масштабе времени учитывать и отображать в исходной информации, рассматриваемой любым регионом, решения, уже принятые другими регионами, что является актуальной задачей для системы ситуационных центров.

Ключевые слова: региональная экономика, диверсификация, эконометрика, экономическая сложность, обеспеченность ресурсами, инновационная активность, экономическая безопасность.

Классификация JEL: C53, D51.

Для цитирования: Афанасьев М.Ю., Ильин Н.И. (2022). Новые ориентиры для выбора приоритетных направлений диверсификации экономики на базе системы ситуационных центров // Экономика и математические методы. Т. 58. № 4. С. 29–44. DOI: DOI 10.31857/S042473880023017-7

1. ВВЕДЕНИЕ

Система ситуационных центров может служить основой процессов управления в сфере экономики, промышленности и топливно-энергетического комплекса, строительства и ЖКХ, здравоохранения, образования и науки, внутренней политики и развития местного самоуправления, национальных проектов, культуры, спорта, туризма, ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Актуальной задачей является создание цифровой платформы, позволяющей определять приоритетные направления развития региона с учетом его инвестиционной привлекательности, экономической сложности и инновационной активности. В соответствии с предложенным нами подходом приоритетные направления выбираются на основе рекомендаций по развитию секторов. Такой подход создает возможности для развития теории диверсификации на основе построения и анализа структур сильных секторов региональной экономики.

Теория диверсификации и эмпирические оценки представлены в работах (Blien, Wolf, 2006; Fuchs, 2011; Illy, Schwartz et al., 2011). Согласно этой теории компании выигрывают оттого что сталкиваются с неоднородной средой, состоящей из различных отраслей, поскольку новые идеи приходят из внешней среды. Диверсификация, определяемая как расширение структуры экономики,

является важной целью во всех странах и стала одним из важнейших приоритетов экономического развития. Потенциал диверсификации лежит в основе стратегии Европейского союза, нацеленной на содействие экономическому развитию, росту европейских регионов и новой промышленной политике (European Commission, 2011; McCann, Ortega-Argiles, 2015).

В ряде исследований были представлены теоретические и эмпирические доказательства существования «локальных возможностей», основанных на накопленных компетенциях и знаниях. Такие локальные возможности работают как источник для смежной диверсификации региональных экономик (Storper, 1995). В процессе диверсификации регионы с большей вероятностью расширяют сектора, которые тесно связаны с уже сложившимися в них сильными секторами (Frenken, Van Oort, Verburg, 2007; Frenken, Boschma, 2011; Klepper, 2006).

Смежная диверсификация предполагает, что экономическое развитие как на национальном, так и на региональном уровнях в значительной степени зависит от специфических местных возможностей, которые накапливаются с течением времени и которые в значительной степени зависят от технологической взаимной зависимости, общей инфраструктуры и др. Это означает, что не существует универсального решения для содействия экономическому развитию и структурным изменениям в регионах. Необходимо принимать во внимание особенности каждого региона при разработке и проектировании промышленной и региональной экономической политики.

Существуют аргументы в пользу государственного вмешательства для стимулирования процессов диверсификации, поскольку частный сектор обычно сосредотачивает свою экономическую деятельность и усилия вокруг своих основных сфер деятельности, что еще больше углубляет местную специализацию. Если экономическая политика не будет направлена на повышение разнообразия видов экономической деятельности, это может привести к структурным ловушкам развития, т.е. к специализации, с которой трудно расстаться. Поэтому с точки зрения экономической политики важным является вопрос о том, как запустить и расширить процесс диверсификации экономики и обеспечить создание и развитие технологически далеких секторов, но все же связанных с уже существующими сильными сторонами региона или страны, используя преимущества, в которых будут задействованы имеющиеся знания и компетенции.

Однако существуют и пределы диверсификации, ограниченные уровнем технологических возможностей региона (страны). Поэтому в процессе диверсификации маловероятен стремительный переход к технологически сложным видам деятельности. Следует скорее придерживаться стратегии постепенной диверсификации с переходами к более сложным секторам, связанным с уже имеющимися сильными секторами, по мере накопления со временем технологического потенциала и возможностей. В широком смысле постепенная диверсификация соответствует стратегии долгого развития (Полтерович, 2020, 2021) и не противоречит подходам к формированию экономической политики ведущих ученых (Макаров и др., 2014; Макаров, Бахтин, Хабриев, 2018; Дементьев, 2020, 2021; Клейнер, 2020).

В статье рассматривается задача установления приоритетов развития секторов до уровня сильных. В качестве оценки диверсификации экономики региона мы будем использовать число сильных секторов и связывать диверсификацию с появлением в регионе нового сильного сектора.

2. МЕТОДОЛОГИЯ

2.1. Структура сильных секторов

На основе концепции выявленных сравнительных преимуществ (Hausmann, Klinger, 2006) формируется матрица $A = (a_{c,p})$, описывающая структуры сильных секторов региональных экономик. Для этого будем использовать данные об объемах производства по секторам. Матрица A содержит данные о секторах экономики, которые в разных регионах развиты на уровне выявленных сравнительных преимуществ:

$$a_{c,p} = \begin{cases} 1, & \text{если } RCA_{cp} \geq 1; \\ 0, & \text{если } RCA_{cp} < 1, \end{cases}$$

где RCA_{cp} — показатель выявленных сравнительных преимуществ. Если y_{cp} — объем производства сектора p экономики региона c , то

$$RCA_{cp} = (y_{cp} / \sum_p y_{cp}) / (\sum_c y_{cp} / \sum_{c,p} y_{cp}). \quad (1)$$

Вектор $(a_{c,p_1}, \dots, a_{c,p_m})$ описывает структуру сильных секторов экономики региона.

2.2. Экономическая сложность

Одним из ориентиров представленного подхода к диверсификации экономики региона является повышение ее экономической сложности. Страны и регионы, экспортирующие сложные товары, обычно имеют более высокий уровень душевого материального благосостояния, чем страны и регионы, экспортирующие простые товары (Афанасьев, 2022). Если диверсификация связана с появлением новых секторов экономики, то в качестве приоритетных направлений диверсификации можно рассматривать сектора, развитие которых способствует повышению экономической сложности региона. Далее ее оценка проводится в соответствии с подходом, представленным в работах (Hartmann, 2017; Hausmann, Hwang, Rodrik, 2006; Hidalgo, Hausmann, 2009) в отношении регионов и секторов.

Оценка экономической сложности региона ECI_c пропорциональна среднему уровню экономической сложности сильных секторов в структуре его экономики:

$$ECI_c = a_1 \sum_p r_{c,p} ECI_p, \quad r_{c,p} = a_{c,p} / k_{c,0}, \quad k_{c,0} = \sum_p a_{c,p}, \quad (2)$$

где a_1 — положительная константа.

Оценка экономической сложности сектора ECI_p пропорциональна среднему уровню экономической сложности регионов, в структуре экономики которых этот сектор является сильным:

$$ECI_p = a_2 \sum_c r_{p,c}^* ECI_c, \quad r_{p,c}^* = a_{c,p} / k_{p,0}, \quad k_{p,0} = \sum_c a_{c,p}, \quad (3)$$

где a_2 — положительная константа.

Пусть $\mathbf{c} = (ECI_{c_1}, ECI_{c_2}, \dots)^T$ — вектор-столбец оценок экономической сложности для регионов; $\mathbf{p} = (ECI_{p_1}, ECI_{p_2}, \dots)^T$ — вектор-столбец оценок экономической сложности для секторов; $\mathbf{R}_1 = (r_{c,p})$, $\mathbf{R}_2 = (r_{p,c}^*)$ — матрицы весов. Тогда $\mathbf{c} = a_1 a_2 \mathbf{R}_1 \mathbf{R}_2 \mathbf{c}$, $\mathbf{p} = a_1 a_2 \mathbf{R}_2 \mathbf{R}_1 \mathbf{p}$.

Таким образом, оценки экономической сложности регионов определяются как собственный вектор матрицы $\mathbf{R}_1 \mathbf{R}_2$, а оценки экономической сложности секторов — как собственный вектор матрицы $\mathbf{R}_2 \mathbf{R}_1$. Ввиду того что эти матрицы являются стохастическими (Sciatta et al., 2020), в качестве значений оценок экономической сложности регионов (секторов) мы будем использовать собственный вектор матрицы $\mathbf{R}_1 \mathbf{R}_2$ ($\mathbf{R}_2 \mathbf{R}_1$), который соответствует второму максимальному собственному значению.

2.3. Вероятности появления в регионе новых сильных секторов

Обозначим $w_{i,j} = (\mathbf{R}_1 \mathbf{R}_2)_{ij}$. В работе (Afanasyev, Kudrov, 2021) показано, что величину $w_{i,j}$ можно интерпретировать как характеристику степени вложенности множества сильных секторов региона c_i во множество сильных секторов региона c_j . Чем ниже это отношение, тем меньше сильных секторов региона c_i входит во множество сильных секторов региона c_j . Поэтому показатели вложенности отражают эволюционную обусловленность структур сильных секторов региональных экономик.

С использованием показателей вложенности разработана модель, позволяющая прогнозировать появление в экономике региона новых сильных секторов. В результате апробации модели для каждого региона оценены вероятности возникновения в его структуре новых сильных секторов. Количественные оценки позволяют обосновать целесообразность развития в регионе нового сильного сектора с учетом эволюции прошлой экономической деятельности и могут рассматриваться в качестве меры эволюционной обусловленности появления сектора в регионе в качестве сильного. Если прогнозируемое значение вероятности превышает 0,5, то появление нового сильного сектора в регионе можно считать эволюционно обусловленным.

2.4. Аппроксимация оценок экономической сложности

Возможности диверсификации экономики региона c^* связаны с появлением нового сильного сектора p^* . Приоритетным можно считать появление такого нового сильного сектора, которое приводит к повышению экономической сложности региона. Для того чтобы оценить изменение экономической сложности региона, в матрице $\mathbf{A}$ значение элемента (a_{c^*,p^*}) можно изменить с 0 (ранее сектор p^* не был сильным в регионе c^*) на 1 и рассчитать собственный вектор новой матрицы $\mathbf{R}_1 \mathbf{R}_2$ в соответствии со стандартным подходом (Hartmann, 2017; Hausmann, Hwang, Rodrik, 2006; Hidalgo, Hausmann, 2009).

Альтернативным вариантом является аппроксимация изменения $\Delta ECI_{c^*}(p^*)$ оценки экономической сложности региона c^* на основе оценок экономической сложности сектора p^* и всех сильных секторов экономики региона c^* . Возможности аппроксимации оценки $ECI_{c^*}(p^*)$ экономической сложности региона c^* в случае появления в нем нового сильного сектора p^* показаны в работе (Афанасьев, Гусев, 2022).

2.5. Влияние инновационной активности региона на развитие сектора

На основе регрессионного анализа выявляется инновационная активность секторов. Признак инновационной активности сектора r_INN_p принимает значение 1, если коэффициент при индексе инновационной активности значим для сектора p в регрессии объема производства на компоненты расширенного экономического базиса. В противном случае величина r_INN_p принимает значение 0.

Для оценки влияния инновационной активности региона j на развитие сектора применяются компоненты экономического базиса, включающие характеристики региональной дифференциации и индексы инновационной активности. Описание экономического базиса $\{L_j, te_j, s_j^1, s_j^2\}$ и методология его применения для оценки социально-экономического развития на региональном уровне представлены в (Aivazian, Afanasiev, Kudrov, 2018, 2020). Индексы инновационной активности построенные на основе концепции стохастической границы, представлены в (Lysenkova, Afanasiev, 2020). Расширенный экономический базис $\{L_j, te_j, s_j^1, s_j^2, INN_j\}$, включающий индекс инновационной активности, отражает не только экономическую структуру региональной экономики, но и специфику инновационной активности регионов, ориентированную на конкретный результат инновационной деятельности. Если индекс инновационной активности статистически зависит от некоторых компонент экономического базиса, то для предупреждения эффекта мультиколлинеарности целесообразно рассматривать модификацию индекса, очищенную от влияния этих компонент. Проводится регрессионный анализ объемов производства каждого сектора экономики с помощью расширенного экономического базиса. Построим регрессии вида

$$\ln y_{ij} = \text{const}_i + \beta_1 \ln L_j + \beta_2 te_j + \beta_3 s_j^1 + \beta_4 s_j^2 + \beta_5 INN_j + \varepsilon_{i,j}, \quad (4)$$

где y_{ij} — объем производства сектора i в регионе j ; L_j — масштаб экономики региона j (в качестве характеристики масштаба экономики берется показатель Росстата «Численность экономически активного населения»); te_j — оценка технической эффективности регионального производства; s_j^1 — индекс отраслевой специализации (первая главная компонента структуры ВРП); s_j^2 — индекс индустриализации (вторая главная компонента структуры ВРП); $\varepsilon_{i,j}$ — ошибка регрессии. Значения главных компонент строились согласно методологии и показателям Росстата по отраслевой структуре валового регионального продукта (ВРП) (Айвазян, Афанасьев, Кудров, 2016). INN — индекс инновационной активности. Здесь используется один из авторских индексов, построенный на основе концепции стохастической границы на данных о международных патентных заявках (TEMPZ), патентных заявках (TEPZ), выданных патентах (TEVP), новых разработанных производственных технологиях (TETTSN) (Lysenkova, Afanasiev, 2020). Из совокупности секторов выделяются те, для которых оценка параметра β_5 положительна и значима на уровне 95%. Объем производства каждого из таких секторов зависит от уровня инновационной активности регионов, определяемым индексом INN .

2.6. Ресурсная обеспеченность

Для каждого сектора p_j определяется признак его ресурсной обеспеченности $res_p_{j(c_i)}$ в каждом регионе c_i , в котором этот сектор не является сильным. Это означает, что для пары (c_i, p_j) выполняется неравенство $RCA_{c_i p_j} < 1$. Величина $res_p_{j(c_i)}$ принимает значение 1, если ошибка регрессии (4) удовлетворяет условию, при котором для ожидаемого объема производства сектора p_j в регионе c_i справедливо неравенство $RCA_{c_i p_j} \geq 1$. То есть при ожидаемом объеме производства, определяемом выражением (4) при $\varepsilon_{i,j} = 0$, сектор p_j будет сильным в регионе c_i . В противном случае величина $res_p_{j(c_i)}$ принимает значение 0.

Оценка достаточности обеспечения сектора ресурсами в регионе определяется уровнем соответствия фактического объема производства сектора ожидаемому, обусловленному характеристиками дифференциации региона. Выявляются регионы, в которых ожидаемый объем производства сектора выше фактического. В таких регионах превращение сектора в сильный возможно за счет нереализованного потенциала экономического развития. Это относится ко всем секторам. В том числе к тем, объем производства которых не зависит от уровня инновационной активности региона. Если фактический объем производства сектора выше ожидаемого, то сектор, уже реализовав потенциал роста в регионе, все же не стал сильным. В этом случае развитие сектора до уровня сильного может опираться на рост инновационной активности региона в целом. Это относится к секторам, объем производства которых зависит от уровня инновационной активности региона.

Для оценки ресурсной обеспеченности путем сравнения фактического объема производства сектора с ожидаемым могут быть использованы разные метрики. Например, для сектора p_j в регионе

c_i она может быть оценена на основе концепции выявленных сравнительных преимуществ. При достаточном обеспечении ресурсами показатель $E_{-RCA_{c_i p_j}}$ выявленных сравнительных преимуществ, соответствующий ожидаемому объему производства сектора p_j в регионе c_i , должен быть не меньше 1, для того чтобы сектор мог стать сильным. Это значит, что должно выполняться неравенство

$$(E_{-y_{c_i p_j}} / (E_{-y_{c_i p_j}} + \sum_{p \neq p_j} y_{cp})) / (\sum_{c'} y_{cp} / \sum_{c'} y_{cp}) \geq 1, \quad (5)$$

где $E_{-y_{c_i p_j}} = \exp\{\ln y_{c_i p_j} - \varepsilon_{i,j}\}$. Неравенство (5) эквивалентно неравенству

$$\varepsilon_{i,j} \leq \ln \left(\left(1 - u_{p_j} \right) RCA_{c_i p_j} / \left(1 - u_{p_j} RCA_{c_i p_j} \right) \right), \quad (6)$$

где $u_{p_j} = \sum_{c'} y_{cp_j} / \sum_{c'} y_{cp_j}$, $RCA_{c_i p_j}$ определяется формулой (1). Заметим, что правая часть неравенства (6) — отрицательная величина. Это следует из неравенства $RCA_{c_i p_j} < 1$, которое выполняется, так как сектор p_j не является сильным в регионе c_i . Таким образом, если ошибка $\varepsilon_{i,j}$ регрессии (4) меньше величины $\varepsilon_{i,j}^* = \ln((1 - u_{p_j}) RCA_{c_i p_j} / (1 - u_{p_j} RCA_{c_i p_j}))$, то сектор p_j имеет достаточное ресурсное обеспечение в регионе c_i в том смысле, что при ожидаемом объеме производства он станет сильным. В противном случае полагаем, что ресурсного обеспечения региона c_i недостаточно для превращения сектора p_j в сильный.

2.7. Задача выбора

Определение приоритетного направления диверсификации экономики региона c^* связано с выбором сектора $p_{j_{k(c^*)}}$ для его развития в регионе c^* до уровня сильного. Обоснованием может стать решение задачи множественного выбора с учетом ряда характеристик для каждого сектора $p_{j_{k(c^*)}}$ из совокупности секторов $(p_{j_{k(c^*)}}, \dots, p_{j_{k(c^*)}})$, не являющихся сильными в регионе c^* . В том числе: экономическая сложность ECI_{c^*} региона; экономическая сложность сектора $ECI_{p_{j_{k(c^*)}}}$; оценка $qp_{j_{k(c^*)}}$ вероятности появления сектора $p_{j_{k(c^*)}}$ в качестве сильного в регионе c^* ; признак роста экономической сложности IEC_{c^*} ; величина приращения $\Delta ECI_{c^*}(p_{j_{k(c^*)}})$ экономической сложности региона c^* в результате появления в нем нового сильного сектора $p_{j_{k(c^*)}}$; признак инновационной активности сектора r_{INN_p} ; признак ресурсной обеспеченности сектора $res_{p_{j_{k(c^*)}}}$. В дополнение к этим характеристикам с использованием матрицы $Y = (y_{cp})$ (где y_{cp} — объем производства сектора p экономики региона c) нетрудно вычислить оценку снизу прироста ВРП региона c^* в случае, когда сектор $p_{j_{k(c^*)}}$ превращается в сильный. Решением такой задачи множественного выбора является совокупность секторов, набор характеристик которых обладает свойством Парето-оптимальности.

Далее в качестве региона c^* , для которого формируются исходные данные и решается задача выбора приоритетных направлений диверсификации экономики, рассматривается Белгородская область. Этот регион выбран в качестве примера, потому что занимает первую позицию в списке регионов, используемом Росстатом.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

3.1. Структура сильных секторов

Матрица $A = (a_{c,p})$, описывающая структуру сильных секторов региональных экономик, построена на основе данных о налоговых поступлениях¹ за 2019 г. по 82 секторам в 79 регионах РФ. Такой подход позволяет характеризовать структуры региональных экономик, включающие сектора, ориентированные как на внешний, так и на внутренний рынки. В Приложении в табл. П1 столбец 6 показывает число сильных секторов в структуре экономики каждого региона, т.е. дает оценку диверсификации. Наиболее диверсифицированы (с числом сильных секторов более 35) экономики регионов: Тверская область — 42; Чувашская Республика — 40; Московская область — 39; Новосибирская область — 39; Владимирская область — 37; Липецкая область — 36. Наименее диверсифицированы (с числом сильных секторов менее 10) экономики регионов: Астраханская область — 9; Тюменская область — 8; Оренбургская область — 6. В структуре экономики Белгородской области 24 сильных сектора.

¹ «Данные о налоговых поступлениях по секторам экономики за 2019 г.» (https://www.nalog.ru/rn77/related_activities/statistics_and_analytics/forms/8826515/).

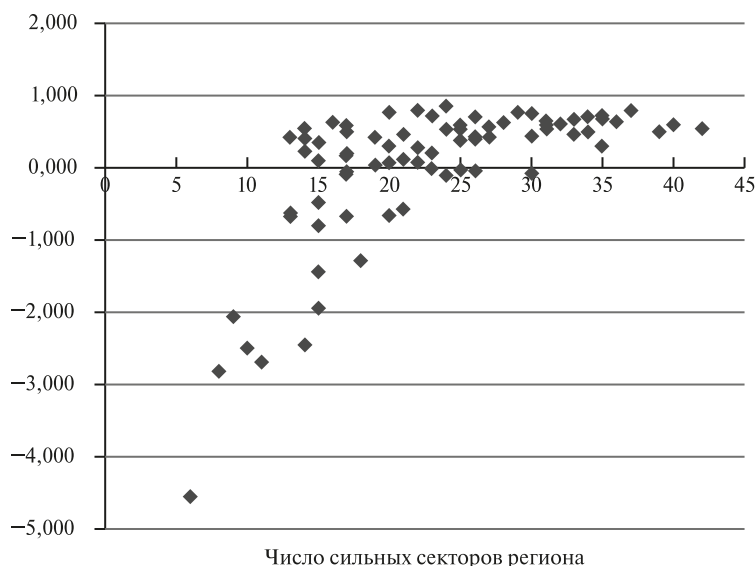


Рис. 1. Нормированная оценка экономической сложности

3.2. Экономическая сложность

В Приложении в табл. П1 в столбце 3 представлены ненормированные оценки экономической сложности 82 секторов; в столбце 7 — ненормированные оценки экономической сложности 79 регионов, рассчитанные как значения собственных векторов в соответствии с описанным выше стандартным подходом. Значения констант определены в результате решения систем уравнений (2) и (3): $a_1 = 1,9305$; $a_2 = 1,9756$. В столбцах 4 и 8 (Приложение, табл. П1) приведены нормированные оценки экономической сложности секторов и регионов соответственно.

Точка на рис. 1 характеризует регион в пространстве «Число сильных секторов» (ось абсцисс) — «Оценка экономической сложности региона» (ось ординат). Имеет место нелинейная взаимосвязь числа сильных секторов с оценками экономической сложности регионов. При этом коэффициент корреляции характеристик диверсификации региональных экономик и оценок экономической сложности регионов достаточно высокий и равен 0,635. Регионы в левой нижней части рисунка характеризуются высокой специализацией в добывающей промышленности. Это Оренбургская область — 6 сильных секторов; Тюменская область — 8; Астраханская область — 9; Томская область — 10; Республика Саха (Якутия) — 11.

3.3. Вероятности появления в регионе новых сильных секторов

Для каждого региона оценена вероятность возникновения в его структуре любого сектора в качестве сильного. Результаты моделирования, представленные в работе (Афанасьев, Кудров, 2021), не противоречат гипотезе о статистической значимости влияния характеристик эволюционной обусловленности на вероятность появления сектора в качестве сильного. Они согласуются с выводами в работе (Neffke, Henning, Boschma, 2011), где показано, что регионам легче развивать новые отрасли промышленности, если они связаны с уже имеющимися в регионе.

Строки матрицы на рис. 2 соответствуют регионам и расположены в соответствии с их порядком в табл. П1 в столбце 5; столбцы — секторам и расположены в соответствии с их порядком в табл. П1 в столбце 1 (см. Приложение). Выделенные элементы матрицы в каждой строке указывают, какие сектора имеют благоприятный прогноз развития в регионе: вероятность появления такого сектора в регионе выше 0,5. Эти оценки являются обоснованием целесообразности развития в регионе нового сильного сектора с учетом эволюции прошлой экономической деятельности. Например, в Белгородской области (строка 1 на рис. 2) 11 секторов имеют вероятности возникновения в качестве сильных выше 0,5.

Практически для каждого региона можно указать новый сильный сектор, который может появиться в регионе с вероятностью выше 0,5. Хотя не все сектора имеют эволюционную обусловленность. Например, виды деятельности «в области информации и связи», «в сфере

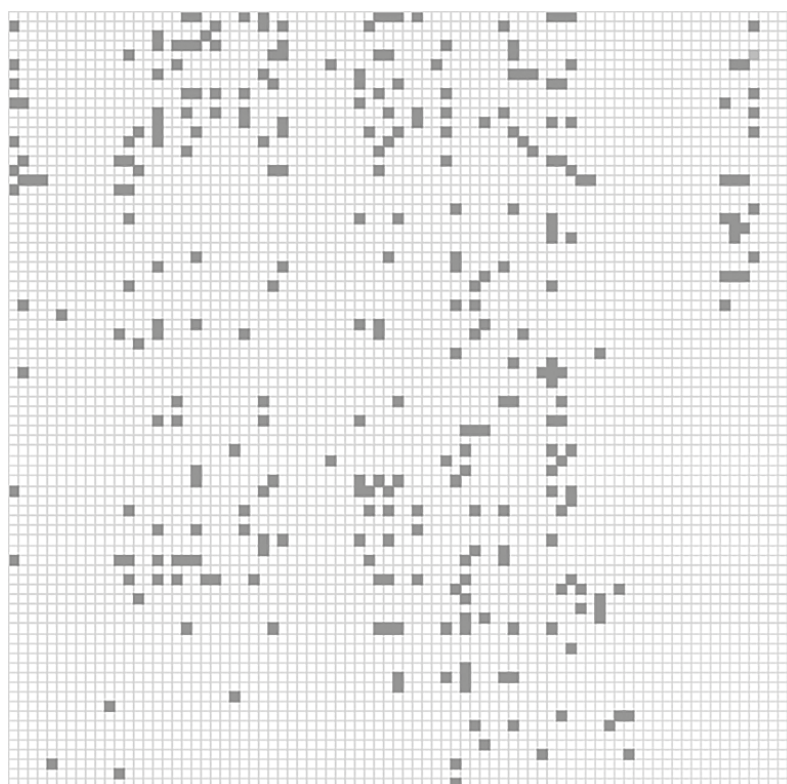


Рис. 2. Матрица, характеризующая благоприятный прогноз развития нового сильного сектора в Белгородской области

Таблица 1. Вероятности появления секторов в качестве сильных в Белгородской области

Код сектора	1125	1130	1155	1160	1202	1203	1205
Вероятность	0,510	0,705	0,540	0,716	0,636	0,592	0,862
Код сектора	1220	1270*	1285*	1290*	1305	1315	1320
Вероятность	0,536	0,142	0,175	0,417	0,716	0,537	0,508

телекоммуникаций», «предоставления финансовых услуг, страхования», «по операциям с недвижимым имуществом» и некоторые другие — для этих секторов прогнозируемое значение вероятности появления в любом регионе в качестве сильного не превышает 0,5.

В табл. 1 приведены вероятности развития в Белгородской области 14 секторов до уровня сильных. Одиннадцать из них с вероятностями появления выше 0,5 отмечены в строке 1 матрицы на рис. 2. Вероятности развития еще трех секторов, отмеченных в табл. 1 символом «*», ниже 0,5. Развитие этих секторов не является эволюционно обусловленным для региона. Далее, для сравнения, мы будем рассматривать возможность развития до уровня сильных в Белгородской области и этих секторов.

3.4. Аппроксимация оценок экономической сложности (ОЭС)

Приведем оценки аппроксимации экономической сложности $ECI_{c^*}(p^*)$ региона c^* в случае появления в нем нового сильного сектора p^* . Оценки получены на основе подхода, представленного в работе (Афанасьев, Гусев, 2022), для 14 секторов Белгородской области. Результаты их сравнения с оценками экономической сложности региона, полученными на основе стандартного подхода, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты аппроксимации оценок экономической сложности Белгородской области

Код сектора, рассмотренного в качестве нового сильного в экономике региона	ОЭС сектора из столбца 3 табл. П1	Ненормированная ОЭС региона		Ошибка аппроксимации (%) по отношению к истинному значению из столбца 3
		при стандартном подходе при появлении нового сильного сектора из столбца 1	в результате аппроксимации	
1	2	3	4	5
1125	0,081212	0,071585	0,070626	–1,34
1160	0,053407	0,069069	0,068478	–0,85
1202	0,052563	0,068992	0,068413	–0,83
1290*	0,047159	0,068085	0,067996	–0,13
1205	0,032066	0,067207	0,066831	–0,56
1315	0,028627	0,066614	0,066565	–0,07
1203	0,025861	0,066562	0,066351	–0,31
1285*	0,017248	0,065481	0,065686	0,31
1270*	0,0073	0,064817	0,064918	0,15
1220	–0,0046	0,063917	0,0640	0,12
1130	–0,00508	0,063772	0,063962	0,29
1155	–0,01239	0,063442	0,063398	–0,07
1305	–0,03929	0,060504	0,061321	1,35
1320	–0,08985	0,05616	0,057416	2,23

В столбце 1 табл. 2 указаны коды 14 секторов, которые представлены в табл. 1. Ни один из этих секторов не является сильным в Белгородской области по данным 2019 г. В табл. 2 эти сектора упорядочены по убыванию оценок их экономической сложности, взятых из столбца 3 табл. П1. В столбце 3 табл. 2 приведена ненормированная оценка экономической сложности (ОЭС) региона Белгородской области, полученная в соответствии со стандартным подходом, при появлении в экономике региона нового сильного сектора из столбца 1. В столбце 4 показаны соответствующие оценки аппроксимации. В столбце 5 — ошибки аппроксимации, по модулю не превышающие 2,23%.

3.5 Влияние инновационной активности региона на развитие сектора

Корреляционная матрица компонент экономического базиса и индексов инновационной активности представлена в табл. 3. Корреляционный анализ 4 компонент экономического базиса и 4 индексов инновационной активности показывает, что:

- все компоненты экономического базиса можно считать взаимно независимыми;
- индексы инновационной активности можно считать взаимно независимыми (за исключением индексов $TEPZ$ и $TEVP$, зависимость которых обусловлена их спецификой);
- каждый индекс инновационной активности независим или слабо зависим от экономического базиса.

Рассмотрим в качестве индекса инновационной активности INN один из авторских индексов, построенный на основе концепции стохастической границы на данных о международных патентных заявках ($TEMPZ$). В соответствии с подходом, описанным в п. 2.5, на основе регрессионного анализа выявлено 20 секторов экономики, развитие которых зависит от инновационной активности регионов при создании международных патентных заявок (Afanasiev, Kudrov, Lysenkova, 2021). Эти сектора отмечены символом «*» в Приложении в столбце 1 табл. П1. Регионы, формируя международные патентные заявки и демонстрируя активность в этой области, влияют на развитие каждого из этих 20 секторов. Из результатов регрессионного анализа следует, что экономический

Таблица 3. Корреляционная матрица компонент базиса и индексов инновационной активности, построенных по данным 2015 г.

	L	te	$s1$	$s2$	TEMPZ	TEPZ	TEVP	TETTCH
L	1	0,178	-0,135	0,195	0,231	0,207	0,120	0,146
te	0,178	1	0,202	0,238	0,120	-0,200	-0,193	0,214
$s1$	-0,135	0,202	1	$-1,61E^{-10}$	-0,223	-0,309	-0,359	-0,058
$s2$	0,195	0,238	$-1,61E^{-10}$	1	0,398	0,056	0,146	0,167
TEMPZ	0,231	0,120	-0,223	0,398	1	0,047	0,067	0,405
TEPZ	0,207	-0,200	-0,309	0,056	0,047	1	0,873	0,158
TEVP	0,120	-0,193	-0,359	0,146	0,067	0,873	1	0,136
TETTCH	0,146	0,214	-0,058	0,167	0,405	0,158	0,136	1

потенциал развития каждого из 20 секторов связан с ростом масштаба региональной экономики, специализацией или индустриализацией региона, повышением технической эффективности производства. В зависимости от того, при каких компонентах экономического базиса наблюдаются значимые оценки коэффициентов в регрессии (4).

Другой путь связан с реализацией потенциала инновационной активности. Если заменить индекс TEMPZ на другой индекс инновационной активности, мы получим список секторов, объемы выпуска которых зависят от инновационной активности региона при создании соответствующего результата инновационной деятельности. Из числа 14 секторов, указанных в табл. 1 и 2, для каждого из которых анализируется возможность появления в качестве сильного в Белгородской области, развитие трех секторов зависит от инновационной активности регионов. Это сектора: «1270. Строительство»; «1315. Деятельность железнодорожного транспорта»; «1320. Деятельность трубопроводного транспорта». Они отмечены как зависящие от инновационной активности регионов в столбце 6 сводной табл. 5.

3.6. Ресурсная обеспеченность

В качестве примера получены оценки обеспеченности ресурсами сектора «Строительство» во всех регионах, приведенных в Приложении в столбце 5 табл. П1. В столбце 11 табл. П1 указано, в каких регионах сектор «Строительство» обладает выявленными сравнительными преимуществами и относится к сильным (значение 1), а в каких — нет (значение 0). Полученные нами оценки свидетельствуют о том, что сектор «Строительство» по данным 2019 г. является сильным в экономике 33 регионов. В этих регионах рост объема производства этого сектора уже не приведет к диверсификации структуры сильных секторов их экономик. Для 46 регионов сектор «Строительство» сильным не является. Для этих регионов диверсификация экономики возможна за счет роста объема производства этого сектора и превращения его в сильный сектор. По данным 2019 г. сектор «Строительство» — это один из 20 секторов, объем производства которых зависит от инновационной активности региона.

Оценим выполнение условия ресурсной обеспеченности (6) для сектора «Строительство» в регионах, где сектор не является сильным. В столбце 9 табл. П1 приведены значения ошибки $\varepsilon_{i,j}$ регрессии (4). В столбце 10 — пороговое значение $\varepsilon_{i,j}^*$ правой части неравенства (6) для проверки выполнения условия ресурсной обеспеченности сектора в регионе. Заметим, что для всех регионов, в которых сектор не отмечен как сильный, пороговое значение будет отрицательной величиной. Если для региона, в котором сектор «Строительство» не является сильным, значение ошибки регрессии в столбце 9 меньше, чем пороговое значение в столбце 10, то сектор «Строительство» имеет достаточную ресурсную обеспеченность в регионе в том смысле, что при ожидаемом объеме производства он станет сильным. В этом случае развитие сектора в регионе до уровня сильного может опираться на экономический потенциал региона. Таких регионов по данным 2019 г. выявлено 11. Они помечены символом «*» в столбце 11 табл. П1. Среди них — и Белгородская область.

Выполнение условий ресурсной обеспеченности проверено и для 14 секторов, развитие каждого из которых до уровня сильного рассматривается в качестве возможного варианта диверсификации экономики Белгородской области. Результаты регрессионного анализа объемов производства этих секторов на компоненты расширенного экономического базиса представлены в табл. 4. Три из них

зависят от инновационной активности регионов: «1270. Строительство»; «1315. Деятельность железнодорожного транспорта»; «1320. Деятельность трубопроводного транспорта». В столбце 10 указано значение ошибки регрессии (4) объема производства каждого из 14 секторов для Белгородской области на компоненты расширенного экономического базиса. В столбце 11 табл. 4 приведены пороговые значения (правая часть неравенства (6)) для ошибки регрессии, при которых выполняется условие обеспеченности ресурсами. Результат проверки данного условия показан в столбце 5 табл. 5.

3.7. Задача выбора

Табл. 5 может рассматриваться в качестве результата комплексной оценки направлений диверсификации экономики конкретного региона. Это — одна из возможных форм цифровой поддержки принятия стратегических решений. В ее основе — современные методы оценки и концепции регионального развития. Опираясь на такую информацию, могут приниматься экспертные решения и выбираться приоритетные направления диверсификации региональной экономики. Информация может стать основой для установления приоритетов в реализации проектов регионального развития, направленных на повышение числа рабочих мест в регионе и рост материального благосостояния населения.

Таблица 4. Характеристики ресурсной обеспеченности секторов по данным 2019 г.

Код сектора	Число наблюдений для построения регрессии (число регионов с ненулевым объемом производства сектора)	R ²	Оценка коэффициента регрессии						Ошибка в регрессии (4) для сектора в Белгородской области	Пороговое значение условия ресурсной обеспеченности (правая часть неравенства (6))
			Оценка константы в регрессии	при логарифме численности экономически активного населения	при индексе технической эффективности регионального производства	при первой главной компоненте структуры ВРП	при второй главной компоненте структуры ВРП	при индексе инновационной активности TEMRZ		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1125	79	0,521	-8,257 (-4,21)	1,821 (6,27)	-0,090 (-0,35)	-0,636 (-2,39)	0,440 (1,57)	0,879 (0,73)	-1,248	-0,337
1130	69	0,854	9,614 (13,40)	1,864 (17,36)	0,376 (3,78)	-0,0097 (-0,08)	0,034 (0,31)	-0,645 (-1,34)	2,422	-0,941
1155	66	0,628	-0,876 (-3,80)	1,344 (5,33)	0,568 (2,73)	-0,222 (-1,05)	0,864 (3,80)	-1,256 (-1,31)	-0,288	-0,165
1160	69	0,381	-3,380 (-0,86)	2,983 (5,11)	0,498 (1,01)	-0,678 (-1,61)	-0,178 (-0,35)	2,017 (0,96)	-1,534	-0,521
1202	63	0,572	3,015 (-0,86)	3,271 (6,36)	-0,776 (-1,80)	-0,087 (-0,21)	1,481 (3,38)	-0,132 (-0,07)	1,658	-1,133
1203	79	0,608	-4,645 (-2,91)	1,768 (7,23)	-0,411 (-1,99)	-0,789 (-3,90)	0,468 (2,15)	-0,063 (-0,06)	0,281	-1,398
1205	78	0,655	-2,915 (-2,03)	1,643 (7,49)	0,244 (1,30)	-0,390 (-2,19)	0,829 (4,29)	-0,523 (-0,62)	0,729	-0,024
1220	72	0,573	-3,873 (-1,17)	1,454 (2,86)	0,272 (0,63)	0,991 (2,40)	0,599 (1,33)	0,787 (0,56)	-1,878	-3,285
1270	79	0,767	7,212 (12,77)	1,139 (14,42)	0,090 (1,32)	0,228 (3,23)	0,158 (1,99)	0,274 (3,76)	-0,75	-0,152
1285	79	0,623	3,276 (4,29)	0,987 (8,45)	-0,304 (-3,09)	0,453 (4,69)	0,201 (1,93)	0,096 (0,20)	0,246	-0,303
1290	77	0,551	-0,818 (-0,68)	1,444 (7,86)	-0,477 (-3,03)	0,206 (1,39)	0,291 (1,78)	0,011 (0,01)	-0,209	-0,412
1305	74	0,553	-3,873 (-1,17)	1,454 (2,86)	0,272 (0,63)	0,991 (2,40)	0,599 (1,33)	-3,238 (-1,56)	-6,529	-7,627
1315	65	0,377	1,231 (0,50)	1,242 (3,55)	0,305 (1,10)	1,297 (4,86)	-0,238 (-0,72)	0,593 (2,12)	-1,392	-3,323
1320	80	0,584	5,290 (5,56)	1,184 (8,91)	0,292 (2,53)	0,400 (3,34)	-0,004 (-0,03)	0,261 (2,116)	-0,029	-0,259

Примечание. В скобках приведена t-статистика.

Таблица 5. Комплексная оценка рассмотренных вариантов диверсификации по данным 2019 г.

Код сектора	ОЭС сектора из столбца 3 табл. П1	Оценка эволюционной обусловленности сектора (прогнозируемая вероятность появления > 0,5), да/нет	Истинная оценка изменения экономической сложности региона при появлении нового сильного сектора (экономическая сложность региона возрастает), да/нет	Оценка изменения экономической сложности региона на основе аппроксимации (экономическая сложность региона возрастает), да/нет	Объемы производства сектора зависят от инновационной активности регионов, да/нет	Выполняется условие ресурсной обеспеченности сектора в регионе, да/нет	Оценка снизу (%) увеличения ВРП региона в случае превращения сектора в сильный
1	2	3	4	5	6	7	8
1125*	0,0812	Да	Да	Да	Нет	Да	0,010
1160*	0,0534	Да	Да	Да	Нет	Да	0,152
1202*	0,0525	Да	Да	Да	Нет	Нет	0,641
1290	0,0471	Нет	Да	Да	Нет	Нет	0,365
1205	0,0321	Да	Да	Нет	Нет	Нет	0,017
1315*	0,0286	Да	Нет	Нет	Да	Нет	0,099
1203	0,0258	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	0,318
1285	0,0172	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	0,607
1270*	0,0073	Нет	Нет	Нет	Да	Да	3,811
1220	-0,0046	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	0,560
1130	-0,0051	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	0,055
1155	-0,0124	Да	Нет	Нет	Нет	Да	0,089
1305	-0,0393	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	0,143
1320*	-0,0898	Да	Нет	Нет	Да	Нет	0,331

Примечание. В таблице приведены коды секторов, развитие которых до уровня сильных рассматривается в качестве возможных вариантов диверсификации экономики Белгородской области.

Выбор сектора для развития в регионе до уровня сильного на основе данных, представленных в табл. 5, связан с решением многокритериальной задачи. Каждый критерий соответствует одному из столбцов таблицы, за исключением первого. Оценки изменения экономической сложности в столбцах 4 и 5 рассматриваются как альтернативные. Если доступны ОЭС на основе стандартного подхода, то используются оценки из столбца 4, что более предпочтительно. Если эти оценки недоступны, то берем оценки из столбца 5, полученные на основе аппроксимации. Заметим, что для нашего примера оценки в столбцах 4 и 5 отличаются только у сектора 1205. Решением задачи является совокупность секторов, у каждого из которых совокупность характеристик обладает свойством Парето-оптимальности. Таких секторов шесть: «1125. Производство кожи и изделий из кожи»; «1160. Производство резиновых и пластмассовых изделий»; «1202. Производство компьютеров, электронных и оптических изделий»; «1270. Строительство»; «1315. Деятельность железнодорожного транспорта»; «1320. Деятельность трубопроводного транспорта». Они помечены символом «*» в столбце 1 табл. 5. Независимо от того, каким способом оценивается экономическая сложность, совокупность характеристик сектора 1205 не является Парето-оптимальной. Разумеется, экспертно могут быть выбраны и другие варианты. Но оптимальные по Парето варианты заслуживают внимания в первую очередь. Наиболее благоприятные условия развития у секторов 1125, 1160 и 1270, для которых выполняется условие обеспеченности ресурсами. Рост объемов производства этих секторов может опираться на экономический потенциал региона. Развитие секторов 1315

и 1320 может быть основано на росте инновационной активности региона. Для развития сектора 1202 экономического и инновационного потенциала региона может оказаться недостаточно. Однако развитие этого сектора является эволюционно обусловленным.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены результаты, развивающие методологию выбора приоритетных направлений диверсификации экономики региона. На основе стандартного подхода рассчитаны оценки экономической сложности секторов и регионов. Обоснована возможность их аппроксимации. Формализовано условие обеспеченности ресурсами, выполнение которого указывает на возможность развития сектора до уровня сильного. Возможности информационного обеспечения и решения задачи определения приоритетного направления диверсификации показаны на примере Белгородской области. В качестве возможных направлений развития рассмотрено 14 секторов, которые не являются сильными в экономике Белгородской области по данным 2019 г. (табл. 5, столбец 1). Для каждого сектора получены оценки экономической сложности на основе стандартного подхода (столбец 2). В их числе 11 секторов, развитие которых в регионе является эволюционно обусловленным: прогнозируемая вероятность появления такого сектора в качестве сильного в регионе выше 0,5 (столбец 3). На основе стандартного подхода оценено изменение экономической сложности региона в результате развития каждого из секторов до уровня сильного (столбец 4), а также на основе аппроксимации (столбец 5). На основе регрессионного подхода выявлены сектора, развитие которых зависит от инновационной активности региона (столбец 6). Указаны сектора, у которых ожидаемый объем производства обеспечивает их развитие до уровня сильного (столбец 7). Рассчитаны оценки снизу в процентах увеличения ВРП региона в случае превращения сектора в сильный (столбец 8). Сводная табл. 5 содержит характеристики секторов по семи критериям. Оценки из столбца 5 используются, если недоступны оценки на основе стандартного подхода (столбец 4). Среди 14 секторов выявлено 6, характеристики которых обладают свойствами Парето-оптимальности: «1125. Производство кожи и изделий из кожи»; «1160. Производство резиновых и пластмассовых изделий»; «1202. Производство компьютеров, электронных и оптических изделий»; «1270. Строительство»; «1315. Деятельность железнодорожного транспорта»; «1320. Деятельность трубопроводного транспорта».

Разумеется, число рассматриваемых критериев можно и нужно расширять. Прежде всего за счет оценок числа созданных рабочих мест, повышения социально-экономического развития региона, роста материального благосостояния в результате появления новых сильных секторов, затрат на развитие сектора до уровня сильного.

Расширению сферы применения предлагаемой методологии может способствовать использование оценки инвестиционной привлекательности региона для вложения финансовых и ресурсных средств в сектора экономики. В этом — одна из задач цифровизации системы регионального управления. Реализация предложенного подхода с использованием цифровых технологий в региональных ситуационных центрах может обеспечить координацию решений, принимаемых регионами при выборе приоритетных направлений диверсификации с целью повышения экономической безопасности страны в целом.

Данная методология позволяет в реальном масштабе времени учитывать и отображать в исходной информации, рассматриваемой любым регионом, прогнозируемые результаты решений, уже принятых другими регионами. Одним из возможных направлений использования представленного подхода для развития теории диверсификации является построение и анализ траекторий структур сильных секторов региональных экономик.

ПРИЛОЖЕНИЕ

В табл. П1 в столбцах расположена следующая информация:

столбец 1 — код сектора в соответствии со структурой данных о налоговых поступлениях; символом «*» отмечены сектора, объемы производства которых зависят от инновационной активности регионов;

столбец 2 — число регионов, в которых сектор является сильным;

столбец 3 — ненормированная ОЭС сектора («*» — сектора, которые являются сильными в Белгородской области);

столбец 4 — нормированная оценка экономической сложности сектора со средним 0 и стандартным отклонением 1;

столбец 5 — наименование региона;

столбец 6 — число сильных секторов в регионе;

столбец 7 — ненормированная ОЭС региона;

столбец 8 — нормированная ОЭС региона со средним 0 и стандартным отклонением 1;

столбец 9 — значения ошибки регрессии (4);

столбец 10 — пороговое значение правой части неравенства (6) для проверки выполнения условия ресурсной обеспеченности сектора в регионе;

столбец 11 — сектор «Строительство» является сильным в регионе: 1 — да, 0 — иначе («*» — регионы, в которых сектор «Строительство» имеет достаточную обеспеченность ресурсами).

Таблица П1. Оценки экономической сложности секторов и регионов

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1020	40	0,0467*	0,6324	Белгородская область	24	0,0670	0,8364	−0,75	−0,152	0*
1025	32	−0,0292	−0,0650	Брянская область	31	0,0402	0,5933	0,304	0,443	1
1030	11	−0,0700	−0,4394	Владимирская область	37	0,0617	0,7883	0,043	−0,316	0
1046	11	−0,1167	−0,8681	Воронежская область	34	0,0285	0,4871	0,279	−0,040	0
1047	7	−0,1799	−1,4490	Ивановская область	28	0,043	0,6183	0,412	−0,071	0
1055	13	−0,4351	−3,7938	Калужская область	29	0,0584	0,7578	−0,177	0,258	1
1060	6	−0,5638	−4,9760	Костромская область	33	0,0246	0,4515	−0,323	−0,354	0
1075	10	−0,0078*	0,1318	Курская область	22	0,0618	0,7888	−1,087	−0,013	0*
1080	12	−0,2254	−1,8670	Липецкая область	36	0,0443	0,6306	−0,044	0,224	1
1081	15	−0,0847	−0,5743	Московская область	39	0,0266	0,4696	1,265	0,028	1
1084*	17	−0,3330	−2,8561	Орловская область	30	0,0561	0,7372	0,134	−0,009	0
1090	41	0,0569*	0,7267	Рязанская область	16	0,0435	0,6228	0,347	−0,772	0
1095	38	0,0522*	0,6830	Смоленская область	31	0,0455	0,6415	1,523	−0,245	0
1100	50	0,0392*	0,5641	Тамбовская область	28	0,0419	0,609	−0,525	0,708	1
1105	13	0,0635*	0,7870	Тверская область	42	0,0335	0,5322	0,09	0,084	1
1110	37	0,0238*	0,4223	Тульская область	34	0,0514	0,6945	0,109	0,663	1
1115	9	0,0501	0,6641	Ярославская область	25	0,0318	0,5174	0,493	−0,612	0
1120	26	0,0740	0,8830	г. Москва	24	−0,0386	−0,1212	1,83	0,253	1
1125	21	0,0812	0,9496	Республика Карелия	26	0,0215	0,4239	−0,302	0,209	1
1130	36	−0,0051	0,1569	Республика Коми	14	−0,2957	−2,4514	1,398	−0,647	0
1135	25	0,0054*	0,2530	Архангельская область	20	−0,0186	0,0599	−0,154	−0,493	0
1140	22	0,0617*	0,7703	Вологодская область	25	0,0413	0,6031	0,882	0,152	1
1145	5	0,0021	0,2231	Калининградская область	15	0,0126	0,3434	0,536	−0,157	0
1150	12	−0,1497	−1,1715	Ленинградская область	14	0,0332	0,5298	0,75	−0,303	0
1155	25	−0,0124	0,0897	Мурманская область	17	−0,0367	−0,1042	0,603	−0,766	0
1158	15	0,0336*	0,5126	Новгородская область	32	0,0404	0,5948	0,268	0,343	1
1160	30	0,0534	0,6942	Псковская область	35	0,0503	0,6848	0,015	0,204	1
1165	44	0,0536*	0,6958	г. Санкт-Петербург	23	−0,0031	0,2004	0,752	0,476	1
1170	28	0,0259*	0,4418	Республика Адыгея	22	−0,016	0,0841	−0,062	0,108	1
1175	14	0,0337*	0,5132	Краснодарский край	27	0,0354	0,5494	0,406	0,224	1
1176	1	0,0140	0,3325	Астраханская область	9	−0,2532	−2,0656	0,364	−0,691	0
1177	5	0,0329*	0,5058	Волгоградская область	17	0,0274	0,4776	0,129	−0,326	0
1180	8	0,0665*	0,8148	Ростовская область	33*	0,0461	0,6469	−0,331	0,111	1
1185	18	0,0475	0,6402	Республика Дагестан	19	0,0198	0,4081	−1,482	0,378	1
1190	11	−0,1165	−0,8667	Республика Ингушетия	15	−0,0168	0,0769	−2,532	1,057	1

Окончание таблица П1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1195	6	−0,0898	−0,6210	Кабардино-Балкарская Республика	17	0,0381	0,5739	−1,043	−0,900	0*
1200	31	0,0365*	0,5387	Карачаево-Черкесская Республика	27	0,0202	0,4122	−0,079	0,084	1
1201	20	0,0640*	0,7912	Республика Северная Осетия — Алания	14	−0,0029	0,203	−0,704	−0,107	0*
1202	27	0,0526	0,6864	Чеченская Республика	13	0,0186	0,3976	−10	−8,399	0*
1203	29	0,0259	0,4411	Ставропольский край	23	0,0527	0,7067	0,232	−0,254	0
1205	34	0,0321	0,4981	Республика Башкортостан	17	−0,1003	−0,6803	−0,312	0,076	1
1215	16	−0,0036	0,1704	Республика Марий Эл	31	0,0325	0,5232	−0,28	−0,190	0*
1220	27	−0,0046	0,1613	Республика Мордовия	15	0,0582	0,7559	−0,2	0,328	1
1221	9	−0,1234	−0,9300	Республика Татарстан	13	−0,1025	−0,7004	−0,112	−0,376	0
1223	19	−0,0331	−0,1002	Удмуртская Республика	15	−0,078	−0,4782	−0,182	−0,723	0
1225*	28	0,0155	0,3459	Чувашская Республика	40	0,0383	0,5761	−0,057	0,403	1
1245	36	−0,0198	0,0214	Пермский край	20	−0,0983	−0,6619	0,179	−0,428	0
1250*	48	0,0106*	0,3008	Кировская область	35	0,0473	0,6575	0,153	0,024	1
1255	46	0,0347*	0,5224	Нижегородская область	24	0,033	0,5277	0,31	−0,202	0
1261	57	0,0196*	0,3836	Оренбургская область	6	−0,5249	−4,5284	−0,315	−1,157	0
1262	9	0,0233	0,4173	Пензенская область	26	0,0513	0,6941	−0,1	−0,108	0*
1263*	33	0,0152*	0,3433	Самарская область	20	−0,1144	−0,8084	−0,2	−0,486	0
1270*	33	0,0073	0,2706	Саратовская область	21	−0,0135	0,1065	0,219	−0,556	0
1280*	28	0,0509	0,6714	Ульяновская область	25	0,0152	0,3668	−0,363	−0,442	0
1285	27	0,0172	0,3620	Курганская область	26	0,0175	0,3876	−0,091	−0,277	0
1290	40	0,0472	0,6368	Свердловская область	30	0,0229	0,4363	0,797	−0,145	0
1305	47	−0,0393	−0,1574	Тюменская область	8	−0,3363	−2,8186	−0,897	−0,017	0*
1315*	36	0,0286	0,4665	Челябинская область	35*	0,0071	0,2932	0,089	−0,500	0
1320*	35	−0,0898	−0,6219	Республика Алтай	30	−0,0352	−0,0898	0,64	0,921	1
1325	20	−0,1135	−0,8395	Республика Бурятия	25	−0,0047	0,1864	−0,771	0,150	1
1330*	19	−0,1723	−1,3791	Республика Тыва	17	0,0044	0,269	−0,783	0,219	1
1340	23	−0,0230	−0,0073	Республика Хакасия	22	0,0473	0,6577	−0,673	0,179	1
1345*	17	−0,0011	0,1932	Алтайский край	33	−0,2383	−1,931	0,063	−0,325	0
1350	11	0,0064	0,2627	Забайкальский край	19	−0,1845	−1,4435	−1,027	0,318	1
1355*	14	0,0030	0,2310	Красноярский край	15	0,008	0,301	−0,648	−0,380	0*
1360	4	0,0100	0,2952	Иркутская область	15	0,0295	0,4965	−0,343	−0,685	0
1363	3	0,0266	0,4478	Кемеровская область	20	−0,0104	0,1344	−0,406	−0,341	0*
1365*	4	−0,0312	−0,0833	Новосибирская область	39	−0,3	−2,49	0,6	−0,003	0
1375*	5	−0,0997	−0,7125	Омская область	17	−0,0295	−0,0387	0,164	−0,566	0
1380	3	−0,0220	0,0015	Томская область	10	−0,3225	−2,6943	0,147	−1,144	0
1385*	5	−0,0191	0,0277	Республика Саха (Якутия)	11	−0,0221	0,0285	−0,756	−0,059	0*
1390*	11	0,0560	0,7181	Камчатский край	23	−0,0039	0,1933	1,136	0,023	1
1395*	8	−0,2530	−2,1204	Приморский край	26	−0,0307	−0,0493	0,397	−0,043	0
1398*	14	−0,0658	−0,4013	Хабаровский край	21	−0,0896	−0,5833	0,876	−0,073	0
1400	55	0,0178*	0,3668	Амурская область	17	−0,0358	−0,0958	−0,217	0,863	1
1410*	58	0,0226*	0,4108	Магаданская область	23	−0,0278	−0,0234	1,429	0,664	1
1420*	57	0,0245*	0,4287	Сахалинская область	18	−0,1673	−1,2877	0,263	0,546	1
1430	35	0,0271	0,4528	Еврейская автономная область	21	0,024	0,446	−0,67	−8,399	0
1440	24	0,0280	0,4611	Чукотский автономный округ	13	−0,0964	−0,6447	1,103	0,515	1
1445	14	0,0196	0,3838							
1447	3	0,0265	0,4466							
1450	6	0,0493	0,6560							

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Айвазян С.А., Афанасьев М.Ю., Кудров А.В. (2016). Метод кластеризации регионов РФ с учетом отраслевой структуры ВРП // *Прикладная эконометрика*. Т. 41. № 1. С. 24–46. [Aivazian S.A., Afanasiev M.Yu., Kudrov A.V. (2016). Method of clustering of regions of the Russian Federation taking into account the sectoral structure of GRP. *Applied Econometrics*, 41, 1, 24–46 (in Russian).]
- Афанасьев М.Ю., Гусев А.А. (2022). Аппроксимация оценок экономической сложности при выборе приоритетных направлений диверсификации // *Цифровая экономика*. № 1 (17). С. 52–59. [Afanasiev M.Yu., Gusev A.A. (2022). Approximation of estimates of economic complexity when choosing priority areas of diversification. *Digital Economy*, 1 (17), 52–59 (in Russian).]
- Афанасьев М.Ю., Кудров А.В. (2021). Экономическая сложность и вложенность структур региональных экономик // *Экономика и математические методы*. Т. 57. № 3. С. 67–78. [Afanasiev M.Yu., Kudrov A.V. (2021). Economic complexity and nesting structures of regional economies. *Economics and Mathematical Methods*, 57, 3, 67–78 (in Russian).]
- Дементьев В.Е. (2020). Факторы дифференциации регионов по темпам экономического роста // *Terra Economicus*. № 18 (2). С. 6–21. [Dementiev V.E. (2020). Factors of differentiation of regions by economic growth rates. *Terra Economicus*, 18 (2), 6–21 (in Russian).]
- Дементьев В.Е. (2021). Цепочки создания ценности перед вызовами цифровизации и экономического спада // *Вопросы экономики*. № 3. С. 68–83. [Dementiev V.E. (2021). Value Chains facing the challenges of digitalization and economic downturn. *Voprosy Ekonomiki*, 3, 68–83 (in Russian).]
- Клейнер Г.Б. (2020). Системная реконструкция российского социально-экономического пространства // *Экономическое возрождение России*. № 2 (64). С. 59–69. [Kleiner G.B. (2020). Systemic reconstruction of the Russian socio-economic space. *Economic Revival of Russia*, 2 (64), 59–69 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Айвазян С.А., Афанасьев М.Ю., Бахтизин А.Р., Нанавян А.М. (2014). Оценка эффективности регионов РФ с учетом интеллектуального капитала, характеристик готовности к инновациям, уровня благосостояния и качества жизни населения // *Экономика региона*. № 4. С. 76–90. DOI: 10.17323/1995-459X.2016.3.76.90 [Makarov V.L., Aivazian S.A., Afanasiev M. Yu, Bakhtizin A.R., Nanavyan A.M. (2014). Assessment of the effectiveness of the regions of the Russian Federation taking into account intellectual capital, characteristics of readiness for innovation, the level of well-being and quality of life of the population. *Economy of Regions*, 4, 76–90. DOI: 10.17323/1995-459X.2016.3.76.90 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Хабриев Б.Р. (2018). Оценка эффективности механизмов укрепления государственного суверенитета России // *Финансы: теория и практика*. № 22 (5). С. 6–26. DOI: 10.26794/2587-5671-2018-22-5-6-26. [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Khabriev B.R. (2018). Evaluation of the effectiveness of mechanisms for strengthening the state sovereignty of Russia. *Finance: Theory and Practice*, 22 (5), 6–26. DOI: 10.26794/2587-5671-2018-22-5-6-26 (in Russian).]
- Полтерович В.М. (2020). Реформа государственной системы проектной деятельности, 2018–2019 годы // *Terra Economicus*. № 18 (1). С. 6–27. [Polterovich V.M. (2020). Reform of the state system of project activity, 2018–2019. *Terra Economicus*, 18 (1), 6–27 (in Russian).]
- Полтерович В.М. (2021). Кризис институтов политической конкуренции, интернет и коллаборативная демократия // *Вопросы экономики*. № 1. С. 52–72 [Polterovich V.M. (2021). The crisis of institutions of political competition, the Internet and collaborative democracy. *Voprosy Ekonomiki*, 1, 52–72 (in Russian).]
- Aivazian S.A., Afanasiev M. Yu, Kudrov A.V. (2018). Indicators of regional development using differentiation characteristics. *Montenegrin Journal of Economics*, 14, 3, 7–22.
- Aivazian S.A., Afanasiev M. Yu., Kudrov A.V. (2020). Methodology of socio-economic development assessment given the characteristics of regional differentiation. *Model Assisted Statistics and Applications*, 1–41. DOI: 10.3233/MAS-200502
- Afanasiev M., Kudrov A., Lysenkova M. (2021). An approach to assessing the possibility of diversifying the regional economy taking into account innovation activity. *SHS Web of Conferences*, 128. DOI: 10.1051/shsconf/202112801006
- Blien U., Wolf K. (2006). Local employment growth in West Germany: A dynamic panel approach. *Labour Economics*, 13 (4), 445–458.
- European Commission (2011). Cohesion Policy 2014–2020: Investing in growth and jobs, Green paper and COM documents, COM (2011) 614. Brussels.
- Frenken K., Van Oort F.G., Verburg T. (2007). Related variety, unrelated variety and regional economic growth. *Regional Studies*, 41 (5), 685–697.
- Frenken K., Boschma R. (2011). Technological relatedness and regional branching. In: H. Bahelt, M.P. Feldman, D.F. Kogler (eds.). *Dynamic geographies of knowledge creation and innovation*. London: Taylor & Francis.
- Fuchs M. (2011). The determinants of local employment dynamics in Western Germany. *Empirical Economics*, 40 (1), 177–203.
- Hartmann D. (2017). Linking economic complexity, institutions, and income inequality. *World Development*, 93, 75–93.
- Hausmann R., Hwang J., Rodrik D. (2006). What you export matters. *Journal of Economic Growth*, 12 (1), 1–25.

- Hausmann R., Klinger B. (2006). Structural transformation and patterns of comparative advantage in the product space. *CID Working Paper no. 128*.
- Hausmann R., Rodrik D. (2003). Economic development as self-discovery. *Journal of Development Economics*, 72 (2), 603–633.
- Hidalgo C.A., Hausmann R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (26), 10570–10575.
- Illy A., Schwartz M., Hornyk C., Rosenfeld M. (2011). Local economic structure and sectoral employment growth in German cities. *Journal of Economic and Social Geography*, 102 (5), 582–593.
- Klepper S. (2006). The evolution of geographic structure in new industries. *Revue OFCE*, 135–158.
- Lysenkova M., Afanasiev M. (2020). Comparative analysis of regional innovative development indexes in the space of expert-defined characteristics of regional differentiation. *SHS Web of Conferences*, 93, EDP Sciences, 2021. P. 05002. DOI: 10.1051/shsconf/20219305002
- McCann P., Ortega-Argiles R. (2015). Smart specialization, regional growth and applications to European Union Cohesion Policy. *Regional Studies*, 49, 8, 1291–1302.
- Neffke F., Henning M., Boschma R. (2011). How do regions diversify over time? Industry relatedness and the development of new growth paths in regions. *Economic Geography*, 87, 3, 237–265.
- Sciara C., Chiarotti G., Ridolfi L. et al. (2020). Reconciling contrasting views on economic complexity. *Nat Commun*, 11, 3352. DOI: 10.1038/s41467-020-16992-1
- Storper M. (1995). The resurgence of regional economies, ten years later: The region as a nexus of untraded interdependencies. *European Urban and Regional Studies*, 2 (3), 191–221.

New guidelines for choosing priority areas of economic diversification based on a system of situational centers

© 2022 M.Yu. Afanasiev, N.I. Ilin

M.Yu. Afanasiev,

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

N.I. Ilin,

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

Received 14.07.2022

Abstract. One of the important management functions of the situation center system is to ensure planning (strategic, medium term, and operational), which includes justification of goals, optimal allocation of resources to achieve the goals, taking into account economic complexity, evolutionary conditionality and innovation activity. There is no universal solution to promote economic development and structural change. It is necessary to take into account the peculiarities of the regions when developing and designing industrial and economic policies. An approach to assessing priority areas of diversification based on recommendations for the development of sectors is presented. The approach is focused on increasing the economic complexity of the regional economy, taking into account the evolutionary conditionality of its development, the impact of innovative activity of regions and the provision of sectors with resources. Its capabilities have been tested for 14 sectors of the economy of the Belgorod region on 2019 data. For each sector, estimates were obtained according to six criteria. The priority sectors when choosing the direction of diversification of regional economy, are those the characteristics of which have the priority of Pareto optimality in the considered multiple choice problem. The implementation of the proposed approach using digital technologies in regional situation centers can ensure coordination of decisions taken by regions when choosing priority areas of diversification in order to increase economic security. The methodology used makes it possible to take into account and display in real time and in the initial information considered by any region the decisions already taken by other regions, which is an urgent task for the system of situational centers.

Keywords: regional economy, diversification, econometrics, economic complexity, resource security, innovation activity, economic security.

JEL Classification: C53, D51.

For reference: Afanasiev M.Yu., Ilin N.I. (2022). New guidelines for choosing priority areas of economic diversification based on a system of situational centers. *Economics and Mathematical Methods*, 58, 4, 29–44. DOI: 10.31857/S042473880023017-7

НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

**Влияние внешнеторговой политики на продовольственную независимость
по отдельным товарным группам: методические аспекты**

© 2022 М.Г. Прокопьев

М.Г. Прокопьев,

ИПР РАН, Москва; e-mail: mgprokopyev@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.06.2022

Статья подготовлена в рамках государственного задания Институту проблем рынка (ИПР) РАН, тема НИР «Институциональная трансформация экономической безопасности при решении социально-экономических проблем устойчивого развития национального хозяйства России».

Аннотация. В статье рассматривается проблема влияния внешнеторговой политики и внешней среды (условий мировой торговли) на продовольственную независимость страны. Целью исследования является разработка инструментария для количественной оценки влияния внешнеторговой политики на показатель самообеспеченности продовольствием по отдельным товарным группам продовольствия и сельскохозяйственного сырья. В основу исследования положены методические подходы к оценке эффекта переноса цен на импорт и экспортных цен во внутренние цены в условиях несовершенного замещения и несовершенной трансформации. Несовершенное замещение импортной продукции отечественной (и наоборот) на внутреннем рынке и несовершенная трансформация потоков продовольствия между внутренним и внешними рынками во многом являются следствием неоднородности товарных групп как со стороны импорта и экспорта, так и потребления на внутреннем рынке. Рассмотрены причины неоднородности товарных групп и приводится их классификация. В частности, выделяются товарные группы замещающего импорта и ориентированные на экспорт товарные группы. Для каждой из них рассмотрены условия равновесия спроса и предложения отечественной продукции на внутреннем рынке, существенно влияющие на формирование внутренних цен. Показано влияние эффекта переноса экспортных и импортных цен на агрегированный спрос (компози́т отечественных и импортных товаров на внутреннем рынке) и агрегированное предложение (компози́т отечественной продукции для внешнего и внутреннего рынков). Предложен инструментарий, позволяющий анализировать влияние «возмущений» — небольших отклонений экзогенных параметров внешнеторговой политики на продовольственную независимость по отдельным товарным группам. Приводится качественный анализ влияния импортных тарифов, экспортных субсидий и экспортных пошлин, а также мировых цен на показатель самообеспеченности продовольствием.

Ключевые слова: внешнеторговая политика, продовольственная безопасность, самообеспеченность продовольствием, торгуемые и неторгуемые товары, несовершенное замещение, несовершенная трансформация, частичное равновесие, методические подходы, количественная оценка.

Классификация JEL: Q18, Q17, Q21.

Для цитирования: Прокопьев М.Г. (2022). Влияние внешнеторговой политики на продовольственную независимость по отдельным товарным группам: методические аспекты // Экономика и математические методы. Т. 58. № 4. С. 45–55. DOI: 10.31857/S042473880023018-8

ВВЕДЕНИЕ

Ввод и последующая эскалация экономических санкций в отношении РФ, рост волатильности цен на мировых продовольственных рынках значительно обострили проблему продовольственной независимости страны. В сложившихся условиях проведение политики, направленной на рост импортозамещения в сельском хозяйстве, является жизненно необходимым как с политической, так и с экономической точек зрения¹. Продовольственная независимость все больше становится ключевым элементом экономической доступности продовольствия для населения, она обеспечивает экономический суверенитет и национальную безопасность страны.

¹ В экономической литературе концепция продовольственной независимости нередко противопоставлялась основам мировой торговли. Подвергалась критике как ошибочный подход к решению проблемы продовольственной безопасности, поскольку ставит суверенитет страны выше экономической эффективности.

В экономической литературе последних лет достаточно много внимания уделялось данной проблеме (Алтухов, 2016; Глазьев, 2013; Гумеров, 2011; Серков, 2009; Крылатых, 2014; Шагайда, Узун, 2014, 2015; Ушачев, 2015). Значительную роль в формировании концепции продовольственной безопасности и продовольственной независимости сыграла ФАО (ФАО — Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН)². Результаты дискуссии последнего десятилетия нашли отражение в новой редакции Доктрины продовольственной безопасности РФ³. Согласно Доктрине показателем (индикатором) уровня продовольственной независимости является самообеспеченность продовольствием. Показатель самообеспеченности продовольствием рассчитывается как отношение объема отечественного производства к объему внутреннего потребления (в пересчете на базовый продукт) по отдельным товарным группам. Формально, данный показатель можно представить в виде⁴:

$$FI = Q_s / Q_d, \quad (1)$$

где FI — показатель самообеспеченности продовольствием; Q_s — объем производства (композит отечественной продукции для внешнего и внутреннего рынков); Q_d — объем внутреннего потребления (композит отечественных и импортных товаров на внутреннем рынке).

Вместе с тем, в приведенных выше исследованиях рассматривается качественный аспект проблемы. Анализ влияния на самообеспеченность продовольствием экономической политики, в частности внешнеторговой, не доведен до формализованных количественных зависимостей. Как показано в (Прокопьев, 2021), количественное значение показателя самообеспеченности продовольствием отчетного года сформировано под воздействием трех групп факторов: а) внешнеэкономической политики и внешней среды (условий мировой торговли); б) степени замещения импортной и отечественной продукции на внутреннем рынке, а также степени трансформируемости отечественной продукции между внутренним и внешним рынками в рамках одной товарной группы; в) условий равновесия и реакции рынка на ценовые сигналы (стимулы) со стороны предложения и спроса.

Наряду с осмыслением ситуации на продовольственных рынках и разработкой оперативных мер для преодоления последствий возможных экономических санкций возникает насущная необходимость в разработке инструментария для оценки воздействия внешнеторговой политики на продовольственную независимость и тем самым на показатель самообеспеченности продовольствием. Для анализа внешнеторговой политики разработано немало разного рода моделей (при этом в нашей стране таких исследований явно недостаточно). Имеются и поддерживаются базы данных по многим странам (и группам стран). Большой опыт такого рода исследований имеется в США, Австралии, ФРГ, в ряде таких международных организаций, как ФАО и ОЭСР. Среди отечественных разработок отметим вычислимую модель общего равновесия RUSEC (Макаров, 1999), а также ее последующие модификации, направленные на решение конкретных экономических задач в различных сферах.

Применительно к России в области моделирования и анализа внешнеторговой политики в сфере продовольствия были реализованы два крупных проекта (во всяком случае, известных автору данной статьи): RATSIM — включает страны СНГ, остальной мир, несовершенное замещение, частичное равновесие (Fock, Weingarten, Wahl, Prokopyev, 2000) и RAGLINK (российский модуль системы AGLINK). Были проведены серии сценарных расчетов (Прокопьев, Киселев, Ромашкин, 1999; Серова, Прокопьев и др., 2002). На их основе разработаны соответствующие рекомендации в области таможенно-тарифной политики. Каждая из этих моделей (систем моделей) имеет несомненные достоинства, как, впрочем, и недостатки. Формально данные модели представляют системы нелинейных уравнений, которые решаются с помощью численных методов. Проблемы с разработкой и информационной поддержкой больших нелинейных моделей, решаемых с помощью численных методов, требуют разработки методических подходов для оценки влияния возмущений — небольших отклонений экзогенных параметров на основные характеристики отдельных рынков продовольствия. В ряде случаев такой подход вполне оправдан и позволяет получить необходимые результаты, не прибегая к сложным численным методам.

² В концепции ФАО предполагается, что страны должны стремиться не к самообеспечению продовольствием, а к созданию условий для его наличия на внутреннем рынке. Вместе с тем, ФАО не отвергает политики продовольственной независимости.

³ Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» (<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/>).

⁴ Здесь и далее индекс товарной группы опущен.

Целью настоящего исследования является разработка (в рамках микроэкономического приближения) методических подходов к количественной оценке влияния внешнеторговой политики на продовольственную независимость по отдельным товарным группам сельскохозяйственного сырья и продовольствия. Постановка задачи позволяет, не прибегая к сложным вычислительным процедурам, при определенных допущениях и предпосылках, приведенных ниже, оценить эффект влияния «возмущений» — небольших отклонений экзогенных параметров (например, импортных тарифов, экспортных субсидий и экспортных пошлин, а также мировых цен) на основные характеристики отдельных рынков и показатель самообеспеченности продовольствием по отдельным товарным группам.

В основу исследования положена парадигма несовершенного замещения отечественных и импортных товаров на внутреннем рынке, а также несовершенной трансформации потоков продовольствия между внутренними и внешними рынками. Исследование базируется на теории частичного равновесия. В его основу положены следующие достаточно сильные ограничительные допущения:

- рассматривается отдельный сегмент продовольственного рынка или рынок отдельной товарной группы;
- внутренний рынок продовольствия является рынком несовершенного замещения импортной продукции отечественной (и наоборот) (отечественные и импортные товары одной товарной группы являются несовершенными заместителями)⁵;
- формирование потоков продовольствия между внутренним и внешним рынками определяется отношениями несовершенной трансформации⁶;
- к продовольственному рынку, за исключением зернового сегмента и товарной группы «растительное масло», применимо приближение «малая страна»⁷.

Статья состоит из трех разделов. В разд. 1 приводится классификация товарных групп. В частности, выделяются товарные группы замещающего импорта и экспортно-ориентированные товарные группы. Для каждой из них рассмотрены условия равновесия спроса и предложения отечественной продукции на внутреннем рынке, влияющие на формирование цен. В разд. 2 обоснованы методические подходы к оценке влияния эффекта переноса экспортных и импортных цен на агрегированный спрос (композит отечественных и импортных товаров на внутреннем рынке) и агрегированное предложение (композит отечественной продукции для внешнего и внутреннего рынков)⁸. В разд. 3 показано влияние тарифной политики на импорт на показатель самообеспеченности продовольствием, а также воздействие (влияние ввода) экспортных тарифов, экспортных субсидий и динамики мировых цен на показатель самообеспеченности продовольствием.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ КЛАССИФИКАЦИИ ТОВАРНЫХ ГРУПП

В теории международной торговли принято разделение всех товаров и услуг, производимых в стране, на две категории: так называемые торгуемые и неторгуемые неторговые товары и услуги. Наиболее существенное различие между торгуемыми и неторгуемыми товарами возникает в процессе формирования цен. Торгуемые товары — товары, которые могут продаваться (приобретаться) на внешнем рынке. В более широком смысле, торгуемые товары — это товары, цены на которые следуют за ценами внешнего рынка и (в условиях совершенного замещения и совершенной трансформации) определяются внешнеэкономической политикой и внешней средой. Если доля

⁵ Товары одной товарной группы, произведенные внутри страны и поступившие по импорту, не являются совершенно идентичными и различимы с точки зрения предпочтений потребителя. Степень взаимозаменяемости определяется эластичностью замещения (Armington, 1969).

⁶ В рамках одной товарной группы отечественная продукция, поставляемая на внешний и внутренний рынки, существенно различается. Возможность трансформации предложения отечественной продукции одной товарной группы с внутреннего на внешний рынок имеет ограничения и определяется эластичностью трансформации.

⁷ Приближение «малая страна» предполагает, что страна не может влиять на цены мирового рынка и принимает их как экзогенно заданные (может покупать или продавать неограниченное количество товара при неизменной мировой цене). Тем не менее, посредством регулирования тарифов на импорт, экспортных пошлин, а также обменного курса национальной валюты государство может воздействовать на импортную и экспортную цены в национальной валюте.

⁸ Предполагается, что Q_d является CES-функцией — функцией с постоянной эластичностью замещения σ (Armington, 1969). Соответственно, Q_s представлено CET-функцией — функцией с постоянной эластичностью трансформации τ (Powell, Gruen, 1968).

продукции на экспорт в отечественном производстве, а также доля импорта во внутреннем потреблении малы — товар следует отнести к неторгуемым.

Цены на неторгуемые товары определяются условиями спроса и предложения на внутреннем рынке $D(p_d) = S(p_d)$ и не зависят от цен мирового рынка⁹. Для неторгуемых товаров показатель самообеспеченности всегда равен или близок к единице. На рынке отдельного гомогенного товара условие, при котором тот или иной товар является экспортируемым, импортируемым или неторгуемым, следует из (2). Товар не продается и не покупается на внешнем рынке, если его экспортная цена p_e ниже, а цена на импортные товары p_m — выше уровня внутренних цен p_d . В противном случае товар является торгуемым. Теоретически возможна ситуация (если $p_e \ll p_d \ll p_m$), когда страна производит продукцию только на внутренний рынок и потребляет только собственную продукцию¹⁰.

$$p_e = p_e^w (1 - t_e) ER < p_d < p_m^w (1 + t_m) ER = p_m, \quad (2)$$

где p_m^w — cif-цена импорта (стоимость, страхование, фрахт), p_e^w — fob-цена экспорта (франко борт), ER — обменный курс национальной валюты, t_m — импортный тариф (адвалорный эквивалент тарифных и нетарифных барьеров); t_e — экспортная пошлина.

Основными факторами, которые влияют на принадлежность товара к той или иной категории товаров, являются: цены на мировом рынке, обменный курс рубля, импортные тарифы, экспортные пошлины, а также экспортные субсидии и внутренние цены. Изменение данных факторов приводит к пересмотру условий внешней торговли и влияет на степень торгуемости рассматриваемых товаров. В частности, усиление протекционистской политики способствует перемещению товара из группы торгуемых в группу неторгуемых товаров.

Классификацию товаров на торгуемые и неторгуемые товары можно обобщить применительно к товарным группам. При этом следует учитывать неоднородность товарных групп. Неоднородность товарных групп включает как неоднородность отдельных компонент товарной группы, так и неоднородность состава товарных групп. Отдельные составляющие товарных групп одного наименования являются подобными, но не идентичными товарами. Российская Федерация в основном экспортирует продовольственную пшеницу третьего и четвертого класса, а значительная доля импорта приходится на пшеницу твердых сортов. Однако продуктовый состав экспортной и импортной составляющих одной товарной группы, а также состав той же товарной группы для внутреннего потребления — не одно и то же. В частности, потребление мяса и мясопродуктов включает мясо крупного рогатого скота (КРС), свинину и мясо птицы. В то же время как импорт по данной группе в основном представлен мясом КРС, а экспорт — мясом птицы. Более наглядный пример — растительное масло (импорт — пальмовое и оливковое масло; потребление — подсолнечное, пальмовое и оливковое масло; экспорт — подсолнечное масло). Искусственная гомогенизация в результате пересчета составляющих товарной группы в базовый продукт не решает проблемы. Неоднородность товарных групп как со стороны импорта и экспорта, так и потребления на внутреннем рынке имеет непосредственное отношение к проблеме несовершенного замещения отечественной продукции импортной (и наоборот) на внутреннем рынке и трансформации потоков продовольствия между внутренним и внешним рынками.

Товарную группу следует отнести к ориентированной на экспорт, если продукция на экспорт составляет существенную долю в объеме отечественного производства. Одновременно экспортно-ориентированная товарная группа — такая товарная группа, внутренняя цена на которую следует за экспортными ценами и определяется условиями спроса и предложения отечественной продукции на внутреннем рынке с учетом внешнего. Условие равновесия спроса и предложения отечественной продукции на внутреннем рынке для экспортно-ориентированных товарных групп представлено формулой¹¹:

$$D(p_d) = S(p_d, p_e). \quad (3)$$

⁹ Спрос D и предложение S отечественной продукции на внутренний рынок являются функциями внутренней цены p_d .

¹⁰ И наоборот, если $p_e \geq p_d \geq p_m$, возможна ситуация, когда отечественному производителю выгодно поставлять продукцию только на экспорт, а домашним хозяйствам — предъявлять спрос только на продукцию, поступающую по импорту.

¹¹ Предложение отечественной продукции на внутренний рынок S является функцией как цены на отечественную продукцию p_d , так и экспортной цены p_e . Спрос на отечественную продукцию на внутреннем рынке D зависит от цены на отечественную продукцию на внутреннем рынке p_d .

Соответственно, товарные группы замещающего (дополняющего) импорта — это такие товарные группы, внутренние цены на которые следуют за ценами на импорт и определяются условиями спроса и предложения отечественной продукции на внутреннем рынке с учетом внешнего рынка. Данные товарные группы характеризуются высокой долей импорта во внутреннем потреблении. Условие равновесия для таких групп имеет вид¹²

$$D(p_d, p_m) = S(p_d). \quad (4)$$

Эффект влияния импортных или экспортных цен на цены внутреннего рынка является проявлением общего постулата, получившего название закона единой цены. Согласно данному закону внутренние цены на отечественные товары при прочих равных условиях должны следовать мировым ценам¹³. В реальной экономике закон единой цены в полной мере, как правило, не реализуется¹⁴. Эффект влияния внешнеторговой политики и внешней среды на внутренние цены (взаимосвязь между внутренними ценами и внешними ценами) проявляется через соответствующие эластичности: η — эластичность внутренней цены при изменении цены импорта и ϕ — эластичность внутренней цены при изменении экспортной цены (Прокопьев, 2016, 2017). Данные показатели, соответственно, характеризуют процентное изменение внутренней цены при изменении импортной на 1% и процентное изменение внутренней цены при изменении экспортной цены на 1%. Для того чтобы при малом изменении одной цены (цены импорта или экспорта) отыскать такое изменение внутренней, которое восстанавливает состояние равновесия, необходимо в интересующей нас точке равновесия решить уравнение полных дифференциалов функций спроса и предложения относительно дифференциала внутренней цены. Взяв полный дифференциал от обеих сторон (4) и сделав соответствующие преобразования, определим эластичность внутренней цены при изменении цены импорта для торговых групп с замещающим (дополняющим) импортом в окрестностях точки равновесия (Прокопьев, 2016):

$$\eta = \frac{d \ln p_d}{d \ln p_m} = \frac{\varepsilon_{dm}}{\varepsilon_s - \varepsilon_{dd}} = \frac{s_m (\sigma + \varepsilon_{dq})}{\varepsilon_s - \varepsilon_{dq} + (\sigma + \varepsilon_{dq}) s_m}, \quad (5)$$

где ε_{dm} — эластичность спроса на отечественную продукцию по цене замещающего импорта; ε_{dd} — спрос на отечественную продукцию по собственной цене; ε_s — эластичность предложения отечественной продукции на внутреннем рынке; s_m — доля импорта в объеме продаж на внутреннем рынке в стоимостном выражении; σ — эластичность замещения отечественной и импортной продукции одной товарной группы на внутреннем рынке; ε_{dq} — эластичность агрегированного спроса на композит отечественной и импортной продукции на внутреннем рынке.

Как следует из (5), чем больше значение эластичности предложения отечественной продукции на внутреннем рынке (ε_s), а также спроса на отечественную продукцию по собственной цене (поскольку $\varepsilon_{dd} < 0$), тем ниже η . Соответственно, чем выше значение эластичности спроса на отечественную продукцию по цене замещающего импорта (ε_{dm}), тем η выше. Рост цен на импорт будет малозначимо влиять на внутренние цены, если: 1) эластичность замещения σ сравнительно мала; 2) доля импорта s_m в объеме продаж на внутреннем рынке в стоимостном выражении незначительна; 3) эластичности предложения ε_s и агрегированного спроса на композит отечественной и импортной продукции на внутреннем рынке ε_{dq} высокие. В любом случае эластичность изменения внутренней цены при изменении цены импорта меньше единицы (Прокопьев, 2016).

Товарные группы, для которых выполняется условие $\varepsilon_{dm} > 0$, относят к товарным группам с замещающим импортом. Другими словами, товарная группа с замещающим импортом — группа, для которой эластичность замещения между импортной и отечественной продукцией превышает эластичность агрегированного спроса на композит отечественной и импортной продукции на внутреннем рынке ($\sigma > \varepsilon_{dq}$), а рост цены на импорт приводит к росту внутренних цен. Товарная группа с дополняющим импортом — группа, для которой выполняется условие $\varepsilon_{dm} < 0$ или $\sigma < \varepsilon_{dq}$

¹² Спрос на отечественную продукцию D является функцией как цены на отечественную продукцию p_d , так и цены на соответствующие импортные поставки p_m . Предложение отечественной продукции на внутреннем рынке S зависит от цены на отечественную продукцию на внутреннем рынке p_d .

¹³ В более «мягкой» формулировке закон одной цены предполагает, что эластичности внутренней цены при изменении импортной и экспортных цен близки к единице.

¹⁴ Последнее связано с разным уровнем конкуренции на внешнем и внутреннем рынках, наличием торговых посредников, транзакционных и транспортных издержек и т.д., а также с неоднородностью продукции в составе одной товарной группы.

(эластичность замещения между импортной и отечественной продукцией меньше эластичности агрегированного спроса на композит отечественной и импортной продукции на внутреннем рынке). В этом случае отечественная и импортная составляющие одной товарной группы не конкурируют, а дополняют друг друга (являются комплементарными). Как следует из (5), для таких товарных групп эластичность внутренней цены при изменении импортной цены принимает отрицательное значение (рост цен на импорт приводит к снижению внутренних цен). Ниже предполагается, что $\sigma + \varepsilon_{dq} > 0$, $\varepsilon_{dm} > 0$, т.е. рассматриваются товарные группы с замещающим импортом.

Взяв полный дифференциал обеих сторон условия равновесия спроса и предложения отечественной продукции на внутреннем рынке для ориентированных на экспорт товарных групп $D(p_d) = S(p_d, p_e)$ и сделав необходимые преобразования, приходим к следующему выражению для эластичности внутренней цены при изменении экспортной цены (Прокопьев, 2017):

$$\varphi = \frac{d \ln p_d}{d \ln p_e} = \frac{-\varepsilon_{se}}{\varepsilon_{sd} - \varepsilon_d} = \frac{s_e (\tau - \varepsilon_{sq})}{\varepsilon_{sq} - \varepsilon_d + s_e (\tau - \varepsilon_{sq})}, \quad (6)$$

где ε_d — эластичность спроса на отечественную продукцию на внутреннем рынке; ε_{se} — эластичность предложения отечественной продукции на внутреннем рынке по перекрестной цене (цене экспорта)¹⁵; ε_{sd} — эластичность предложения отечественной продукции на внутреннем рынке по собственной цене; ε_{sq} — эластичность агрегированного предложения композита отечественной продукции на внутренний и внешний рынки; s_e — доля экспорта в стоимости агрегированного предложения композита отечественной продукции на внутренний и внешний рынки; τ — эластичность трансформации отечественной продукции между внутренним и внешним рынками.

Эластичность φ отражает влияние небольшого изменения экспортной цены на равновесную цену. Чем выше эластичности предложения по собственной цене ε_{sd} , а также спроса на отечественную продукцию на внутреннем рынке ε_d ($\varepsilon_d < 0$), тем ниже φ . Соответственно, чем больше значение ε_{se} — эластичности предложения по перекрестной цене (по цене экспорта), тем φ выше. Рост цен на экспорт будет мало влиять на внутренние цены, если: 1) эластичность трансформации сравнительно мала, 2) доля экспорта в стоимости агрегированного предложения на внутренний и внешний рынки незначительна, 3) эластичность агрегированного предложения (композиции предложения на внутренний и внешний рынки) и спроса на отечественную продукцию на внутреннем рынке высокая. Как и в случае с эластичностью внутренней цены при изменении цены на импорт, эластичность внутренней цены при изменении цены на экспорт меньше единицы (Прокопьев, 2017).

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу исследования положены методические подходы к оценке эффекта переноса экспортных p_e и импортных цен p_m в цены внутреннего рынка p_d и его влияния на агрегированный спрос Q_d (композиция отечественных и импортных товаров на внутреннем рынке) и агрегированное предложение Q_s (композиция отечественной продукции для внешнего и внутреннего рынков). Ниже предполагается, что агрегированное предложение отечественной продукции является функцией цены на композит отечественной продукции для внешнего и внутреннего рынков p_{sq} . Соответственно, агрегированный спрос — функцией потребительских цен на внутреннем рынке p_c . Определим p_{sq} как средневзвешенное значение экспортных и внутренних цен (7):

$$p_{sq} = p_e w_e + p_d w_d, \quad (7)$$

где $w_e = E / Q_s$, $w_d = S / Q_d$ и E — объем экспорта в физическом выражении. В результате последующих преобразований полного дифференциала обеих сторон (7), принимая во внимание, что $dx = x d \ln(x)$, приходим к

$$(d \ln p_{sq}) p_{sq} = (d \ln p_e) p_e w_e + (d \ln p_d) p_d w_d, \quad (8)$$

или

$$d \ln p_{sq} = d \ln p_e \left(p_e / p_{sq} \right) w_e + d \ln p_d \left(p_d / p_{sq} \right) w_d. \quad (9)$$

¹⁵ Предполагается, что $\tau - \varepsilon_{sq} > 0$, $\varepsilon_{se} < 0$.

С учетом (6) соответствующая взаимосвязь между ценой агрегированного предложения отечественной продукции на внутренний и внешний рынки и процентного изменения экспортной цены имеет вид:

$$d \ln p_{sq} = \underbrace{s_e d \ln p_e}_{\text{эффект 1}} + \underbrace{\varphi(1-s_e) d \ln p_e}_{\text{эффект 2}}, \quad (10)$$

где $s_e = p_e E / p_{sq} Q_s$ — доля экспортной продукции в композите предложения отечественной продукции на внешний и внутренний рынки (в стоимостном выражении). В (10) можно выделить две составляющие эффекта переноса экспортных цен в цены композита предложения отечественной продукции на внешний и внутренний рынки. Эффект 1 (прямой) — непосредственно через экспортную составляющую композита. Он связан с непосредственным изменением цены на композит при изменении цены на экспортную продукцию, выраженную в национальной валюте. Эффект 2 (косвенный) связан с переносом цены на экспорт во внутренние цены. Он обусловлен парадигмой несовершенной трансформации между предложением отечественной продукции на внешний и внутренний рынки. Из (10) также следует, что $\psi = [s_e + (1-s_e)\varphi]$ является эластичностью переноса экспортной цены в цену композита предложения отечественной продукции на внешний и внутренний рынки.

Влияние изменений импортных цен на цены внутреннего рынка в условиях несовершенного замещения рассмотрено в (Прокопьев, 2016). Потребительские цены p_c отличаются от цен на композит отечественной и импортной продукции на внутреннем рынке p_{dq} соответствующей маржей, которая позволяет довести их до уровня потребительских цен. Предполагается, что уровень маржи одинаковый как для импортной, так и отечественной составляющей и является константой. Взаимосвязь процентного изменения потребительских цен на внутреннем рынке и процентного изменения импортных цен имеет следующий вид¹⁶:

$$d \ln p_c = s_m d \ln p_m + (1-s_m) d \ln p_d = [s_m + (1-s_m)\eta] d \ln p_m, \quad (11)$$

Соответствующая эластичность потребительских цен при изменении цен на импорт¹⁷ приводится ниже:

$$\eta_c = s_m + \eta(1-s_m), \quad (12)$$

где η_c — эластичность потребительских цен при изменении цен на импорт (эластичность переноса цен на импорт в потребительские цены); $s_m = p_m M / p_{dq} Q_d$ — доля импорта в композите предложения отечественной и импортной продукции на внутреннем рынке (в стоимостном выражении). Соответственно $(1-s_m) = s_d$, где s_d — доля отечественной продукции в композите отечественной и импортной продукции на внутреннем рынке (в стоимостном выражении). Если s_m велико, изменение потребительских цен определяется изменением цен на импорт. Из (12) также следует, что эффект переноса цен на импорт в потребительские цены при положительном η всегда больше, чем в цены отечественного производителя.

Влияние небольшого процентного изменения экспортных цен в окрестностях точки равновесия на композит предложения отечественной продукции на внешний и внутренний рынки следует из формулы:

$$d \ln Q_s = \varepsilon_{sq} d \ln p_{sq} = \varepsilon_{sq} \psi d \ln p_e = \varepsilon_{sq} [s_e + (1-s_e)\varphi] d \ln p_e, \quad (13)$$

где ε_{sq} — эластичности агрегированного предложения отечественной продукции на внешний и внутренний рынки. Из (13) следует, что $d \ln Q_s$ зависит от эластичности агрегированного предложения отечественной продукции на внешний и внутренний рынки, доли экспортной продукции в композите отечественной продукции на внешний и внутренний рынки (в стоимостном выражении), а также эластичности внутренней цены при изменении экспортной цены. Изменение цены на экспорт через изменение внутренней цены также влияет на цену композита спроса отечественной

¹⁶ Уравнение (11) получено путем дифференцирования обеих сторон цены на композит отечественной и импортной продукции на внутреннем рынке $p_{dq} = p_m w_m + p_d w_d$ и последующих несложных преобразований ($w_d = D / Q_d$, $w_m = M / Q_d$, M — объем импорта в физическом выражении).

¹⁷ В (Прокопьев, 2016) выделяются две составляющие эффекта переноса импортных цен на потребительские цены. Первый (*прямой эффект*) — непосредственно через импортную составляющую композита импортной и отечественной продукции на внутреннем рынке. *Прямой эффект* связан с непосредственным изменением внутренней цены на импортный товар, выраженный в национальной валюте. Второй — косвенный, связан с трансмиссией (переносом) цены на импорт в рублях в цену отечественного производителя. Косвенный эффект обусловлен парадигмой несовершенного замещения между отечественными и импортными товарами на внутреннем рынке.

и импортной продукции на внутреннем рынке. Влияние экспортной цены при неизменной цене на импорт спроса в окрестности точки равновесия приводится в (14):

$$d \ln Q_d = \varepsilon_{dq} d \ln p_A = \varepsilon_{dq} (1 - s_m) d \ln p_d = \varepsilon_{dq} (1 - s_m) \phi d \ln p_e. \quad (14)$$

где ε_{dq} — эластичности агрегированного спроса на композит отечественной и импортной продукции на внутреннем рынке.

Процентное изменение агрегированного спроса на внутреннем рынке при неизменной цене на экспорт при небольшом изменении цены на импорт в окрестности точки равновесия определяется эластичностью спроса на композит отечественной и импортной продукции, долей импорта в объеме потребления на внутреннем рынке в стоимостном выражении, а также эластичностью внутренней цены при изменении цены на импорт:

$$d \ln Q_d = \varepsilon_{dq} d \ln p_c = \varepsilon_{dq} [s_m + (1 - s_m) \eta] d \ln p_m. \quad (15)$$

Изменение цен на импорт через изменение внутренней цены также влияет на цену композита предложения отечественной продукции на внутренний и внешний рынки. Соответствующее процентное изменение композита предложения отечественной продукции на внутренний и внешний рынки при неизменной цене на экспорт определяется в (16):

$$d \ln Q_s = \varepsilon_{sq} d \ln p_{sq} = \varepsilon_{sq} (1 - s_e) \eta d \ln p_m. \quad (16)$$

Как следует из (16), процентное изменение композита предложения отечественной продукции на внутренний и внешний рынки при неизменной цене на экспорт при изменении цен на импорт определяется эластичностью агрегированного предложения отечественной продукции на внешний и внутренний рынки, долей экспортной продукции в композите предложения отечественной продукции на внешний и внутренний рынки (в стоимостном выражении), а также эластичностью внутренней цены при изменении цены на импорт.

Полученные выше результаты являются методической основой для оценки влияния «возмущений» — небольших отклонений экзогенных параметров (например, импортных тарифов, экспортных субсидий и экспортных пошлин, а также валютного курса и мировых цен) от исходных значений на показатель самообеспеченности продовольствием по отдельным товарным группам. Ниже предполагается, что представленные в Доктрине продовольственной безопасности РФ продуктовые группы являются торгуемыми, а их внутренние цены являются производными от цен (следуют ценам) мирового рынка. Значительная часть товарных групп, определенных в Доктрине, являются товарными группами с замещающим импортом. Такие товарные группы, как «Зерно» и «Растительное масло», следует отнести к экспортно-ориентированным товарным группам.

3. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕТОРГОВОЙ ПОЛИТИКИ И ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ПРОДОВОЛЬСТВЕННУЮ НЕЗАВИСИМОСТЬ

Внешнеторговая политика может как прямо, так и косвенно влиять на продовольственную безопасность страны через ценовые сигналы (стимулы) для производителей и потребителей. Косвенное влияние внешнеторговой политики на отечественный рынок проявляется во влиянии переноса изменений импортных и экспортных цен в цены внутреннего рынка. Изменение цены на импортную продукцию на внутреннем рынке (в процентах), при прочих равных условиях, может быть следствием изменений мировой цены на импорт, импортных тарифов и обменного курса национальной валюты (Прокопьев, 2017):

$$d \ln p_m = d \ln p_m^w + d \ln ER + \alpha_m d \ln t_m, \quad (17)$$

где $\alpha_m = t_m / (1 + t_m)$. Соответственно, изменение цены на экспортную продукцию (в процентах), при прочих равных условиях, может быть следствием изменения мировой цены экспорта, экспортных пошлин (налога на экспорт) и обменного курса национальной валюты:

$$d \ln p_e = d \ln p_e^w + d \ln ER - \alpha_e d \ln t_e, \quad (18)$$

где $\alpha_e = t_e / (1 - t_e)$.

Ужесточение тарифной политики импорта непосредственно влияет на показатель самообеспеченности продовольствием как со стороны спроса, так и предложения в результате переноса импортных цен в цены внутреннего рынка. Рост цены на импорт приводит к росту внутренних цен и соответствующему снижению уровня агрегированного спроса, с одной стороны, и росту агрегированного предложения — с другой.

Оба данных эффекта при оценке процентного изменения показателя самообеспеченности продовольствием суммируются (поскольку $d \ln Q_d < 0$):

$$d \ln FI = d \ln Q_s - d \ln Q_d. \quad (19)$$

Оценка влияния тарифной политики (процентное изменение уровня импортного тарифа) на процентное изменение уровня самообеспеченности продовольствием $d \ln FI$ при неизменной экспортной цене получена путем подстановки (15) и (16) в (19) и приводится в (21)¹⁸:

$$d \ln FI = \varepsilon_{sq} (1 - s_e) \eta d \ln p_m - \varepsilon_{dq} [s_m + (1 - s_m) \eta] d \ln p_m, \quad (20)$$

или

$$d \ln FI = \underbrace{\varepsilon_m \left\{ \varepsilon_{sq} (1 - s_e) \eta \right\}}_{\text{рост агрегированного предложения}} - \underbrace{\varepsilon_{dq} [s_m + (1 - s_m) \eta]}_{\text{снижение агрегированного спроса}} d \ln t_m. \quad (21)$$

Как следует из (21), основными факторами, влияющими на процентное изменение показателя самообеспеченности продовольствием при процентном изменении (росте) уровня тарифной защиты, являются доля импорта в композите агрегированного спроса (чем больше s_m , тем больше снижение агрегированного спроса и больше $d \ln FI$) и доля отечественной продукции на внутреннем рынке в агрегированном предложении (чем больше $(1 - s_e)$, тем больше $d \ln FI$), условия спроса и предложения (агрегированные эластичности спроса и предложения) и эластичность переноса цены на импорт во внутренние цены. Или — рост тарифной защиты в отношении изменения уровня самообеспеченности продовольствием незначительно повлияет на те товарные группы, для которых доля импорта мала, доля экспорта велика, низкий уровень эластичностей агрегированного спроса и агрегированного предложения, а также внутренней цены при изменении цены импорта. Факторы, определяющие эластичность внутренней цены при изменении цены импорта, рассмотрены выше.

Рост тарифной защиты по конкретной товарной группе приводит к росту уровня показателя самообеспеченности продовольствием (рост предложения и снижение спроса на композит в результате роста внутренних цен). Поскольку $0 < \eta < 1$ и процентный рост цен на импорт превышает процентный рост цен на отечественную продукцию, происходит перераспределение спроса между отечественной и импортной составляющей. Отсюда можно сделать вывод, что рост тарифной защиты оказывает двойное «положительное» воздействие на показатель самообеспеченности продовольствием и неоднозначно влияет на продовольственную безопасность при снижении объемов потребления продовольствия. Аналогичный эффект наблюдается при соответствующем росте мировой цены по конкретной товарной группе. Влияние изменения обменного курса национальной валюты значительно сложнее и здесь не рассматривается.

Воздействие (влияние ввода) экспортных пошлин на показатель самообеспеченности продовольствием рассмотрено ниже. Экспортные пошлины как инструмент внешней торговли политики используются в различных целях, в частности, для насыщения внутреннего рынка и предупреждения избыточного экспорта субсидируемого продукта. Ввод экспортных пошлин приводит к снижению дохода отечественных производителей от внешней торговли деятельности и соответствующему снижению внутренних цен в результате переноса экспортных цен в цены внутреннего рынка. Оценка влияния небольшого процентного изменения уровня экспортной пошлины на процентное изменение уровня показателя самообеспеченности продовольствием при неизменной цене импорта получена путем подстановки (13) и (14) в (19) и приводится в (23)¹⁹:

$$d \ln FI = \varepsilon_{sq} [s_e + (1 - s_e) \varphi] d \ln p_e - \varepsilon_{dq} (1 - s_m) \varphi d \ln p_e, \quad (22)$$

или

$$d \ln FI = \underbrace{-\varepsilon_e \left\{ \varepsilon_{sq} [s_e + (1 - s_e) \varphi] \right\}}_{\text{снижение агрегированного предложения}} - \underbrace{\varepsilon_{dq} (1 - s_m) \varphi}_{\text{рост агрегированного спроса}} d \ln t_e. \quad (23)$$

Из (23) следует, что рост экспортных пошлин, как и в случае импортных тарифов, непосредственно влияет на показатель самообеспеченности продовольствием как со стороны агрегированного предложения, так и агрегированного спроса. Ввод экспортной пошлины способствует как

¹⁸ В (21) предполагается, что изменение цены на импортную продукцию на внутреннем рынке вызвано изменением импортного таможенного тарифа.

¹⁹ В (23) предполагается, что изменение цены на экспортную продукцию на внешнем рынке вызвано изменением экспортной пошлины.

росту агрегированного спроса ($\varepsilon_{dq} < 0$), так и снижению агрегированного предложения. Тем самым, он оказывает двойное «отрицательное» воздействие на показатель самообеспеченности продовольствием. Напротив, ввод экспортной субсидии в результате роста внутренних цен приводит как к росту предложения, так и к снижению потребления, тем самым оказывая двойное «положительное» влияние на показатель самообеспеченности. Таким образом, влияние таможенных тарифов и экспортных субсидий оказывается различным, но на показатель самообеспеченности продовольствием воздействие будет равнонаправленным.

В заключение отметим, что, несмотря на достаточно жесткие допущения и ограничения, предложенные методические подходы могут быть полезным инструментарием для анализа и сценарных расчетов влияния внешнеторговой политики на показатель самообеспеченность продовольствием и, тем самым, на продовольственную независимость по отдельным товарным группам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Алтухов А.И.** (2016). К вопросу о методологии системы обеспечения продовольственной безопасности государства // *Известия Международной академии аграрного образования*. № 29. С. 6–12. [**Altukhov A.I.** (2016). On the methodology of the system of ensuring food security of the state. *Proceedings of the International Academy of Agrarian Education*, 29, 6–12 (in Russian).]
- Глазьев С.Ю.** (2013). О продовольственной безопасности России. Доклад группы экспертов Изборского клуба. С.Ю. Глазьев (рук.). Режим доступа: <http://www.dynacon.ru/content/articles/1725/> [**Glazyev S.Yu.** (2013). On the Russian food security. Report of the group of experts of the Izvorsky Club under the leadership of Academician of the Russian Academy of Sciences S.Yu. Glazyev. Available at: <http://www.dynacon.ru/content/articles/1725/> (in Russian).]
- Гумеров Р.Р.** (2011). Методологические вопросы измерения и оценки национальной продовольственной безопасности // *Менеджмент и бизнес-администрирование*. № 2. С. 20–32. [**Gumerov R.R.** (2011). Methodological issues of measuring and evaluating national food security. *Management and Business Administration*, 2, 20–32 (in Russian).]
- Крылатых Э.Н., Мазлов В.З., Ктсоев А.Б., Межонина Н.В., Рау В.В., Строков А.С.** (2014). Национальная экономика: обеспечение продовольственной безопасности в условиях интеграции и глобализации. М.: ИНФРА-М. 240 с. [**Krylatykh E.N., Mazlov V.Z., Ktsioev A.B., Mezhonova N.V., Rau V.V., Strokov A.S.** (2014). *National economy: Ensuring food security in the conditions of integration and globalization*. Moscow: INFRA-M. 240 p. (in Russian).]
- Макаров В.Л.** (1999). Вычислимая модель российской экономики (RUSEC). Препринт# WP/99/069. М.: ЦЭМИРАН. [**Makarov V.L.** (1999). *Computable model of the Russian economy (RUSEC)*. Preprint # WP/99/069. Moscow: CEMI RAS (in Russian).]
- Прокопьев М.Г., Киселев С.В., Ромашкин Р.А.** (1999). Анализ экономической политики в области внешней торговли России: результаты моделирования // *Никоновские чтения*. № 4. С. 104–109. [**Prokopyev M.G., Kiselev S.V., Romashkin R.A.** (1999). Analysis of economic policy in the field of Russia's foreign trade: Modeling results. *Nikonov Readings*, 4, 104–109 (in Russian).]
- Прокопьев М.Г.** (2016). Анализ влияния цен на импортные товары на цены внутреннего рынка: методические аспекты // *Экономика и математические методы*. № 1 (52). С. 20–27. [**Prokopyev M.G.** (2016). Analysis of the influence of prices for imported goods on the prices of the domestic market: Methodological aspects. *Economics and Mathematical Methods*, 1 (52), 20–27 (in Russian).]
- Прокопьев М.Г.** (2017). Эффект переноса импортных и экспортных цен в цены внутреннего рынка: методические аспекты // *Экономическая наука современной России*. № 3. С. 105–115. [**Prokopyev M.G.** (2017). The effect of transferring import and export prices to the prices of the domestic market: Methodological aspects. *Economics of Contemporary Russia*, 3, 105–115 (in Russian).]
- Прокопьев М.Г.** (2021). Продовольственная безопасность и самообеспеченность продовольствием: методические аспекты // *Проблемы рыночной экономики*. № 3. С. 117–130. [**Prokopyev M.G.** (2021). Food security and self-sufficiency in food: Methodological aspects. *Market Economy Problems*, 3, 117–130 (in Russian).]
- Серков А.Ф.** (2009). Продовольственная безопасность страны: состояние и перспективы // *Вестник аграрной науки*. № 6 (21). С. 2–4. [**Serkov A.F.** (2009). Food security of the country: State and prospects. *Bulletin of Agrarian Science*, 6 (21), 2–4 (in Russian).]
- Серова Е., Прокопьев М., Тихонова Т., Иванова И.** (2002). Прогноз потребления основных продовольственных товаров в России в среднесрочной перспективе. В сб.: «Проблемы агропродовольственного сектора». М.: Институт экономики переходного периода (ИЭПП). [**Serova E., Prokopyev M., Tikhonova T., Ivanova I.** (2002). Forecast of consumption of basic food products in Russia in the medium term. In: *Problems of the agro-food sector*. Moscow: Institute for the Economy in Transition (IET) (in Russian).]

- Шагайда Н.И., Узун В.Я. (2015). Продовольственная безопасность: проблемы оценки // *Вопросы экономики* № 5. С. 63–78. [Shagaida N.I., Uzun V. Ya. (2015). Food security: Problems of assessment. *Voprosy Ekonomiki*, 5, 63–78 (in Russian).]
- Шагайда Н.И., Узун В.Я. (2014). Продовольственная безопасность в России: мониторинг, тенденции и угрозы. М.: РАНХиГС. 56 с. [Shagaida N.I., Uzun V. Ya. (2014). *Food security in Russia: Monitoring, trends and threats*. Moscow: RANEP. 56 p. (in Russian).]
- Ушачев И.Г. (2015). Импортзамещение в АПК России: проблемы и перспективы. М.: ВНИИЭСХ. 447 с. [Ushachev I.G. (2015). *Import substitution in the agro-industrial complex of Russia: Problems and prospects*. Moscow: VNIIESH. 447 p. (in Russian).]
- Armington P.S. (1969). A theory of demand for products distinguished by place of production. *IMF Staff Papers*, 16, 159–178.
- Fock A., Weingarten P., Wahl O., Prokopyev M. (2000). Russia's agricultural trade: First results of partial equilibrium analysis. *Russia's agro-food sector: Towards truly functioning markets*. Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers.
- Powell A., Gruen F. (1968). The constant elasticity of transformation production frontier and linear supply system. *International Economic Review*, 9, 3, 315–328.

The impact of foreign trade policy on food independence for separate commodity groups: Methodological aspects

© 2022 M.G. Prokopyev

M.G. Prokopyev,

Market Economy Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; e-mail: mgprokopyev@yandex.ru

Received 14.06.2022

The article was prepared within the framework of the state task for the Market Economy Institute (MEI) RAS. The theme of research is «Institutional transformation of economic security in solving socio-economic problems of sustainable development of the national economy of Russia».

Abstract. The article considers the problem of the impact of foreign trade policy and external environment (world trade conditions) on the food independence of the country. The aim of the study is to develop a toolkit to quantify the impact of foreign trade policy on the indicator of food self-sufficiency in certain commodity groups of food and agricultural raw materials. The study is based on methodological approaches to assess the effect of import and export prices transfer in domestic prices under imperfect substitution and imperfect transformation. Imperfect substitution of the domestic and imported products on the domestic market and imperfect transformation of food flows between domestic and foreign markets are largely a consequence of the heterogeneity of commodity groups both on the import and export sides, and domestic consumption. The reasons for heterogeneity of commodity groups are considered and their classification is given. In particular, the commodity groups of import substitution and export-oriented commodity groups are distinguished. For each of them the equilibrium conditions of supply and demand for domestic products on the domestic market, which have a significant impact on the formation of domestic prices, are considered. The effect of export and import prices transfer on aggregate demand (domestic and imported goods composite on the domestic market) and aggregate supply (domestic products composite for external and domestic markets) is shown. A toolkit is proposed to analyze the impact of “perturbations” — small deviations of exogenous parameters of foreign trade policy on food independence by separate commodity groups. A qualitative analysis of the impact of import tariffs, export subsidies and export duties, as well as world prices on the indicator of food self-sufficiency is given.

Keywords: foreign trade policy, food security, imperfect substitution, imperfect transformation, qualitative analysis, trading and non-trading goods, methodological aspects, food independence by separate commodity groups, partial equilibrium.

JEL Classification: Q18, Q17, Q21.

For reference: Prokopyev M.G. (2022). The impact of foreign trade policy on food independence for separate commodity groups: Methodological aspects. *Economics and Mathematical Methods*, 58, 4, 45–55. DOI: 10.31857/S042473880023018-8

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

**Статистический анализ и моделирование взаимосвязи
региональной экономики и науки**

© 2022 г. Ю.Н. Гаврилец, А.В. Кудров, И.В. Тараканова

Ю.Н. Гаврилец,
ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: yurkag@mail.ru

А.В. Кудров,
ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: kovlal@inbox.ru

И.В. Тараканова,
ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: itar40@mail.ru

Поступила в редакцию 13.07.2022

Аннотация. В статье предложена и проанализирована динамическая модель региональной экономики, отражающая зависимость регионального выпуска от числа занятых и объема производственных фондов. Основное внимание уделено учету влияния на экономику таких различных факторов развития науки, как число докторов и исследователей, число разного типа патентов и новых технологий. Кроме того, учитывается отраслевая ориентация региональной экономики, в первую очередь определяемая уровнем развития добывающего и обрабатывающего сектора производств. Для построения моделей и проведения статистических расчетов использованы данные официальной статистики. Все основные параметры предложенной модели оцениваются с использованием современных вычислительных процедур оптимизации в условиях нелинейных зависимостей. Статистические расчеты показали, что полученные значения основных параметров моделей значимы, а сами модели могут быть использованы для отдельных частных оценок и прогнозов. Важная методологическая особенность нашего подхода состоит в том, что необходимые зависимости между переменными модели выявляются с использованием методов причинного анализа и техники проверки значимости семейства гипотез. Для этого общий вид производственной функции выявляется с помощью нахождения графа непосредственных связей всей системы основных переменных. Полученная модель является методической основой для построения краткосрочных прогнозов динамики региональной экономики, в которых учитывается вклад науки и роль ее отдельных составляющих в экономическом росте. Кроме того, динамическая модель позволяет визуализировать различные варианты сценарного анализа и позволяет оптимизировать траектории экономического роста. На отдельных компьютерных расчетах показано, как меняется качественный характер траекторий переменных науки и экономики.

Ключевые слова: показатели региональной науки, причинный анализ, непосредственные связи, структура связей, индекс развития науки, индекс отраслевой ориентации, динамическая модель, траектории экономического роста.

Классификация JEL: C53, D51.

Для цитирования: Гаврилец Ю.Н., Кудров А.В., Тараканова И.В. (2022). Статистический анализ и моделирование взаимосвязи региональной экономики и науки // *Экономика и математические методы*. Т. 58. № 4. С. 56–70. DOI: 10.31857/S042473880023019-9

1. ВВЕДЕНИЕ

Давно стала банальной фраза о том, что в современном мире наука является не просто надстройкой над способом общественного производства, но и его производительной силой. Инвестиции, инновации, без которых, как правило, нет существенного роста производства, определяются возможностями внедрения и использования разного характера научных методов. Потенциал общего развития государства опирается на возможности производства, науки, образования.

В работе (Гаврилец, Кудров, Тараканова, 2018) рассматривалась возможность количественного измерения такой важной характеристики региона, как его экономический потенциал. Компонентный анализ различных экономических показателей и характеристик региональной науки и образования позволил определить интегральный показатель потенциала роста. Была подтверждена связь между величиной потенциала данного года и валовым региональным продуктом (ВРП) того

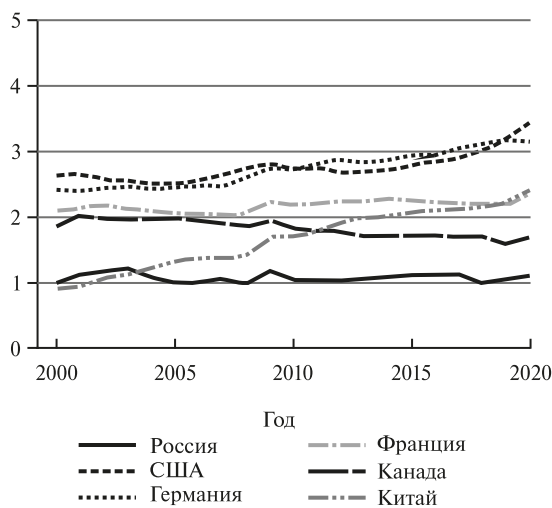


Рис. 1. Затраты на исследования и разработки, % ВВП

Источник: OECD, 2022a.

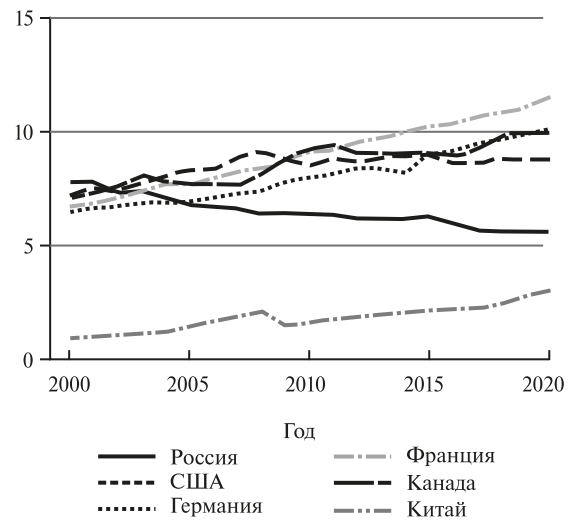


Рис. 2. Число исследователей на 1 тыс. занятых

Источник: OECD, 2022b.

же года, что свидетельствует о возможном условном прогнозе выпуска региона по его потенциалу. В работе (Гаврилец, Лебедев, Тараканова, 2021) было показано, как состояние науки и образования связано с инновационной активностью регионов. Однако выявить в чистом виде влияние науки как таковой на экономический рост остается еще во многих отношениях актуальной задачей.

В дискуссиях относительно формирования и использования инноваций, способствующих экономическому росту, остается важным вопрос о том, насколько глубоко должно государство вмешиваться и соучаствовать в развитии собственных технологических возможностей. Традиционные взгляды многих экономистов призывают к ограничению роли государства в поддержке инноваций (David, Hall, Toole, 2000). Тем не менее, бурный рост инновационной деятельности в странах с развивающейся экономикой, совпадающий с периодами их быстрого экономического роста, привел к пониманию того, что инновации под руководством государства могут стать важным вкладом в стимулирование региональной науки и национальных конкурентных преимуществ (Mazzucato, 2015; Stiglitz, Lin, Monga, 2013).

Интересный пример представляет опыт Китая. Китайские инвестиции в научные исследования и разработки как доля ВВП почти удвоились за десятилетие с 2000 по 2010 г. (рис. 1). Такой результат был получен благодаря активной поддержке государства. Беспрецедентный всплеск китайских государственных субсидий на научные исследования и инновации является частью новой политики, предусмотренной средне- и долгосрочным планом развития науки и техники на 2006–2020 гг. (Liu et al., 2011). Среди эконометрических работ следует выделить исследование (Boeing, Eberle, Howell, 2022), в котором на данных по провинциям Китая исследуется влияние субсидий на науку и технологии и их экономический эффект. Результаты показывают, что государственные субсидии на науку и технологии способствуют технологической модернизации и экономическому росту.

Прежде чем перейти к анализу показателей состояния региональной науки в России, сравним динамику двух важных показателей (финансового и трудового) для России и других стран. Как видно из графиков на рис. 1, доля затрат в процентах от ВВП на научные исследования и разработки в России слабо меняется в течение последних 20 лет и существенно отстает по величине от западных стран и Китая. Кроме того, число исследователей на 1 тыс. занятых убывает для России, в то время как в остальных рассмотренных странах в основном наблюдается рост этого показателя (рис. 2).

Как отмечается в работе (Варшавский, Макаров, 2004): «Одной из основных проблем развития экономики России является ориентация политики не на долгосрочную перспективу, а на краткосрочные цели, что служит значительным препятствием для обеспечения устойчивого развития, ускоренного движения к обществу знаний». В частности, отмечается негативное влияние на перспективы развития сокращения финансирования исследований и разработок, образования,

здравоохранения, возросшей трудностью преемственности знаний и обесценения человеческого капитала. Вместе с тем в работах (Варшавский, Макаров, 2004; Варшавский, Макаров, 2015; Макаров, 2003, 2013) подчеркивается важность сохранения высокого потенциала российского сектора экономики знаний, источником спроса на который в основном являются обрабатывающие производства. Этот факт подтверждается в данной работе.

В работе (Голиченко, 2007) предложен методологический подход к анализу инновационной деятельности, согласно которому можно увидеть факт существенного отставания РФ от развитых стран. Также в работе (Глазьев, 2019) отмечено, что с фактическим разрушением собственного научно-технического потенциала страна утрачивает возможности будущего социально-экономического развития. В работе также указана необходимость непосредственной связи финансирования науки и экономической эффективности. В нашей статье изложен один из подходов решения этой задачи.

2. УРОВЕНЬ РЕГИОНАЛЬНОЙ НАУКИ И ПРОСТЕЙШАЯ МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ

Основная цель нашей работы — описать динамику статистических данных о регионах России в терминах экономико-математической модели, содержащей показатели развития науки. Для этого параметры модели оцениваются по всем административным единицам страны, кроме Москвы, Московской области и Санкт-Петербурга за 2017–2019 гг., которые существенно отличаются от всех остальных по исходным данным.

Рассмотрим основные показатели, характеризующие экономику, науку и ее возможности, а также отражающие развитие экономики в регионах РФ¹: 1) валовой региональный продукт (ВРП); 2) стоимость основных фондов; 3) численность занятых; 4) отраслевая структура валовой добавленной стоимости; 5) число патентов на изобретения; 6) число патентов на полезные модели; 7) число патентов на промышленные образцы; 8) число новых используемых технологий; 9) численность исследователей; 10) численность докторов наук; 11) общий объем затрат на научные исследования и разработки.

Очевидно, совокупность научных показателей влияет на экономические возможности, и роль каждого из них проявляется по-своему, но для характеристики региона в целом имеет смысл получить некий общий показатель уровня развития науки, по которому можно сравнивать регионы между собой.

Применив компонентный анализ к шести из этих показателей (с пятого по десятый) за период с 2017 по 2019 г., мы получим линейную свертку всех этих показателей в виде значений первой главной компоненты (с объясняющей дисперсией, равной 65%). Тем самым значения этой компоненты измерены в интервальной шкале и выражают общий уровень развития научных исследований, связанных с экономикой в регионах. В дальнейшем этот индекс будем обозначать через Z .

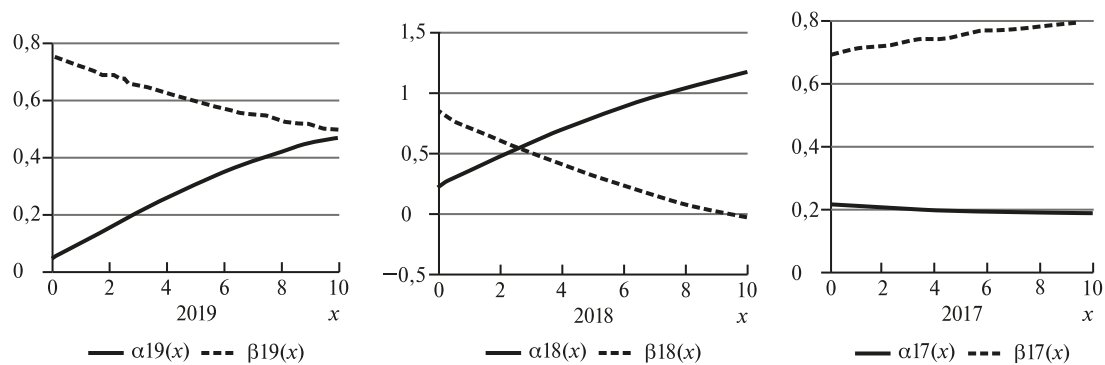
Рассмотрим динамики значений подобного индекса для всех 78 регионов за три года (2017–2019 гг.): значения индекса за этот период в основном уменьшались незначительно. Рост наблюдался только в 11 регионах (Пермский край, Свердловская область, Удмуртия, Красноярский край и некоторые другие). Краснодарский край, Ивановская область, Челябинская область, Республика Башкортостан показывают наиболее заметное снижение индекса науки. Большинство же регионов в переменном режиме демонстрируют убывание индекса науки. При этом факт роста или уменьшения уровня развития науки в целом никак не связан с самим состоянием науки в регионе. Возможно, это объясняется сложной экономической ситуацией в регионах России в указанные годы. Таким образом, можно отметить группы регионов, которые можно считать наиболее развитыми, средними и не очень успешными по развитию науки. Упорядоченный список регионов на 2019 г. по условному индексу развития науки приводится в Приложении, п. 1.

Прежде чем анализировать влияние уровня науки на возможности производства, рассмотрим стандартные характеристики производственной функции для регионов РФ. По статистическим данным были оценены параметры производственных функций вида (без включения индекса науки и отраслевого фактора): $Y = \text{const} \times K^\alpha L^\beta$, где Y — уровень ВРП; K — основные фонды в регионе; L — численность занятых в регионе.

¹ «Регионы России. Социально-экономические показатели», 2017–2019. М.: Росстат, 2020.

Таблица 1. Статистические характеристики производственных функций

Год	Множитель	Численность занятых (α)	Фонды (β)	R^2
2017	4,054	0,362	0,671	0,95
2018	1,312	0,269	0,667	0,95
2019	1,892	0,251	0,757	0,93

**Рис. 3.** Зависимости эластичностей от индекса науки за каждый год

Судя по коэффициентам эластичности, оцененным для трех лет наблюдения (2017–2019 гг.) (табл. 1), мы получили типичные функции Кобба–Дугласа, соответствующие слабой динамике последних двух лет.

Первоначально предположим, что влияние на региональный выпуск научного уровня в регионах России (индекс Z) проявляется через зависимость коэффициентов эластичности от этого уровня. Как показали расчеты, коэффициенты эластичности от уровня науки ведут себя по-разному и для каждого года имеют свой вид:

$$\alpha_{19}(Z) = -0,5 + 1,11n(Z), \quad \alpha_{18}(Z) = -1 + 2,48n(Z), \quad \alpha_{17}(Z) = 0,25 - 0,07n(Z),$$

$$\beta_{19}(Z) = 1,1 - 0,68n(Z), \quad \beta_{18}(Z) = 2 - 2,3n(Z), \quad \beta_{17}(Z) = 2 - 2,3n(Z),$$

где $n(Z) = \exp(0,2Z) / [1 + \exp(0,2Z)]$.

Характеристики R^2 для регрессий этих лет с наукой были на уровне 0,95, как и без нее. Согласно расчетам, влияние индекса науки на основные факторы производства оказалось разным (рис. 3). Так, рост значений индекса в 2018–2019 гг. приводит к росту эластичности труда и уменьшению эластичности капитала. В 2017 г. наблюдается противоположная картина, хотя и в ослабленной форме. Эти факты, видимо, отражают существенные различия в развитии экономики России за разные промежутки непростого времени 2017–2019 гг.

Таким образом, точность модели производственной функции не улучшается за счет применения общего индекса развития региональной науки, что указывает на необходимость большей детализации факторов науки.

Производственная функция, описанная выше, отразила общий характер взаимосвязей выпуска, факторов производства и науки. Далее необходимо проанализировать статистически всю совокупность детальных показателей экономики и науки как единого целого.

Неоднородность регионов России определяется не только общими размерами этих регионов, но и их отраслевыми различиями. В результате была дополнительно рассмотрена отраслевая структура всех регионов, и с использованием компонентного анализа для ее описания были найдены две интегральные характеристики, отражающие отраслевое разнообразие всех рассмотренных регионов. Эти две характеристики далее будут добавлены в список используемых в анализе показателей науки и экономики.

Конкретно было рассмотрено шесть отраслей, которые в основном определяли характер экономики регионов РФ: «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство»; «Добыча полезных ископаемых»; «Обрабатывающие производства»; «Торговля оптовая и розничная»; «Деятельность по операциям с недвижимым имуществом»; «Государственное управление и обеспечение военной безопасности»;

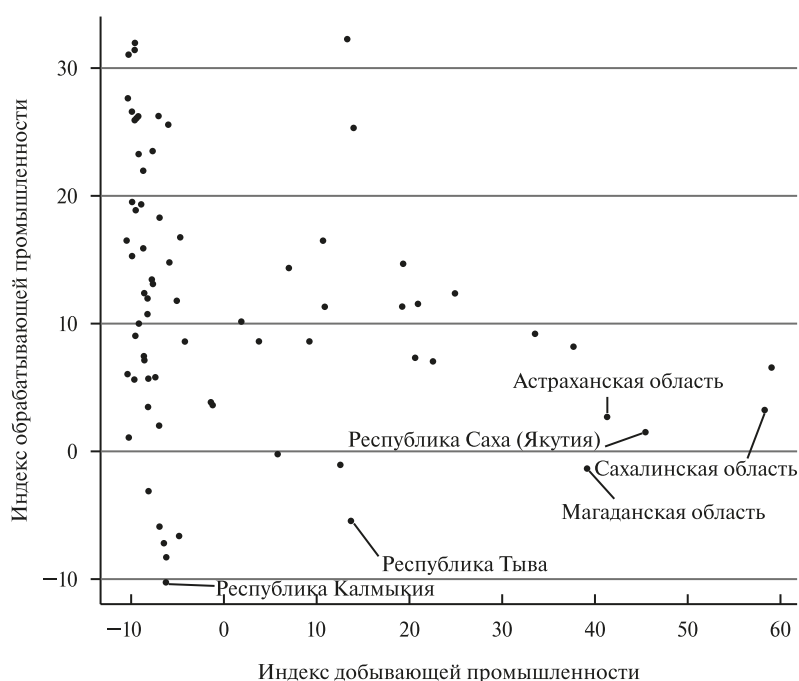


Рис. 4. Распределение регионов России в пространстве факторов отраслевой ориентации

«Социальное обеспечение». Эти показатели могут быть выражены через два фактора методом главных компонент с вращением (рис. 4), на которые приходится более 80% объясненной дисперсии по данным на 2019 г. В отношении данных более ранних лет наблюдается похожая картина, что свидетельствует о медленном изменении структуры региональных ВРП.

Таким образом, в перечень экономических показателей, которые вместе с показателями науки определяют экономический рост, можно теперь добавить характеристику отраслевых особенностей региона. А именно индексы добывающей ($s1$) и обрабатывающей промышленности ($s2$), из которых второй имеет более определенное выражение.

3. АНАЛИЗ ЦЕЛОСТНОСТИ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИКИ И НАУКИ

До построения экономико-математической модели и ее анализа целесообразно сделать одно важное методологическое замечание. Всякий раз, когда мы описываем сложное социально-экономическое явление, необходимо понимать, что способов адекватных описаний реальности может быть много и ни один из них не имеет априорного права считаться единственно верным. Разные модели могут подчеркивать отдельные стороны действительности и могут использовать различные методические процедуры.

Самые сложные разделы физики имеют дело с меньшим числом показателей и особенностей поведения изучаемых физических объектов, чем социальные объекты. Поэтому там проще (как бы это странно ни звучало) отделить адекватную теорию от многих ложных. В данной работе мы с самого начала понимаем относительную истину наших построений и поэтому предлагаем постепенно уточнять и усложнять предлагаемые модели.

Несмотря на использование в нашей статье реальных статистических данных и нашу уверенность в адекватности получаемых моделей, мы считаем здесь главным саму методологию анализа и модельные расчеты. Однозначной наилучшей экономической модели пока не видно, а для практического использования необходимо перебирать разные варианты возможных решений.

Поскольку нас прежде всего интересует влияние научных разработок на экономику, естественно выявить из рассмотренных выше те показатели, которые статистически связаны с выпуском наиболее сильно. Для этого была применена техника так называемого причинного анализа, или анализа *структуры непосредственных связей* (Гаврилец, 1974; Хейс, 1981). Поясним это понятие.

Если в совокупности случайных переменных $\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_n)$ условное распределение величины X_i от всех остальных определяется *только их частью* $X_j, X_k, \dots, X_l$ (не вошедшие в условие могут принимать любые значения):

$$P(x_i | x_1, \dots, x_n) = P(x_i | x_j, x_k, \dots, x_l) \forall x_1, \dots, x_n,$$

то переменные $X_j, X_k, \dots, X_l$ называются *непосредственно связанными* с переменной X_i . В непрерывном случае частные корреляции X_i с непосредственно связанными (и только с ними!) не равны нулю (см. Приложение, п. 2).

Были проанализированы взаимные связи между всеми показателями науки и такими экономическими показателями, как ВРП, основные фонды, отраслевые индексы, занятость в регионах РФ. Для этого по данным за каждый год в отдельности была оценена матрица частных корреляций и произведено последовательное тестирование гипотез об отсутствии непосредственных связей каждой переменной со всеми остальными. Более детальное описание процедуры тестирования рассмотренных гипотез (см. Приложение, п. 2). На основании этого были выявлены все непосредственные связи и построен общий граф, показывающий наглядно *структуру непосредственных связей многомерного набора* (рис. 5). В ходе расчетов была подтверждена стабильность графа во времени за 2017–2019 гг. (непосредственные связи между переменными сохраняются, хотя величина коэффициентов частной корреляции может незначительно отличаться).

Как можно заметить из графа непосредственных связей, кроме традиционных показателей «Труд» и «Капитал», влияющих на ВРП, проявляются существенные связи со следующими показателями: «Численность исследователей» и агрегированные характеристики отраслевой структуры региона. В то же время видно, что имеется ряд переменных, которые влияют на ВРП опосредованно, через другие показатели. Это означает, что модель региональной производственной функции должна включать зависимости, указанные на графе непосредственных связей, а также должны быть построены эконометрические подмодели, отражающие все названные виды зависимостей. В данном исследовании для статистической оценки параметров производственной функции и всех подмоделей с их нелинейностями были использованы методы прямой минимизации ошибок (см. Приложение, п. 3).

В табл. 2 (правая часть) представлены результаты проверки семейства гипотез о равенстве нулю частных корреляций (методология проверки представлена в Приложении, п. 2). Единицами отмечены случаи отсутствия непосредственной связи ВРП с соответствующей переменной. Как видно из оценок, за период с 2017–2019 гг. устойчивая непосредственная связь с ВРП имеется для фондов, занятых, численности исследователей и отраслевых индексов. Для остальных переменных непосредственная связь отсутствует вовсе.

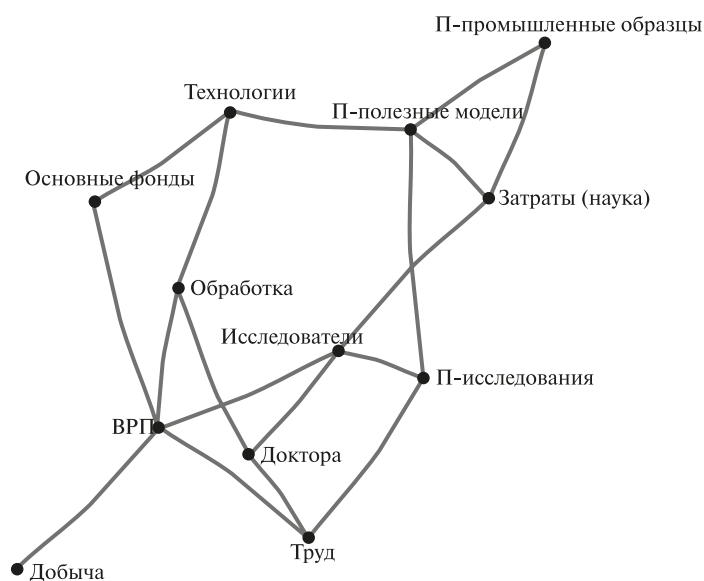


Рис. 5. Граф непосредственных связей для рассмотренной совокупности показателей региональной науки и экономики

Таблица 2. Статистические оценки частных корреляций ВРП и результаты проверки семейства гипотез на равенство нулю частных корреляций

Переменная	Результаты проверки семейства гипотез на равенство нулю частных корреляций					
	Частные корреляции с ВРП			H0: частная корреляция с ВРП равна нулю		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Исследователи	0,42	0,32	0,33	0	0	0
Доктора наук	0,13	0,11	0,24	1	1	1
Патенты на исследования	−0,13	−0,07	−0,07	1	1	1
Патенты на полезные модели	0,18	0,13	0,07	1	1	1
Патенты на промышленные образцы	0,09	0,12	0,00	1	1	1
Технологии	0,18	0,14	0,00	1	1	1
ВРП	1,00	1,00	1,00	0	0	0
Фонды	1,01	0,98	0,91	0	0	0
Труд	0,60	0,55	0,55	0	0	0
Индекс добывающей промышленности	0,43	0,54	0,76	0	0	0
Индекс обрабатывающей промышленности	0,29	0,27	0,28	0	0	0

На основании выявленных непосредственных связей было обобщено представление производственной функции для ВРП:

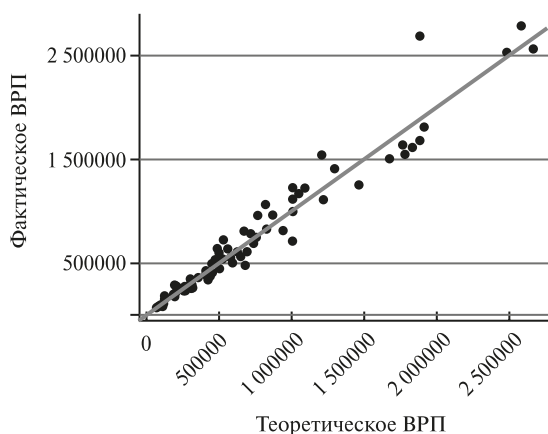
$$Y(t) = cK(t)^{\beta_1(t)} L(t)^{\beta_2(t)} P(t)^{\gamma}, \quad (1)$$

где

$$\beta_1(t) = \frac{\mu_1 \exp\{\mu_2 S_1(t) + \mu_3 S_2(t)\}}{1 + \mu_1 \exp\{\mu_2 S_1(t) + \mu_3 S_2(t)\}}, \quad \beta_2(t) = \frac{\lambda_1 \exp\{\lambda_2 S_1(t) + \lambda_3 S_2(t)\}}{1 + \lambda_1 \exp\{\lambda_2 S_1(t) + \lambda_3 S_2(t)\}},$$

$c, \gamma, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \mu_1, \mu_2, \mu_3$ — константы; t — момент времени; $Y(t)$ — валовый региональный продукт; $K(t)$ — стоимость основных фондов; $L(t)$ — численность занятых; $P(t)$ — численность исследователей; $S_1(t), S_2(t)$ — отраслевые индексы.

Заметим, что найденное выражение для ВРП оценено с большей точностью, чем раньше, а именно $R^2 = 0,975$, что больше, чем 0,95. Этот факт подтверждается графиком на рис. 6. Непосредственные связи с ВРП остаются теми же самыми (табл. 2), а значения параметров, выражающих эти связи в производственной функции (1), можно считать, меняются незначительно (табл. 3). Кроме того, разброс вокруг теоретически ожидаемых значений тем больше, чем больше сама региональная экономика.

**Рис. 6.** Теоретические значения оценок ВРП по модели (1) против фактических ВРП регионов РФ для 2019 г.**Таблица 3.** Значения оценок параметров модели (1) и их статистическая значимость каждый год периода 2017–2019 гг.

Параметр	2017 г.	2018 г.	2019 г.
C	16,18***	11,03***	6,24***
λ_1	1,119***	1,397***	1,834***
λ_2	0,003	0,005*	0,005*
λ_3	−0,01	−0,012*	−0,018*
μ_1	0,575***	0,517***	0,334***
μ_2	−0,004	−0,006	−0,005
μ_3	0,025*	0,031*	0,045*
γ	0,075**	0,049*	0,054*
R^2	0,976	0,976	0,975

Примечание. В таблице символами «***», «**», «*» отмечены оценки, значимые на уровне менее 0,001; 0,01 и 0,05 соответственно.

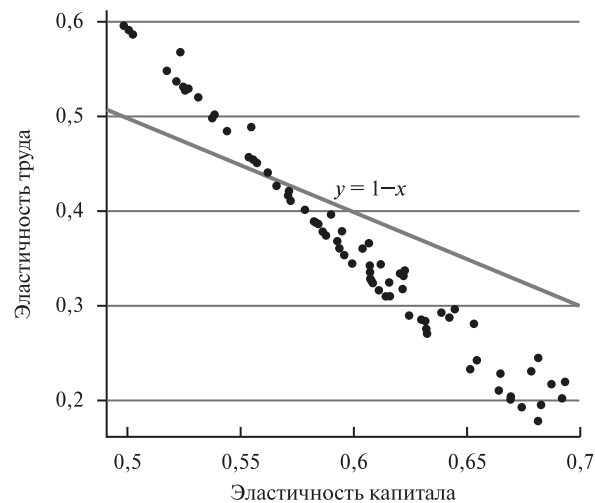


Рис. 7. Теоретические значения оценок ВРП по модели (1) для каждого региона

Рис. 7 иллюстрирует, что возрастающая отдача от масштаба характерна для регионов с высокой эластичностью труда и низкой эластичностью капитала, что, в свою очередь, означает высокую концентрацию обрабатывающей промышленности в соответствующих регионах.

Приводимые далее подмодели содержат количественные оценки, полученные для 2018–2019 гг.

4. ОСНОВНЫЕ БЛОКИ ОБЩЕЙ МОДЕЛИ

Рассмотрим основные блоки (подмодели) динамики формирования частей общей модели в момент времени t :

- число исследователей $P(t)$:

$$P(t+1) = 0,017R(t)^{0,69} D(t)^{0,18}, \quad R^2 = 96,25, \quad (2)$$

где $R(t)$ — общие затраты на науку; $D(t)$ — число докторов наук;

- число докторов наук:

$$D(t+1) = 0,08P(t)^{1,01 \exp\{-0,009S_2(t)\}} + 4,5 \times 10^{-5} L(t)^{2,009}, \quad R^2 = 78,87, \quad (3)$$

$L(t)$ — численность занятых; $S_2(t)$ — индикатор уровня обрабатывающей промышленности;

- число патентов на исследования $G_1(t)$:

$$G_1(t+1) = 0,004P(t)^{1,21} + 0,006L(t)^{1,48}, \quad R^2 = 78,2; \quad (4)$$

- число патентов на полезные модели $G_2(t)$:

$$G_2(t+1) = 0,11G_1(t)^{0,78} R(t)^{0,16}, \quad R^2 = 87,1; \quad (5)$$

- число патентов на промышленные образцы $G_3(t)$:

$$G_3(t+1) = 0,72G_2(t)^{0,71} R(t)^{0,19}, \quad R^2 = 0,58; \quad (6)$$

- число используемых технологий $H(t)$:

$$H(t+1) = 1,45G_2(t)^{0,37} K(t)^{\eta(t)}, \quad R^2 = 83,68, \quad (7)$$

$$\eta(t) = 0,66 \exp(0,01S_2(t)) / (1 + 0,66 \exp(0,01S_2(t))),$$

где $K(t)$ — стоимость основных фондов;

- показатель уровня добывающей ($S_1(t)$) и обрабатывающей ($S_2(t)$) отраслей промышленности:

$$S_2(t+1) = S_2(t) + 6,33 \log(H(t+1)/H(t)), \quad R^2 = 47,42. \quad (8)$$

Обозначим через $C(t)$ — величину конечного продукта, идущую на различные части личного и общественного потребления. Для любого момента времени t ее легко вычислить по формуле $C(t) = (1 - k - \mu)Y(t)$, где k — доля прямых инвестиций от ВРП; μ — доля общих затрат на науку.

5. ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ С УЧЕТОМ СОСТОЯНИЯ НАУКИ

Дискретный вариант модели для всей системы рассмотренных показателей и $t = 1, \dots, T$ согласно полученным подмоделям может быть представлен следующими итеративными соотношениями:

$$\begin{aligned}\alpha(t) &= \frac{0,35 + \exp\{0,29 + 0,009 \text{spec}2_t - 0,015 \text{spec}1_t\}}{1 + 0,35 \exp\{0,29 + 0,09 \text{spec}2_t - 0,015 \text{spec}1_t\}}, \\ \beta(t) &= \frac{1,71 + \exp\{-0,74 - 0,017 \text{spec}2_t + 0,039 \text{spec}1_t\}}{1 + 0,71 \exp\{-0,74 - 0,017 \text{spec}2_t + 0,039 \text{spec}1_t\}}, \\ P_{t+1} &= 0,032 R_t^{0,7} D_t^{0,19}, \quad D_{t+1} = (1 + \delta) D_t, \\ \text{Patent}1_{t+1} &= 0,29 P_t^{0,82}, \quad \text{Patent}2_{t+1} = 0,59 \text{Patent}1_t^{0,93}, \quad \text{Patent}3_{t+1} = 0,72 \text{Patent}2_t^{0,71}, \\ G_{t+1} &= 164,4 (\text{Patent}2_t)^{\exp\{0,05 \text{spec}1_t\} / (1 + \exp\{0,05 \text{spec}1_t\})}, \\ \text{spec}1_{t+1} &= \text{spec}1_t + 5,52 \ln \left[164,4 (\text{Patent}2_t)^{\exp\{0,05 \text{spec}1_t\} / (1 + \exp\{0,05 \text{spec}1_t\})} \right] - 5,52 \ln(G_t), \\ \text{spec}2_{t+1} &= \text{spec}2_t, \quad \text{GOP}_{t+1} = 11,19 K_t^{\alpha(t)} L_t^{\beta(t)} P^{0,049}, \\ R_{t+1} &= \mu \left[11,19 K_t^{\alpha(t)} L_t^{\beta(t)} P^{0,049} \right], \quad K_{t+1} = 0,97 K_t + k \left[11,19 K_t^{\alpha(t)} L_t^{\beta(t)} P^{0,049} \right], \quad L_{t+1} = (1 + \gamma) L_t.\end{aligned}$$

Данная система уравнений имеет форму последовательности итеративных соотношений, а не форму разностных уравнений, что определено исходными статистическими данными и полученными эконометрическими подмоделями. Заметим также, что два *динамических параметра* k и μ фактически являются управляющими параметрами процесса экономического роста, поскольку первый представляет долю ВРП, идущую на чистые инвестиции, а второй определяет долю, идущую на научные исследования. Выбирая траектории изменений этих параметров и проводя компьютерные расчеты, мы будем получать различные картины экономического роста в виде значений всех переменных модели.

Согласно данной модели, предполагается, что региональный выпуск определяется числом занятых L , объемом основных фондов K со своими коэффициентами эластичности, которые задаются отраслевой структурой ВРП и числом исследователей P (выделяется как дополнительный фактор производства с постоянным коэффициентом эластичности). Инвестиции в основной капитал определяются заданной долей выпуска k и увеличивают выпуск следующего года. Затраты R на науку определяют число исследователей и патентов в следующем году.

В классической экономико-математической постановке задачи для оптимизации экономического роста требуется максимизировать некоторый целевой функционал $U(C^1, \dots, C^T)$, выбирая соотношения между k^t и μ^t . Имитационное моделирование поведения экономики может далее проводиться при разных вариантах значений параметров модели.

Для наглядности рассмотрим зависимость экономического роста от уровня затрат на науку. На рис. 8 показаны различные траектории регионального роста ВРП для трех модельных вариантов доли затрат на науку.

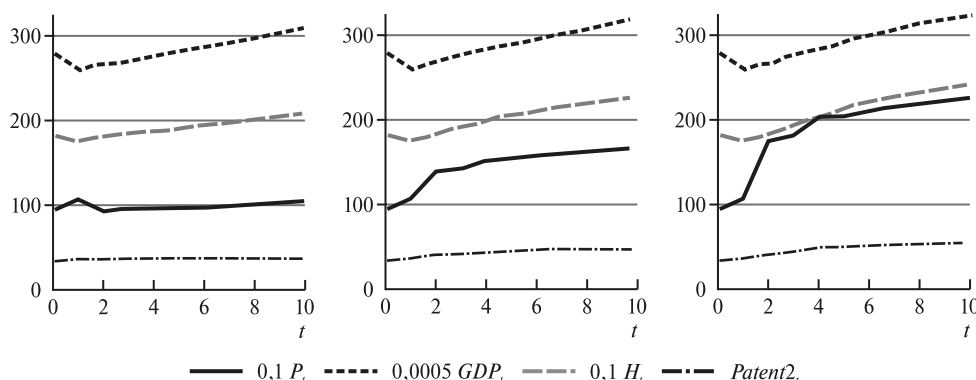


Рис. 8. Примеры уровня поддержки науки

Примечание. Вариант 1 — расходы сокращены до 0,5% ВРП; вариант 2 — расходы на уровне 2019 г., вариант 3 — расходы увеличены до 1,5% ВРП.

Для удобства изображения нескольких траекторий на одном рисунке были использованы разные коэффициенты сжатия для отдельных показателей, они указаны слева от траекторий. Характер изменения траектории сохраняется.

Рассмотрим также влияние параметров отдельных подмоделей на траекторию регионального экономического роста. Пусть параметр, характеризующий эффективность затрат на науку в подмодели динамики формирования числа исследователей, увеличен с прежнего значения 0,69 до 0,8, а уровень эффективности патентов на полезные модели в подмодели динамики формирования числа используемых технологий — увеличен с 0,37 до 0,5. Это изменение параметров приводит к существенному увеличению темпов экономического роста регионов (рис. 9).

Подобным образом могут быть получены варианты траекторий, соответствующие, например, разным соотношениям между долями ВРП, идущими на науку и чистые инвестиции. Возможно и проведение процедур прямой максимизации некоторого «глобального критерия оптимальности» на траекториях экономического роста при наличии четких представлений о форме целевых функционалов.

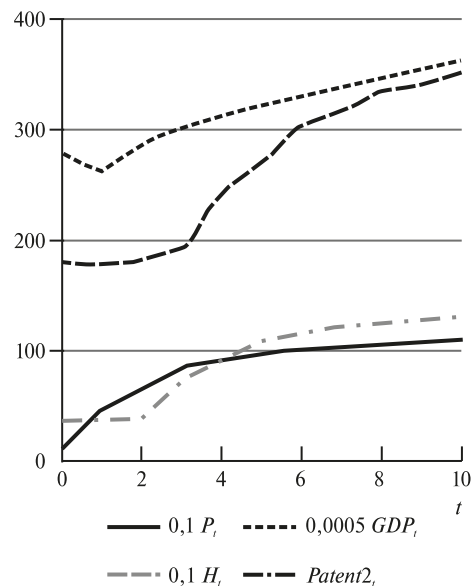


Рис. 9. Влияние параметров эффективности патентов для технологий и затрат на науку

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе наиболее важными являются два аспекта: методологический и содержательно экономический. К методологическому аспекту относится разработанная детальная техника выявления переменных, определяющих производственную функцию, а также нахождения оценок ее параметров. А именно:

- в работе продемонстрирована возможность на основе данных официальной статистики построить с достаточной точностью региональную производственную функцию для регионов России, учитывающую различные факторы влияния уровня науки;

- по данным официальной статистики построена согласованная совокупность эконометрических моделей, позволяющая представить динамическую модель регионов России в условиях влияния науки. Данная модель может быть основой для проведения прогнозных и плановых расчетов на перспективу;

- проведенные многочисленные статистические расчеты показали эффективность так называемого причинного анализа для исследования многомерных реальных объектов. Используемые подходы с методами прямой оптимизации ошибок и тестированием семейства гипотез могут быть рекомендованы для самых различных ситуаций исследования сложных статистических процессов.

К важным содержательно экономическим результатам можно отнести:

- уровень региональной науки оказался неравномерным по регионам. Кроме того, в большинстве регионов РФ наблюдается снижение этого уровня за период с 2017–2019 гг.;

- выявлена роль конкретных показателей региональной науки, определяющих возможности экономики;

- конкретизирована связь научного развития в регионах РФ с уровнем развития отраслей обрабатывающей промышленности;

- растущая отдача от масштаба проявляется только в регионах, где преобладают отрасли обрабатывающей промышленности;

— установлена роль эффективности общих затрат на науку и влияние патентов на использование технологий, что обеспечивает возможность более динамичного экономического роста.

К сожалению, для эффективного прогнозирования и реального управления необходим гораздо больший объем статистической информации, которого мы не имеем. Добавим, что особенно важна научная обоснованность управленческих решений на общегосударственном уровне с привлечением квалифицированных носителей научных знаний.

Совершенно понятно, что как без развития науки не может быть развития экономики и экономического роста, точно так же развитие самой науки невозможно без развития и совершенствования системы образования. Мы предполагаем далее совершенствовать наши модели путем включения в них исследований взаимодействий между образованием и наукой.

В заключение подчеркнем, что главное в наших разработках — методологический подход, который мы считаем необходимым использовать при прогнозировании и управлении такими сложными социальными объектами, как экономическая система в условиях научно-технического прогресса.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Упорядоченность регионов России по значениям условного индекса уровня науки (на 2019 г.)

Свердловская обл.	7,214	Ивановская обл.	0,034	Калининградская обл.	–1,398
Нижегородская обл.	7,03	Иркутская обл.	0,018	Камчатский край	–1,414
Республика Татарстан	6,865	Ленинградская обл.	0,011	Оренбургская обл.	–1,455
Новосибирская обл.	5,86	Республика Крым	–0,179	Республика Коми	–1,546
Ростовская обл.	5,131	Белгородская обл.	–0,237	Республика Марий Эл	–1,56
Самарская обл.	4,558	Рязанская обл.	–0,347	Республика Сев. Осетия — Алания	–1,565
Республика Башкортостан	4,194	Тульская обл.	–0,376	Костромская обл.	–1,573
Челябинская обл.	3,825	Алтайский край	–0,379	Республика Карелия	–1,594
Краснодарский край	3,26	Липецкая обл.	–0,382	Орловская обл.	–1,639
Саратовская обл.	2,078	Курская обл.	–0,414	Псковская обл.	–1,647
Воронежская обл.	1,871	Кемеровская обл.	–0,444	Астраханская обл.	–1,651
Пермский край	1,644	Ставропольский край	–0,462	Республика Бурятия	–1,682
Томская обл.	1,514	Хабаровский край	–0,765	Кабардино-Балкарская Республика	–1,752
Красноярский край	1,375	Кировская обл.	–0,806	Амурская обл.	–1,757
Владимирская обл.	1,267	Брянская обл.	–0,859	Республика Адыгея	–1,842
Тюменская обл.	1,149	Новгородская обл.	–0,913	Магаданская обл.	–1,901
Калужская обл.	0,847	г. Севастополь	–0,982	Забайкальский край	–1,923
Волгоградская обл.	0,693	Республика Мордовия	–0,983	Республика Ингушетия	–1,967
Омская обл.	0,576	Республика Дагестан	–1,015	Республика Алтай	–1,991
Ярославская обл.	0,553	Курганская обл.	–1,127	Республика Хакасия	–2,09
Тверская обл.	0,403	Республика Саха (Якутия)	–1,164	Карачаево-Черкесская Республика	–2,104
Чувашская Республика	0,364	Смоленская обл.	–1,239	Чеченская Республика	–2,104
Ульяновская область	0,35	Вологодская обл.	–1,243	Сахалинская обл.	–2,16
Пензенская обл.	0,339	Мурманская обл.	–1,282	Республика Калмыкия	–2,215
Удмуртская Республика	0,156	Архангельская обл.	–1,334	Республика Тыва	–2,416
Приморский край	0,041	Тамбовская обл.	–1,341		

2. Анализ структуры непосредственных связей экономических показателей региона

Необходимо различать стандартные корреляционные связи и так называемые *непосредственные связи* (Гаврилец, 1974). В гауссовском случае для совокупности из l случайных переменных $(X_1, \dots, X_l)$ отсутствие непосредственной связи между X_i и X_j определяется равенством нулю коэффициента частной ковариации ($\text{cov}(X_i, X_j | X_{(i,j)})$) и корреляции ($\text{cor}(X_i, X_j | X_{(i,j)})$).

Для вычисления частных корреляций в гауссовском случае можно использовать следующий результат.

Теорема 1 (Lauritzen, 1996). Пусть $(X_1, \dots, X_l) \sim N_l(\mu, \Sigma)$, где μ, Σ — математическое ожидание, ковариационная матрица для случайного вектора $(X_1, \dots, X_l)$. Тогда:

1) $\text{cor}(X_i, X_j | X_{(i,j)}) = -k_{i,j} / \sqrt{k_{i,i} k_{j,j}} \forall i \neq j, i, j \in \{1, \dots, l\}$, где $K = (k_{i,j}) = \Sigma^{-1}$. Матрицу K называют матрицей концентрации распределения $N_l(\mu, \Sigma)$;

2) $E(X_i | X_{(i)}) = \mu_i + \sum_{j \in \{1, \dots, l\}, j \neq i} \beta_{i,j|i}(x_j - m_j)$, где $\beta_{i,j|i} = -k_{i,j} / k_{i,i}$.

Из теоремы 1 следует, что в гауссовском случае нахождение случаев отсутствия непосредственных связей равносильно определению нулей в матрице концентрации $\text{cor}(X_i, X_j | X_{(i,j)}) = 0 \Leftrightarrow k_{i,j} = 0 \forall i \neq j, i, j \in \{1, \dots, l\}$, а находить непосредственные связи можно и при помощи регрессионного подхода. Для всех X_j , непосредственно связанных с X_i , выполняется условие $\beta_{i,j|i} \neq 0$.

Как указано выше, для выявления непосредственных связей используются статистические оценки частных корреляций. Функция распределения статистической оценки $\hat{\rho}(X_i, X_j | X_{(i,j)})$ имеет такой же вид, как функция распределения для $\hat{\rho}(X_i, X_j)$ (см. теорему 2).

Теорема 2 (Anderson, 2003). Пусть $F(\cdot | N, \rho(X_i, X_j))$ — функция распределения оценки $\hat{\rho}(X_i, X_j)$, построенная по выборке из N независимых наблюдений из двумерного нормального распределения с корреляцией $\rho(X_i, X_j)$. Тогда функция распределения выборочной частной корреляции $\hat{\rho}(X_i, X_j | X_{(i,j)})$, построенной по выборке из N независимых наблюдений двумерного нормального распределения с частной корреляцией $\rho(X_i, X_j | X_{(i,j)})$, имеет вид $F(\cdot | N - g, \hat{\rho}(X_i, X_j | X_{(i,j)}))$, где g — число переменных в $X_{(i,j)}$.

Имеется $0,5l(l-1)$ частных корреляций $\rho(X_i, X_j | X_{(i,j)})$, $i, j = 1, \dots, l$. Однако среди этих частных корреляций имеются и статистически незначимые. Таким образом, для построения графа непосредственных связей необходимо проверить $0,5l(l-1)$ гипотез:

$$H_0^{ij} : \rho(X_i, X_j | X_{(i,j)}) = 0 \text{ против } H_1^{ij} : \rho(X_i, X_j | X_{(i,j)}) \neq 0, \quad (A1)$$

где $1 \leq i < j \leq l$.

Для проверки значимости отдельной частной корреляции можно использовать статистику тестирования гипотезы о равенстве нулю условной корреляции из (Holm, 1979; Lauritzen, 1996): $t_{i,j} = \hat{\rho}_{i,j} [l(n-l)/(1-\hat{\rho}_{i,j}^2)]^{1/2}$, где $1 \leq i < j \leq l$, $\hat{\rho}_{i,j}$ — эмпирическая оценка частной корреляции $\rho(X_i, X_j | X_{(i,j)})$ по выборке объемом n .

В условиях справедливости $H_0 : \rho(X_i, X_j | X_{(i,j)}) = 0$ указанная t -статистика имеет $t(n-l)$ -распределение, где g — число переменных в $X_{(i,j)}$.

Но при тестировании семейства из $0,5l(l-1)$ гипотез, обозначенных выше, в некотором смысле накапливается ошибка первого рода, и для ее контроля следует использовать специальные методы множественного тестирования, которые позволяют контролировать вероятность возникновения ложно отвергнутых нулевых гипотез так, чтобы она не превышала заданной границы. Более формально эта задача может быть сформулирована следующим образом.

Пусть $S = \{(i, j) : 1 \leq i < j \leq l\}$ и пусть $S_0 = \{(i, j) : H_0^{ij} = 0\}$ — множество истинных нулевых гипотез. Каждому $(i, j) \in S$ соответствует тестовая статистика $t_{i,j}$ для проверки нулевой гипотезы H_0^{ij} . Обозначим через $(p_{(1,2)}, \dots, p_{(l-1,l)})$ соответствующую им совокупность p -значений. Требуется определить правило проверки нулевых гипотез, контролирующее уровень ошибок α для семейства гипотез $P\{\#(R \cap S_0) > 0\} \leq \alpha$, где «#» обозначает число элементов множества; $R = R(p_{(1,2)}, \dots, p_{(l-1,l)}) = \{(i, j) | \text{тест отвергает гипотезу } H_0^{ij}\}$.

В качестве примеров применения таких правил приведем:

1) процедуру Бонферрони (Bonferroni, 1936), для которой $R = \{(i, j) | p_{(i,j)} \geq 2\alpha / l(l-1)\}$. Однако, как показано в работе (Holm, 1992), процедура Бонферрони соответствует меньшей мощности при проверке семейства гипотез, чем процедура Хольма;

2) процедуру Хольма (Holm, 1979), для которой

$$R = \left\{ (i, j) \mid \max_{(i^*, j^*): \text{rank}(p_{(i^*, j^*)}) < \text{rank}(p_{(i, j)})} \left[p_{(i^*, j^*)} \left(0, 5l(l-1) - 1 + \text{rank}(p_{(i^*, j^*)}) \right) \right] \leq \alpha \right\},$$

где $\text{rank}(p_{(i, j)})$ — порядковый номер $p_{(i, j)}$ в упорядоченном по возрастанию массиве всех $(p_{(1, 2)}, \dots, p_{(m-1, m)})$. Процедура Хольма не предполагает независимости между гипотезами в рассматриваемом семействе.

В нашем исследовании последовательно тестировались гипотезы об отсутствии непосредственных связей каждой переменной со всеми остальными. Для проверки гипотез об одновременном отсутствии непосредственных связей с ошибкой первого рода не выше α мы использовали процедуру Хольма.

3. Нелинейные регрессионные модели. МНК-оценки параметров

Пусть $y_1, \dots, y_N \in \mathbb{R}$ — наблюдения из стандартной регрессионной модели $y_i = f(\mathbf{x}_i, \boldsymbol{\theta}^*) + \varepsilon_i$, $i = 1, \dots, N$, где $f: \mathbb{R}^k \rightarrow \mathbb{R}$ — нелинейная функция объясняющих переменных $\mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^k$; $\boldsymbol{\theta}^* \in \mathbb{R}^p$ — вектор неизвестных параметров; (ε_i) предполагаются не обязательно нормально распределенными случайными величинами с $E(\varepsilon_i) = 0$ и $\text{Var}(\varepsilon_i) = \sigma^2$.

В предположении, что вид функции $f(\cdot)$ известен, МНК-оценки вектора параметров $\boldsymbol{\theta}$ получаются решением задачи: $\hat{\boldsymbol{\theta}} = \arg\min_{\boldsymbol{\theta}} \sum_{i=1}^N (y_i - f(\mathbf{x}_i, \boldsymbol{\theta}))^2$. Оно получается численными методами с использованием алгоритма Левенберга–Марквардта (Ratkowsky, 1990; Seber, Wild, 2003).

Для достаточно больших n и при соответствующих предположениях о регулярности (таких как дважды непрерывно дифференцируемости $f(\mathbf{x}_i, \boldsymbol{\theta})$ по $\boldsymbol{\theta}$), МНК-оценка $\hat{\boldsymbol{\theta}}$ имеет асимптотически нормальное распределение:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} \sim N_p \left(\boldsymbol{\theta}^*, \sigma^2 \left[(F(\boldsymbol{\theta}^*))^T F(\boldsymbol{\theta}^*) \right]^{-1} \right),$$

где $F(\boldsymbol{\theta}^*) = \left[\partial f(\mathbf{x}_i, \boldsymbol{\theta}) / \partial \boldsymbol{\theta}_j \big|_{\boldsymbol{\theta}=\boldsymbol{\theta}^*} \right]_{i,j} \in \mathbb{R}^{N \times p}$. Приведенный асимптотический результат получается с использованием линейной аппроксимации $f(\mathbf{x}_i, \boldsymbol{\theta})$ в малой окрестности $\boldsymbol{\theta}^*$ в сочетании с применением центральной предельной теоремы. Строгое доказательство можно найти в (Ratkowsky, 1990; Seber, Wild, 2003).

Заменяя σ^2 на оценку дисперсии $s^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - f(\mathbf{x}_i, \hat{\boldsymbol{\theta}}))^2 / (N - p)$, совместная $100(1 - \alpha)\%$ — доверительная область для $\boldsymbol{\theta}^*$ может быть построена по формуле

$$\left\{ \boldsymbol{\theta} : (\boldsymbol{\theta} - \hat{\boldsymbol{\theta}})^T (F(\hat{\boldsymbol{\theta}}))^T F(\hat{\boldsymbol{\theta}}) (\boldsymbol{\theta} - \hat{\boldsymbol{\theta}}) \leq p s^2 F_{1-\alpha}^{p, n-p} \right\},$$

где $F_{1-\alpha}^{p, n-p}$ обозначает $(1 - \alpha)$ -квантиль распределения с p и $n - p$ степенями свободы.

Кроме того, $100(1 - \alpha)\%$ — доверительный интервал для компоненты j вектора $\boldsymbol{\theta}^*$ задается формулой:

$$\left\{ \hat{\theta}_j - s \left(\left[(F(\hat{\boldsymbol{\theta}}))^T F(\hat{\boldsymbol{\theta}}) \right]_{jj}^{-1} \right)^{1/2} t_{1-0.5\alpha}^{n-p}; \quad \hat{\theta}_j + s \left(\left[(F(\hat{\boldsymbol{\theta}}))^T F(\hat{\boldsymbol{\theta}}) \right]_{jj}^{-1} \right)^{1/2} t_{1-0.5\alpha}^{n-p} \right\},$$

где $\left[(F(\boldsymbol{\theta}^*))^T F(\boldsymbol{\theta}^*) \right]_{jj}^{-1}$ — диагональный элемент матрицы $\left[(F(\hat{\boldsymbol{\theta}}))^T F(\hat{\boldsymbol{\theta}}) \right]^{-1}$; $t_{1-0.5\alpha}^{n-p} - (1 - \alpha)$ — квантиль для t -распределения с $(n - p)$ степенями свободы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Варшавский А.Е., Макаров В.Л. (2004). Стратегия устойчивого развития: необходимость инвестирования в будущее. В кн.: «Инновационный менеджмент в России: вопросы стратегического управления и научно-технологической безопасности» В.Л. Макаров, А.Е. Варшавский (рук. авт. кол.). М.: Наука. [Varshavskiy A.E., Makarov V.L. (2004). Sustainable development strategy: The need for investing in the future. In: *Innovation management in Russia: Issues of strategic management and scientific and technological security*. V.L. Makarov, A.E. Varshavskiy (heads of authors' team). Moscow: Nauka (in Russian).]

- Варшавский А.Е., Макаров В.Л.** (2015). Наука, высокотехнологичные отрасли и инновации. В сб.: «*Экономика России. Оксфордский Сборник*». Кн. 2. М.: Изд-во Института Гайдара. [Varshavsky A.E., Makarov V.L. (2015). Science, high-tech industries and innovation. In: *Russian economy. Oxford compendium*. Book 2. Moscow: Gaidar Institute Publishing House (in Russian).]
- Гаврилец Ю.Н.** (1974). Социально-экономическое планирование. Системы и модели. М.: Экономика. [Gavrilets Yu.N. (1974). *Social and economic planning. Systems and models*. Moscow: Economics. (in Russian).]
- Гаврилец Ю.Н., Кудров А.В., Тараканова И.В.** (2018). Анализ внутренней структуры экономического потенциала роста // *Электронный журнал Вестник ЦЭМИ РАН*. Т. 1. № 1. Режим доступа: <https://cemi.jes.ru/s11111110000009-2-1/> [Gavrilets Yu.N., Kudrov A.V., Tarakanova I.V. (2018). Analysis of the internal structure for the economic growth potential. *Herald of CEMI*, 1, 1. Available at: <https://cemi.jes.ru/s11111110000009-2-1/> (in Russian).]
- Гаврилец Ю.Н., Лебедев К.В., Тараканова И.В.** (2021). О статистической оценке уровня науки и образования в субъектах Российской Федерации в 2017–2019 гг. В сб.: «Сборник статей международной научно-практической конференции». Краснодар: Просвещение-Юг. [Gavrilets Y.N., Lebedev K.V., Tarakanova I.V. (2021). On statistical evaluation of science and education in the subjects of the Russian Federation in 2017–2019. In: *Collection of articles of the international scientific-practical conference*. Krasnodar: Prosveshchenie-Yug (in Russian).]
- Глазьев С.Ю.** (2019) Развитие российской экономики в условиях глобальных технологических сдвигов. Будущее России. Вызовы и проекты: Экономика. Техника. Инновации. М.: URSS [Glazhev S.Yu. (2019). *The development of the Russian economy in the context of global technological shifts. The future of Russia. Executions and projects: Economics. Technique. Innovations*. Moscow: URSS (in Russian).]
- Голиченко О.Г.** (2007) Национальная инновационная система России: состояние и пути развития // *Вопросы экономики*. № 7. С. 155–157. [Golichenko O.G. (2007). National innovation system of Russia: State and ways of development. *Voprosy Ekonomiki*, 7, 155–157 (in Russian).]
- Макаров В.Л.** (2003). Контуры экономики знаний // *Экономист*. № 3. С. 3–15. [Makarov V.L. (2003). Contours of knowledge economy. *The Economist*, 3, 3–15 (in Russian).]
- Макаров В.Л.** (2013). Наука не может быть эффективной // *Прямые инвестиции: журнал о реальной экономике*. № 5. С. 21–23. [Makarov V.L. (2013). Science cannot be effective. *Direct Investments: Magazine about Real Economy*, 5, 21–23 (in Russian).]
- Хейс Д.** (1981). Причинный анализ в статистических исследованиях. М.: Финансы и статистика. [Hayes D. (1981). *Causal analysis in statistical research*. Moscow: Finansy i statistika (in Russian).]
- Boeing P., Eberle J., Howell A.** (2022). The impact of China's R&D subsidies on R&D investment, technological upgrading and economic growth. *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 174. DOI:10.1016/j.techfore.2021.121212
- Bonferroni C.** (1936). Teoria statistica delle classi e calcolo delle probabilità. *Publicazioni del R. Istituto Superiore di Scienze Economiche e Commerciali di Firenze*, 8, 1–62.
- David P., Hall B., Toole A.** (2000). Is public R&D a complement or substitute for private R&D? A Review of the Econometric Evidence. *Research Policy*, 29 (4–5), 497–529.
- Holm S.** (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*, 6, 2, 65–70.
- Lauritzen S.** (1996). *Graphical models*. Oxford: Oxford University Press.
- Liu F., Simon D., Sun Y., Cao C.** (2011). China's innovation policies: Evolution, institutional structure, and trajectory. *Research Policy*, 40, 917–931.
- Mazzucato M.** (2015). *The entrepreneurial state: Debunking public vs. private sector myths*. London: Anthem Press.
- OECD (2022a). *Gross domestic spending on R&D (indicator)*. DOI: 10.1787/d8b068b4-en
- OECD (2022b). *Researchers (indicator)*. DOI: 10.1787/20ddfb0f-en
- Ratkowsky D.** (1993). Principles of nonlinear regression modeling. *Journal of Industrial Microbiology*, 12, 195–199.
- Stiglitz J., Lin Y., Monga C.** (2013). The rejuvenation of industrial policy. *World Bank Policy, Res. Work. Pap.* 6628.
- Seber G., Wild C.** (2003). *Nonlinear Regression*. N.Y.: Wiley.

Statistical analysis and modeling of regional economy and science relationship

© 2022 Yu.N. Gavrilets, A.V. Kudrov, I.V. Tarakanova

Yu.N. Gavrilets,*Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
e-mail: yurkag@mail.ru***A.V. Kudrov,***Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
e-mail: kovlal@inbox.ru***I.V. Tarakanova,***Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
e-mail: itar40@mail.ru*

Received 13.07.2022

Abstract. This paper proposes the analysis of regional economy dynamic model, reflecting the correlation between regional output, the number of employees and production funds. The attention is focused on the influence of different factors of science development on the economy. Those are: the number of PhD and researchers, the number of patents (of different kinds) and the new technologies. Besides, the sectoral orientation of the regional economy is taken into account, firstly, determined by the level of development of the mining and manufacturing. To build the models and make statistical calculations, the data of the official statistics is used. All the main parameters of the proposed model are estimated using modern computational optimization procedures given nonlinear dependencies. Statistical calculations showed that the obtained values of the main parameters of the models are significant, and the models themselves can be used for individual private estimations and forecasts. An important methodological feature of our approach: the necessary dependencies between model variables are identified with causal analysis methods and family hypothesis significance testing techniques. For this purpose, the general form of the production function is revealed by finding a graph of direct relationships of the entire system of the main variables. The resulting model is a methodological basis for constructing short-term forecasts of regional economic dynamics, which takes into account the contribution of science and the role of its individual components on economic growth. Besides, the dynamic model allows visualizing different variants of scenario analysis and gives an opportunity to optimize the trajectory. Selected computer calculations show how the qualitative nature of the trajectories of science and economy variables changes.

Keywords: indicators of regional science; causal analysis; immediate connections; structure of connections; science development index; index of sectoral orientation; dynamical model; trajectories of economic growth.

JEL Classification: C53, D51.

For reference: **Gavrilets Yu.N., Kudrov A.V., Tarakanova I.V.** (2022). Statistical analysis and modeling of regional economy and science relationship. *Economics and Mathematical Methods*, 58, 4, 56–70. DOI: 10.31857/S042473880023019-9

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

**Оценка влияния демографических факторов на уровень инфляции
в регионах России**

© 2022 Е.С. Шевченко

Е.С. Шевченко,

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва;
e-mail: esshevchenko@hse.ru*

Поступила в редакцию 09.06.2022

Автор выражает глубокую благодарность за советы, замечания и комментарии Ольге Анатольевне Демидовой (НИУ ВШЭ) и Светлане Федоровне Серегинной (НИУ ВШЭ).

Аннотация. На уровень инфляции в экономике могут влиять как монетарные, так и немонетарные факторы. Демографические факторы, в частности возрастная структура населения, формируют экономическую среду, в которой действует денежно-кредитная политика и развиваются инфляционные процессы. При прогнозировании инфляции следует учитывать не только характер влияния на нее возрастной структуры населения, но и понимать, каков вклад этого фактора в динамику уровня инфляции как в стране в целом, так и в отдельных регионах, в частности в федеральных округах. Региональный аспект взаимосвязи демографических процессов и инфляции важен, поскольку географическая и экономическая специфика округов, различия в традициях, укладе жизни населения определяют и разную демографическую динамику в отдельных регионах, а значит, и ее влияние на инфляционные процессы. Для оценки доли этого влияния использовалось факторное разложение коэффициента детерминации. Проведенный анализ выявил, что рост доли групп населения моложе и старше трудоспособного возраста оказывает инфляционное влияние на динамику цен, а рост доли населения трудоспособного возраста — дефляционное. В целом по стране доли влияния разных возрастных групп на уровень инфляции различаются: для населения моложе трудоспособного возраста она составляет около 8% коэффициента детерминации, что составляет около 6% в динамике уровня инфляции; для населения трудоспособного возраста — около 5% в динамике уровня инфляции и для населения старше трудоспособного возраста — около 1%. В то же время эта доля различается и в разных федеральных округах. Поскольку разные возрастные группы населения отличаются поведением в области потребления, сбережения, заимствования, формирования инфляционных ожиданий и уровнем доверия к политике монетарных властей, возрастная структура населения может оказаться значимым фактором эффективности монетарной политики при достижении целевых показателей уровня инфляции.

Ключевые слова: уровень инфляции, региональная инфляция, демографические факторы инфляции, немонетарные факторы инфляции, факторное разложение коэффициента детерминации, регионы России.

Классификация JEL: E31.

Для цитирования: **Шевченко Е.С.** (2022). Оценка влияния демографических факторов на уровень инфляции в регионах России // *Экономика и математические методы*. Т. 58. № 4. С. 71–82. DOI: 10.31857/S042473880023020-1

ВВЕДЕНИЕ

Уровень инфляции в экономике формируется под влиянием множества факторов — как монетарных, так и немонетарных. Их классификация может различаться. Так, в докладе «О немонетарных факторах инфляции и мерах по снижению ее волатильности» Банк России предложил следующую градацию факторов инфляции «на основе критерия действенности мер ДКП в среднесрочной перспективе»: монетарные — те, на которые Банк России влияет непосредственно; немонетарные — те, на которые Банк России не может влиять при помощи инструментов ДКП; и монетарно-немонетарные, — которые могут формироваться в результате совокупного воздействия как монетарных властей, так и внешних экономических условий (табл. 1)¹.

¹ Доклад Банка России «О немонетарных факторах инфляции и мерах по снижению ее волатильности» (2017 г.). (<http://www.cbr.ru/Content/Document/File/25502/nfi.pdf>).

Таблица 1. Факторы инфляции

Монетарные факторы	Немонетарные факторы	Монетарно-немонетарные факторы
Ключевая ставка Банка России	Внешнеэкономические условия	Обменный курс рубля
Процентные ставки денежного рынка	Структурные факторы	Кредитование и иные заимствования
Процентные ставки по кредитам и депозитам в экономике	Нормативно-правовая среда	Процессы потребления и сбережения
Инфляционные ожидания	Фискальная политика	Формирование издержек
	Факторы со стороны предложения товаров и услуг	Тарифная политика

Источник: составлено автором по Докладу Банка России «О немонетарных факторах инфляции и мерах по снижению ее волатильности», 2017 г. (<http://www.cbr.ru/Content/Document/File/25502/nfi.pdf>).

В этом перечне отсутствуют демографические факторы, в частности возрастная структура населения. Этот фактор сложно отнести к какой-то одной подгруппе в классификации Банка России. Он близок как к структурным факторам немонетарной группы, которые, в частности, учитывают параметры рабочей силы, так и к третьей группе — монетарно-немонетарным факторам, поскольку связан с влиянием разных возрастных групп на процессы потребления, сбережения, заимствования.

До недавнего времени исследованию связи между демографическими процессами и инфляцией уделялось мало внимания. Но в последние десятилетия исследователи заинтересовались сочетанием двух одновременных процессов в странах Западной Европы и Японии — старения населения, т.е. роста доли населения старше трудоспособного возраста при низких темпах рождаемости, и дефляции. В результате исследований соотношения между этими процессами появился ряд работ о возможном влиянии демографических факторов на темпы инфляции. Анализ этой связи затруднен, так как каналы передачи влияния возрастной структуры населения на экономические переменные многообразны и приносят различные результаты. Однако выводы исследователей подтверждают мнение о том, что демографические процессы являются одной из сил, формирующих экономическую среду, в которой действует денежно-кредитная политика (Broniatowska, 2019) и протекают инфляционные процессы. Уточнение каналов влияния возрастной структуры населения поэтому имеет большое значение для проведения денежно-кредитной политики и прогнозирования инфляции (Juselius, Takáts, 2015, 2018).

В своей недавней монографии (Goodhart, Pradhan, 2020) показали, что эволюция последних тенденций в экономике была обусловлена сочетанием демографических факторов с глобализацией, что привело к крупнейшему за всю историю отрицательному шоку предложения рабочей силы (в сочетании с развитием трудосберегающих технологий). Ему предшествовал продолжительный период положительной динамики предложения рабочей силы (1970–2010 гг.), что работало в сторону понижения уровня цен. Но в последнее десятилетие возник ряд факторов, которые могут вызвать рост инфляции в ближайшей перспективе, и важнейший среди них — демографический. Старение населения характерно не только для развитых, но и для развивающихся стран. Рост коэффициента демографической нагрузки (отношения населения моложе и старше трудоспособного возраста к населению трудоспособного возраста) означает, что растет соотношение тех, кто потребляет, но не производит, к работающим — тем, кто производит больше, чем потребляет. Но работающее население создает дефляционное давление на цены, тогда как неработающее — инфляционное. И второе постепенно начинает перевешивать первое. Одновременно старение населения в мире, по мнению этих авторов, может привести к нехватке рабочей силы, а следовательно, и к росту переговорной силы работников, что повысит инфляцию заработной платы, которая в течение многих лет оставалась на очень низком уровне.

Как правило, дифференцированное воздействие возрастных групп населения на уровень инфляции объясняется гипотезой жизненного цикла, предложенной Ф. Модильяни (Modigliani, Brumberg, 1954; Han, 2019). Согласно этой теории индивид будет сглаживать свое потребление на всех этапах своей жизни, т.е. будет стремиться к тому, чтобы посредством займов, сбережений и заработков на протяжении всей жизни формировался равномерный уровень потребления

(Irraguirre, 2020). Поэтому в период, когда индивид работает, т.е. находится в трудоспособном возрасте, он будет нести расходы на текущее потребление и содержание семьи и детей, а также формировать сбережения на пенсионный период. В пенсионном возрасте он будет тратить накопленные сбережения, чтобы поддерживать прежний уровень потребления.

Работа (Juselius, Takáts, 2018), в которой представлен всесторонний анализ взаимосвязи между инфляцией и возрастной структурой населения для 22 стран с развитой экономикой с 1870 по 2016 г., подтверждает устойчивый характер этой связи, что также согласуется с гипотезой жизненного цикла. Авторы показывают, что молодежь и пожилые люди, как правило, ассоциируются с более высокой инфляцией, в то время как когорты трудоспособного возраста — с более низкой инфляцией. Результаты исследования свидетельствуют также о том, что в последнее десятилетие инфляционное давление со стороны растущей доли пожилых людей было еще недостаточно сильным, чтобы компенсировать дезинфляционное давление со стороны снижающейся доли трудоспособного населения. В то же время стабильное влияние возрастной структуры на инфляционные процессы в сочетании с демографическими прогнозами позволяет предположить, что в ближайшие десятилетия инфляционное давление существенно возрастет из-за старения населения.

Однако делать однозначные выводы о том, как поведение разных возрастных групп населения влияет на экономические показатели, и в частности на уровень инфляции, в разных странах довольно сложно, поскольку существует ряд факторов, которые определяют страновую специфику влияния возрастной структуры населения на инфляционные процессы. Среди таких факторов можно выделить: менталитет; исторический опыт и связанный с ним уровень доверия населения к проводимой в стране политике монетарных властей; традиции, уклады; степень неравенства доходов населения и сам уровень доходов населения до и после выхода на пенсию.

Так, например, оценка инфляционных ожиданий респондентами разных возрастных групп в Новой Зеландии показала, что молодые люди в возрасте до 25 лет при опросах завышают ожидаемый уровень инфляции относительно наиболее распространенных в выборке базовых респондентов (от 25 до 60 лет), а население старше 65 лет, наоборот, занижает (Leung, 2009). В отчете Фонда «Общественное мнение» (ФОМ, 2021), где был проанализирован опрос населения в возрасте старше 18 лет, в целом можно увидеть более пессимистичные ожидания относительно экономической ситуации в стране у населения старше 60 лет, чем у остальных категорий граждан. Но в вопросах, касающихся оценки уровня цен за прошедший период наибольший рост отметили группы населения в возрасте от 30 до 60 лет. Эти же категории ожидают и наибольшего роста цен и в следующем году².

В работе (Irraguirre, 2020) отмечается, что рост доли населения старше трудоспособного возраста способствует снижению совокупного уровня сбережений в стране, которые, в свою очередь, могут служить источником инвестиций. Действительно, с выходом на пенсию эта часть населения перестает зарабатывать и сберегать, а продолжает жить на сделанные ранее сбережения. В России ситуация иная. Согласно данным Счетной палаты РФ доля работающих пенсионеров в РФ довольно велика и в 2021 г. составила около 20%³.

Даже краткий обзор работ по данной тематике позволяет увидеть разнонаправленное воздействие изменения доли отдельных возрастных групп населения на инфляцию (табл. 2). Так, если

Таблица 2. Результаты исследований взаимосвязи возрастных групп населения и инфляции

Источник	Население			Страны	Период	Использованные модели
	молодежь трудоспособного возраста	трудоспособного возраста	старше трудоспособного возраста			
Albuquerque et al., 2020		+ (в возрасте 20–34), – (в возрасте 35–64)	+	24 страны ОЭСР	1961–2014	Модели панельных данных
Aksoy et al., 2015	+	–	+	21 страна ОЭСР	1970–2007	VAR

² Отчет ФОМ «Измерение инфляционных ожиданий и потребительских настроений на основе опросов населения», август 2021 (https://www.cbr.ru/Collection/Collection/File/35571/inFOM_21-08.pdf).

³ Оперативный доклад за I полугодие 2021 г. Счетной палаты РФ от 25 августа 2021 г. (<https://ach.gov.ru/audit/6-mon-2021>).

Окончание таблицы 2.

Источник	Население			Страны	Период	Использованные модели
	моложе трудоспособного возраста	трудоспособного возраста	старше трудоспособного возраста			
Andrews et al., 2018	+	—	+ (от 65 до 80 лет), — (старше 80 лет)	22 страны ОЭСР	1955–2010	VAR
Anderson et al., 2014			—	Япония	1991–2001	DSGE
Barbiellini Amidei et al., 2019	+	+	—	Италия	1982–2016	Модели панельных данных
Broniatowska, 2019	+		—	32 страны ОЭСР	1971–2015	Модели панельных данных
Bobeica et al., 2017		+		Страны Еврозоны, США, Германии	1975–2016	VAR
Juselius, Takáts, 2015; 2018	+	—	+	22 страны ОЭСР	1870–2016	Модели панельных данных
	+	—	+	22 страны ОЭСР	1955–2010	Модели панельных данных
Lindh, Malmberg, 2000	+	—	+ (для только вышедших на пенсию), — (для более возрастных групп)	20 стран ОЭСР	1960–1994	Модели панельных данных
Yoon et al., 2014		—	—	30 стран ОЭСР	1960–2013	Модели панельных данных
Antonova, Vymyatnina, 2018	—	+	—	21 страна, включая Россию	1950–2017	Модели панельных данных

Примечание: «+» влияние инфляции; «—» дефляционное влияние.

Источник: составлено автором.

влияние положительной динамики доли группы населения моложе трудоспособного возраста практически во всех исследованиях имеет инфляционный характер (Aksoy et al., 2015; Andrews et al., 2018; Barbiellini et al., 2019; Broniatowska, 2019; Juselius, Takáts, 2015, 2018; Lindh, Malmberg, 1998, 2000), то влияние изменения доли остальных групп различается. Согласно работам (Aksoy et al., 2015; Andrews et al., 2018; Lindh, Malmberg, 1998, 2000; Yoon, Kim, Lee, 2014) увеличение доли населения трудоспособного возраста приводит либо к замедлению (дезинфляции), либо к снижению инфляции (дефляции), а в работах (Barbiellini et al., 2019; Bobeica et al., 2017; Antonova, Vymyatnina, 2018) — к росту инфляции. В работе (Albuquerque, Caiado, Pereira, 2020) увеличение доли населения в возрасте 20–34 приводит к росту инфляции, а в возрасте 35–64 — к ее снижению. Оценивая влияние увеличения доли населения старше трудоспособного возраста, авторы приходят к следующим выводам. Так, авторы работ (Anderson, Botman, Hunt, 2014; Barbiellini et al., 2019; Broniatowska, 2019; Yoon et al., 2014; Antonova, Vymyatnina, 2018) считают, что старение населения приводит к снижению инфляции; авторы работ (Albuquerque et al., 2020; Aksoy et al., 2015; Juselius, Takáts, 2015, 2018) констатируют повышение инфляции, поскольку пожилые люди являются чистыми потребителями, а (Andrews et al., 2018; Lindh, Malmberg, 1998, 2000) — настаивают на усилении инфляционного влияния роста доли людей, только что вышедших на пенсию, и о снижении этого влияния со временем. В (Goodhart, Pradhan, 2017) авторы также приходят к выводу о том, что рост доли иждивенцев — населения младше и старше трудоспособного возраста — только разгоняет инфляцию, поскольку большинство являются чистыми потребителями. Стоит отметить, что первоначально исследования по данной тематике были мотивированы необходимостью объяснить закономерности, характерные для ряда стран Западной Европы, Японии и др., где преобладание возрастной доли населения сочеталось с более низкой инфляцией.

Несмотря на разнонаправленные результаты, исследователи сходятся во мнении: включение в анализ инфляционных процессов демографических факторов может быть полезным при прогнозировании инфляции как в долгосрочной, так и в среднесрочной перспективе, но для более точных прогнозов, по мнению (Lindh, Malmberg, 2000), необходимо больше информации по конкретным странам.

Старение населения (или сокращение его численности) в той или иной стране может иметь различные последствия. Со стороны спроса эти последствия (через изменение потребительского поведения) могут привести к сокращению совокупного спроса и снижению инфляции; со стороны предложения рабочей силы (через его сокращение) — усиливает инфляционное давление (на издержки). Таким образом, воздействие демографических факторов будет зависеть от того, как изменения численности и структуры населения повлияют на совокупный спрос и предложение, инфляционные ожидания, сберегательное поведение, что, в свою очередь, может быть связано с институциональной структурой. Если же демографические изменения могут быть спрогнозированы и учтены заранее, их влияние на предложение или спрос может быть скорректировано (Yoon et al., 2014)

Однако, помимо необходимости понимать направление связи динамики возрастных групп населения и инфляции, важно понимать, какова доля влияния этого фактора на уровень инфляции⁴, что ранее не рассматривалось в публикациях по данной тематике.

Целью нашего исследования является оценка вклада демографических факторов, в частности изменения доли разных возрастных групп населения, в динамику уровня инфляции в регионах России, в частности в федеральных округах, поскольку их географическая и экономическая специфика, различие в традициях, укладе жизни населения определяет и различия в демографической динамике и, соответственно, ее связи с динамикой инфляции, что в значительной степени аналогично межстрановым различиям.

ДАННЫЕ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Графики динамики уровня инфляции и изменения темпов прироста возрастных групп населения показывают, что средний уровень инфляции рос до 2015 г. и затем снижался, что может быть обусловлено кризисом в конце 2014 г. Темпы прироста населения старше трудоспособного возраста оставались приблизительно одинаковыми с положительным значением. Население моложе трудоспособного росло положительными темпами, но с 2015 г. также наблюдался спад. А вот темпы прироста населения трудоспособного возраста на протяжении всего периода показывали отрицательные значения, т.е. снижалась доля населения трудоспособного возраста, которое может участвовать в процессе производства и увеличивать совокупное предложение в экономике (рис. 1).

Чтобы оценить долю вклада динамики возрастных групп населения в изменение уровня цен, можно использовать факторное разложение коэффициента детерминации. Для этого первоначально при оценке эконометрических моделей инфляции необходимо использовать метод наименьших квадратов.

Выбор переменных для оценки моделей был основан на эмпирическом подходе, используемом при анализе данного вопроса в работах других исследователей с учетом той корректировки, что в качестве единиц анализа выступают не отдельные страны, а регионы одной страны. Иными словами, те факторы, которые являются общими для всех регионов (в том числе влияние денежно-кредитной политики Банка России), будут учитываться через временные эффекты — добавление дамми-переменных по годам.

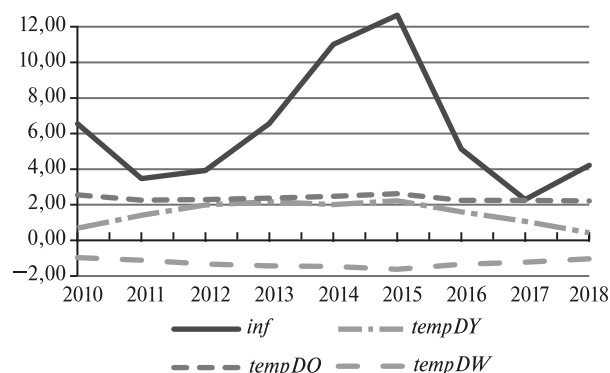


Рис. 1. Динамика среднего уровня инфляции и темпов прироста возрастных групп населения

Примечание. *inf* — уровень инфляции; *tempDY* — темп прироста доли населения старше трудоспособного возраста; *tempDW* — темп прироста доли населения трудоспособного возраста; *tempDO* — темп прироста доли населения моложе трудоспособного возраста.

Источник: составлено автором.

⁴ Идея такого исследования была высказана Алексеем Николаевичем Пономаренко (Департамент статистики факультета экономических наук НИУ ВШЭ) во время обсуждения доклада автора статьи на конференции «Статистические методы анализа экономики и общества». 12-я Международная научно-практическая конференция студентов и аспирантов (11–14 мая 2021 г.)

Для того чтобы определить долю влияния демографических факторов на уровень инфляции, сначала необходимо с помощью метода МНК провести оценку ряда спецификаций моделей, включающих как демографические факторы (темпы прироста населения моложе, старше трудоспособного возраста и трудоспособного возраста), так и контрольные переменные. В качестве контрольных переменных выступают:

- разрыв валового регионального продукта (ВРП) в процентах потенциального уровня⁵ (положительный разрыв увеличивает инфляцию, согласно кривой Филлипса);
- темп прироста реальных доходов населения (позволяет учесть влияние факторов спроса на уровень инфляции: рост реальных доходов увеличивает совокупный спрос, что способствует повышению инфляции);
- сальдо региональных бюджетов как доля ВРП (например, положительное сальдо регионального бюджета свидетельствует о том, что на государственные закупки из региональных бюджетов используются не все средства, поступившие в бюджет, что косвенно способствует снижению совокупного регионального спроса и, в свою очередь, может способствовать снижению уровня инфляции в регионе);
- открытость экономики (позволяет учесть влияние изменения валютного курса, поскольку чем выше доля внешнеторговых операций региона в ВРП, тем больше вероятность повышения инфляции: рост экспорта означает увеличение спроса, а импортные операции при ослаблении курса национальной валюты будут способствовать росту инфляции через эффект переноса).

Временные дамми-переменные позволяют учесть влияние не включенных в модель факторов, общих для всех регионов.

В качестве зависимой переменной в анализируемых моделях использовался уровень инфляции в регионах России. Описание переменных и их описательные статистики представлены в табл. 3. В выборку были включены 79 регионов за период с 2010 по 2018 г.⁶ Панель строго сбалансирована. В выборку из-за неполноты данных за исследуемый период не были включены Республика Крым, Чеченская Республика. Архангельская и Тюменская области были включены в выборку с автономными округами.

Таблица 3. Описание и описательные статистики переменных

Переменная	Описание переменной	Среднее значение	Минимум	Максимум
<i>inf</i> , %	Уровень потребительской инфляции. Получен как прирост к предыдущему году из индексов потребительских цен (декабрь к декабрю предыдущего года; в процентах). Предыдущий год принят за 100%.	7,10	1,10	17,50
<i>tempDY</i> , %	Темп прироста доли населения моложе трудоспособного возраста	1,54	–2,33	5,11
<i>tempDW</i> , %	Темп прироста доли населения в трудоспособном возрасте	–1,29	–2,25	0,16
<i>tempDO</i> , %	Темп прироста доли населения старше трудоспособного возраста	2,26	0,00	7,62
<i>gap_grp_inpc</i> , %	Процентное отклонение валового регионального продукта (ВРП) от потенциального уровня	0,24	–25,75	24,31
<i>real_income</i> , %	Темп прироста реальных доходов населения	1,20	–18,40	23,70
<i>Budget</i> , %	Сальдо доходов и расходов консолидированных бюджетов субъектов Российской Федерации по отношению к ВРП	–0,75	–21,55	5,17
<i>TOgrp</i> , %	Открытость экономики, доля суммарного (со странами СНГ и странами дальнего зарубежья) объема экспорта и импорта в валовом региональном продукте	0,71	0,00	6,24

Источник: составлено и рассчитано автором по материалам приложения к сборнику «Регионы России. Социально-экономические показатели», 31.12.2021.

⁵ Был получен с помощью применения фильтра Ходрика–Прескотта к реальному валовому региональному продукту.

⁶ Выборка ограничена 2018 г., из-за того что после повышения пенсионного возраста резко выросла доля населения трудоспособного возраста, что искажает результаты.

Для проверки рядов данных на стационарность использовались тесты Harris—Tzavalis и Im—Pesaran—Shin (из-за длины временного ряда остальные тесты не подходили для анализа). На основе полученных статистик тестов был сделан вывод о том, что ряды являются стационарными.

Для оценки влияния перечисленных факторов на уровень инфляции в качестве наиболее подходящей была использована модель линейной регрессии с фиктивными переменными (Ратникова, 2006, с. 279) для каждого региона, кроме одного, чтобы не было теоретической мультиколлинеарности. Для учета временных эффектов в модель был включен набор дамми-переменных для каждого рассматриваемого года. Модель была оценена с помощью МНК, и полученные «оценки МНК в регрессии с фиктивными переменными» (least square dummy variable, LSDV) (Ратникова, 2006) использовались с целью применения факторного разложения коэффициента детерминации.

При этом как в целом по стране, так и по федеральным округам в каждую модель была поочередно включена переменная, соответствующая одной возрастной группе. Включение всех трех переменных в модель также могло быть возможным, поскольку используются темпы прироста возрастных групп. Однако при включении всех трех возрастных групп в модель возникает проблема мультиколлинеарности. Кроме того, включение в модель по одной возрастной группе позволяет получить оценку вклада каждой возрастной категории отдельно⁷.

Затем для каждой оцененной модели было проведено факторное разложение коэффициента множественной детерминации R^2 по формуле

$$R_Y^2 = \sum_i \hat{\beta}_i \widehat{\text{Cov}}(X_i, Y) / \widehat{\text{Var}}(Y), \quad (1)$$

где Y — зависимая переменная; $X_1, \dots, X_k$ — множество всех входящих в модель независимых переменных; $\hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$ — полученные МНК-оценки коэффициентов в моделях. С помощью формулы (1) можно представить R^2 как сумму двух слагаемых, соответствующих вкладу демографических факторов в модели, и остальных контрольных переменных (Демидова, 2012). Если каждое слагаемое в (1) является положительным, то $\hat{\beta}_i \widehat{\text{Cov}}(X_i, Y) / \widehat{\text{Var}}(Y)$ может быть интерпретировано как вклад фактора i при факторном разложении коэффициента детерминации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты оценки моделей и вклада демографических факторов представлены в табл. 4–6. Как можно видеть, в целом по стране наибольший вклад в формирование инфляции вносит категория населения моложе трудоспособного возраста. Ее вклад составляет около 8% коэффициента детерминации, или около 6% — в динамику уровня инфляции. Причем данный вклад имеет проинфляционный характер. Это можно объяснить тем, что рост доли населения данной возрастной группы способствует росту спроса со стороны группы трудоспособного населения (рост расходов родителей на удовлетворение потребностей детей), практически не формируя при этом предложения. Лишь небольшая доля населения моложе трудоспособного возраста в стране работает. Также проинфляционный характер воздействия, хотя и в значительно меньшей степени, вносит возрастная группа старше трудоспособного возраста. Ее вклад составляет лишь около 1% в динамику уровня инфляции. Несмотря на то что в данной группе населения около 20% продолжают работать после выхода на пенсию, доходы данной группы населения довольно низкие, как и доля сбережений. Воздействие группы населения трудоспособного возраста имеет дефляционный характер. При этом ее вклад в уровень инфляции составляет 6% коэффициента детерминации, что соответствует примерно 5% в динамике уровня инфляции.

Для возрастных категорий вклад демографических факторов может быть рассчитан и имеет смысл, так как слагаемые $\hat{\beta}_i \widehat{\text{Cov}}(X_i, Y) / \widehat{\text{Var}}(Y)$ из формулы (1) являются положительными величинами.

Полученные нами результаты отличаются по федеральным округам. Как можно видеть, динамика группы населения старше трудоспособного возраста не оказывает значимого воздействия на

⁷ Для проверки робастности полученных оценок также строились модели, включающие по две демографические переменные. Результаты доступны по требованию. В текст статьи не вошли из-за ограничения объема. Согласно данным моделям доля влияния населения моложе трудоспособного возраста составила в среднем около 12% коэффициента детерминации, или около 8% в динамике уровня инфляции; доля населения старше трудоспособного — около 2,4% коэффициента детерминации, или около 1,6% в динамике уровня инфляции, а для населения трудоспособного возраста — около 12% коэффициента детерминации, или около 8% в динамике уровня инфляции.

уровень инфляции в Южном, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах. В остальных федеральных округах наблюдается разброс: от 1,2% в динамике уровня инфляции в Северо-Кавказском федеральном округе до примерно 5% в динамике инфляции в Северо-Западном и Уральском федеральных округах. Влияние группы населения моложе трудоспособного возраста незначимо в Центральном, Южном и Северо-Кавказском федеральных округах. Разброс влияния этой группы значителен — около 6% в динамике инфляции в Дальневосточном федеральном округе и около 20% — в динамике уровня инфляции в Уральском федеральном округе. Коэффициент при переменной «население трудоспособного возраста» оказался незначимым в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах; в остальных федеральных округах разброс составил от 4% в динамике уровня инфляции в Центральном федеральном округе примерно до 26% — в динамике уровня инфляции в Уральском федеральном округе.

Таблица 4. Результаты оценивания моделей с учетом возрастной группы моложе трудоспособного возраста

Параметр	Модели								
	lsdv	lsdv_1	lsdv_2	lsdv_3	lsdv_4	lsdv_5	lsdv_6	lsdv_7	lsdv_8
	По стране в целом	ЦФО	СЗФО	ЮФО	СКФО	ПФО	УФО	СФО	ДВФО
<i>tempDY</i>	0,629*** (0,104)	0,317 (0,254)	0,754*** (0,251)	0,663 (0,396)	0,247 (0,614)	1,134*** (0,218)	1,540*** (0,532)	1,385*** (0,334)	0,471* (0,267)
<i>Gap_Grp_Inpc</i>	0,051*** (0,010)	0,100*** (0,026)	−0,010 (0,040)	−0,000 (0,031)	0,093** (0,038)	0,044 (0,027)	−0,019 (0,044)	0,068** (0,029)	0,012 (0,025)
<i>Real_Inc</i>	0,160*** (0,016)	0,116*** (0,040)	0,195*** (0,053)	0,201*** (0,063)	0,139*** (0,048)	0,254*** (0,030)	0,323*** (0,080)	0,099** (0,044)	0,132** (0,052)
<i>Budget</i>	−0,141*** (0,044)	−0,500*** (0,186)	−0,349** (0,173)	−0,083 (0,214)	−0,155 (0,158)	−0,356** (0,153)	−0,210 (0,435)	0,081 (0,117)	−0,042 (0,067)
<i>Togrp</i>	1,431*** (0,192)	1,146*** (0,424)	1,842*** (0,305)	3,841** (1,495)	2,417 (2,705)	1,984*** (0,581)	1,299 (0,962)	1,890*** (0,565)	2,160*** (0,793)
Временные дамми	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Дамми на регионы	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Const	7,000*** (0,550)	5,814*** (0,824)	5,433*** (0,806)	6,695*** (0,886)	7,733*** (0,897)	5,040*** (0,732)	6,954*** (1,030)	5,448*** (0,682)	6,014*** (0,945)
Число наблюдений	711	162	90	54	54	126	36	90	99
R^2	0,804	0,816	0,847	0,855	0,861	0,898	0,936	0,847	0,767
Значимость регрессии в целом	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Доля демографических факторов в R^2	0,077	0,000	0,095	0,000	0,000	0,128	0,216	0,208	0,076
Доля демографических факторов в динамике инфляции	0,062	0,000	0,080	0,000	0,000	0,115	0,203	0,176	0,058

Примечание. В таблице символами «*», «**», «***» отмечены оценки, значимые на уровне 10, 5 и 1% соответственно. Полужирным выделены коэффициенты при исследуемом факторе «возрастная группа», поскольку они представляют наибольший интерес.

Таблица 5. Результаты оценивания моделей с учетом возрастной группы старше трудоспособного возраста

Параметр	Модель								
	lsdv	lsdv_1	lsdv_2	lsdv_3	lsdv_4	lsdv_5	lsdv_6	lsdv_7	lsdv_8
	По стране в целом	ЦФО	СЗФО	ЮФО	СКФО	ПФО	УФО	СФО	ДВФО
<i>tempDO</i>	0,363** (0,155)	1,569*** (0,503)	1,113** (0,513)	−0,161 (0,765)	−1,065** (0,508)	1,207** (0,490)	2,525*** (0,709)	0,177 (0,509)	−0,071 (0,342)
<i>gap_grp_inpc</i>	0,057*** (0,011)	0,113*** (0,025)	−0,010 (0,041)	−0,001 (0,032)	0,078** (0,036)	0,095*** (0,028)	0,067 (0,041)	0,101*** (0,031)	0,010 (0,025)

Окончание таблицы 5.

Параметр	Модель								
	lsdv	lsdv_1	lsdv_2	lsdv_3	lsdv_4	lsdv_5	lsdv_6	lsdv_7	lsdv_8
	По стране в целом	ЦФО	СЗФО	ЮФО	СКФО	ПФО	УФО	СФО	ДВФО
<i>real_inc</i>	0,139*** (0,016)	0,095*** (0,035)	0,127** (0,055)	0,163** (0,061)	0,099** (0,049)	0,173*** (0,032)	0,099 (0,088)	0,052 (0,048)	0,128** (0,054)
<i>Budget</i>	-0,153*** (0,045)	-0,454** (0,179)	-0,347* (0,178)	-0,082 (0,223)	-0,206 (0,151)	-0,329* (0,167)	-1,631*** (0,405)	-0,121 (0,119)	-0,039 (0,068)
<i>TOgrp</i>	1,145*** (0,196)	0,908** (0,406)	1,463*** (0,305)	3,869** (1,556)	3,528 (2,578)	1,990*** (0,645)	2,565** (1,033)	1,309* (0,665)	1,923** (0,818)
Временные дамми	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Дамми на регионы	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Const	7,336*** (0,586)	3,422*** (1,160)	4,094*** (1,447)	7,933*** (1,183)	11,027*** (1,808)	3,572** (1,491)	0,492 (2,499)	6,790*** (1,653)	7,171*** (1,176)
Число наблюдений	711	162	90	54	54	126	36	90	99
R^2	0,794	0,827	0,838	0,845	0,875	0,878	0,944	0,809	0,758
Значимость регрессии в целом	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Доля демографических факторов в R^2	0,009	0,038	0,063	0,000	0,013	0,042	0,056	0,000	0,000
Доля демографических факторов в динамике инфляции	0,007	0,030	0,053	0,000	0,012	0,037	0,053	0,000	0,000

Примечание. В таблице символами «*», «**», «***» отмечены оценки, значимые на уровне 10, 5 и 1% соответственно. Полужирным выделены коэффициенты при исследуемом факторе «возрастная группа», поскольку они представляют наибольший интерес.

Таблица 6. Результаты оценивания моделей с учетом возрастной группы трудоспособного возраста

Параметр	Модель								
	lsdv	lsdv_1	lsdv_2	lsdv_3	lsdv_4	lsdv_5	lsdv_6	lsdv_7	lsdv_8
	по стране в целом	ЦФО	СЗФО	ЮФО	СКФО	ПФО	УФО	СФО	ДВФО
<i>tempDW</i>	-1,577*** (0,290)	-1,743** (0,772)	-2,484*** (0,778)	-0,396 (1,119)	2,198 (1,474)	-2,055*** (0,581)	-5,702*** (1,368)	-3,479*** (0,807)	-1,306* (0,748)
<i>gap_grp_inpc</i>	0,052*** (0,010)	0,099*** (0,025)	-0,017 (0,039)	-0,002 (0,032)	0,085** (0,037)	0,066** (0,028)	0,024 (0,037)	0,089*** (0,028)	0,007 (0,025)
<i>real_inc</i>	0,165*** (0,016)	0,136*** (0,040)	0,194*** (0,053)	0,172** (0,066)	0,122** (0,048)	0,233*** (0,032)	0,240*** (0,069)	0,116** (0,045)	0,133** (0,052)
<i>Budget</i>	-0,145*** (0,044)	-0,442** (0,186)	-0,342* (0,171)	-0,068 (0,223)	-0,171 (0,153)	-0,362** (0,162)	-0,375 (0,345)	0,039 (0,112)	-0,044 (0,067)
<i>TOgrp</i>	1,333*** (0,191)	1,200*** (0,416)	1,721*** (0,294)	3,963** (1,557)	3,162 (2,637)	2,058*** (0,624)	3,753*** (1,116)	1,746*** (0,554)	1,941** (0,778)
Временные дамми	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Дамми на регионы	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Const	6,207*** (0,613)	4,073*** (1,221)	2,930** (1,393)	7,303*** (1,366)	8,186*** (0,845)	3,732*** (1,110)	-1,459 (2,601)	2,040 (1,328)	4,947*** (1,397)
Число наблюдений	711	162	90	54	54	126	36	90	99
R^2	0,802	0,821	0,849	0,845	0,868	0,885	0,951	0,849	0,767
Значимость регрессии в целом	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Доля демографических факторов в R^2	0,061	0,052	0,118	0,000	0,000	0,062	0,272	0,202	0,087
Доля демографических факторов в динамике инфляции	0,048	0,043	0,100	0,000	0,000	0,055	0,259	0,171	0,067

Примечание. В таблице символами «*», «**», «***» отмечены оценки, значимые на уровне 10, 5 и 1% соответственно. Полужирным выделены коэффициенты при исследуемом факторе «возрастная группа», поскольку они представляют наибольший интерес.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные оценки позволяют сделать следующие выводы.

Действительно, наблюдается значимое положительное (инфляционное) влияние динамики доли групп населения моложе и старше трудоспособного возраста (хотя в значительно меньшей степени) на динамику уровня цен, и отрицательное (дефляционное) влияние изменения доли населения трудоспособного возраста. Данные закономерности можно объяснить тем, что рост населения моложе и старше трудоспособного возраста будет создавать дополнительный спрос без существенного увеличения предложения, даже несмотря на то что среди пенсионеров довольно высока доля работающих — около 20%, поскольку получаемые доходы не сберегаются, а тратятся на потребление. Рост доли населения трудоспособного возраста действует в сторону снижения инфляции, а наблюдаемое фактическое снижение доли трудоспособного населения будет способствовать росту инфляционного давления как через снижение участия в рабочей силе (увеличение давления на издержки), так и через высокую долю расходов в доходах, в том числе на содержание населения моложе трудоспособного возраста,

В целом по стране доля влияния разных возрастных групп на уровень инфляции различается. Так, для населения моложе трудоспособного возраста она составляет около 8% коэффициента детерминации, что соответствует примерно 6% в динамике уровня инфляции, для населения трудоспособного возраста — около 5% в динамике уровня инфляции и для населения старше трудоспособного возраста — около 1% в динамике уровня инфляции.

В разных федеральных округах эта доля различается: для возрастной группы населения моложе трудоспособного возраста она колеблется от 0% в динамике инфляции в Центральном, Южном и Северо-Кавказском федеральных округах до примерно 20% в динамике уровня инфляции в Уральском федеральном округе; для группы старше трудоспособного населения — от 0% в динамике уровня инфляции в Южном, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах до примерно 5% в динамике уровня инфляции в Северо-Западном федеральном округе; для трудоспособного возраста — от 0% в динамике уровня инфляции в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах до примерно 26% в динамике уровня инфляции в Уральском федеральном округе.

Несмотря на то что уровень инфляции в значительно большей степени определяется монетарными факторами, динамикой цен на нефть, валютного курса и др., демографические тенденции (в частности изменения в возрастной структуре населения) также могут влиять на динамику цен. В зависимости от того, как население формирует поведение в области потребления, сбережения, заимствования, инфляционных ожиданий, доверия к политике монетарных властей, будет зависеть и эффективность мер кредитно-денежной политики в достижении целевых показателей инфляции.

Анализ характера связи изменения возрастной структуры населения с динамикой инфляции, выявление каналов такого воздействия является довольно важной и сложной задачей и требует дальнейших исследований как на страновом, так и на региональном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Демидова О.А. (2012). Отношение жителей европейских стран к иммигрантам: сравнительный эконометрический анализ по данным европейского социального исследования // *Прикладная эконометрика*. Т. 28. № 4. С. 23–34. [Demidova O.A. (2012). The European residents' attitude towards immigrants: A comparative analysis based on the ESS data. *Applied Econometrics*, 28 (4), 23–34 (in Russian).]
- Ратникова Т.А. (2006). Введение в эконометрический анализ панельных данных // *Экономический журнал ВШЭ*. Т. 10. № 2. С. 267–316. [Ratnikova T.A. (2006). Introduction to econometric analysis of the panel data. *The HSE Economic Journal*, 10 (2), 267–316 (in Russian).]
- Aksoy Y., Basso H.S., Smith R.P., Grasl T. (2015). Demographic structure and macroeconomic trends. *CEifo Working Paper Series 5872*. Madrid: Banco de España.
- Albuquerque P.C.A.M. de, Caiado J., Pereira A. (2020). Population aging and inflation: Evidence from panel cointegration. *Journal of Applied Economics*, 23 (1), 469–484. DOI: 10.1080/15140326.2020.1795518
- Anderson D., Botman D., Hunt B. (2014). Is Japan's population aging deflationary? *IMF Working Papers 14/139*. Washington: International Monetary Fund.

- Andrews D., Oberoi J., Wirjanto T., Zhou Ch.** (2018). Demography and inflation: An international study. *North American Actuarial Journal*, 22 (2), 210–222. DOI: 10.1080/10920277.2017.1387572
- Antonova D., Vymyatnina Y.** (2018). Inflation and population age structure: The case of emerging economies. *Russian Journal of Money and Finance*, 77 (4), 3–25. DOI:10.31477/rjmf.201804.03
- Barbiellini A., Gomellini F., Paolo M., Paolo P.** (2019). The price of demography. *MPRA Paper 94435*. München: University Library of Munich.
- Bobeica E., Christiane N., Eliza L., Yiqiao S.** (2017). Demographics and inflation. *Working Paper Series 2006*. Frankfurt am Main: European Central Bank.
- Broniatowska P.** (2019). Population ageing and inflation. *Population Ageing*, 12 (2), 179–193. DOI: 10.1007/s12062-017-9209-z
- Goodhart Ch., Pradhan M.** (2017). Demographics will reverse three multi-decade global trends. *BIS Working Papers no. 656*. Basel: Bank for International Settlements.
- Goodhart Ch., Pradhan M.** (2020). *The great demographic reversal. Aging societies, waning inequalities, and an inflation revival*. London: Palgrave Macmillan Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-42657-6
- Iparraquirre J.L.** (2020). *Other macroeconomic implications of population ageing*. In: *Economics and ageing*. London: Palgrave Macmillan, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-29019-1_9
- Han G.** (2019). Demographic changes and inflation dynamics. *HKIMR Working Paper no. 02/2019*. Hong Kong: Hong Kong Institute for Monetary and Financial Research (HKIMR). Available at: <https://ssrn.com/abstract=3315033> or DOI: 10.2139/ssrn.3315033
- Juselius M., Takáts E.** (2015). Can demography affect inflation and monetary policy? *BIS Working Papers no. 485*. Basel: Bank for International Settlements.
- Juselius M., Takáts E.** (2018). The enduring link between demography and inflation. *Research Discussion Papers 8/2018*. Helsinki: Bank of Finland.
- Leung Ch.** (2009). The demographics of household inflation perceptions and expectations. *Reserve Bank of New Zealand: Bulletin*, 72, 2, June, 34–42.
- Lindh T., Malmberg B.** (1998). Age structure and inflation — a Wicksellian interpretation of the OECD data. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 36, 1, 19–37.
- Lindh T., Malmberg B.** (2000). Can age structure forecast inflation trends? *Journal of Economics and Business*, 52 (1–2), 31–49. DOI: 10.1016/S0148-6195(99)00026-0
- Modigliani F., Brumberg R.** (1954). *Utility Analysis and the Consumption Function: An Attempt at Integration, Post-Keynesian Economics*. K. Kurihara (ed.). New Jersey: Rutgers University Press.
- Yoon J.-W., Kim J., Lee J.** (2014). Impact of demographic changes on inflation and the macroeconomy. *IMF Working Papers*, 14. 1. Washington: International Monetary Fund. DOI: 10.5089/9781498396783.001

Impact estimation of demographic factors on the inflation rate in the Russian regions

© 2022 E. S. Shevchenko

E.S. Shevchenko,

National Research University “Higher School of Economics”, Moscow, Russia; e-mail: esshevchenko@hse.ru

Received 09.06.2022

The author expresses deep gratitude for the advices and comments to Olga Anatolyevna Demidova (NRU HSE) and Svetlana Fedorovna Seregina (NRU HSE).

Abstract. Inflation can be formed under both monetary and nonmonetary factors. Demographic factors, in particular, the age structure of the population, create the economic environment, where monetary policy operates and inflationary processes develop. When we forecast the inflation rate it is necessary to consider demographic factors as impact on the inflation rate— the age structure of the population, the contribution of this factor to the dynamics of the inflation rate in the country as a whole and in specific regions, in particular, in the Federal Areas. The regional aspect of the interaction between demographic processes and the inflation rate is important. The geographic and economic specifics of the districts’ differences in traditions, lifestyle of the population determine different demographic dynamics in different regions, and hence its impact on inflationary processes. To estimate the contribution of this influence we used the factor decomposition of the determination coefficient. We received the following results: the growth of the population younger and older than working age share has a significant inflationary effect on price dynamics, and the growth of the population working age portion has a deflationary effect. In the country as a whole, different age groups share of influence on inflation level differs in the following way: for the population younger than the working age it is about 8% of the determination coefficient, that is about 6% of the inflation rate dynamics; for the population of the working age — about 5% of the inflation rate dynamics, and for the population older than the working age — about 1%. At the same time in different federal areas this share varies. Since different age groups of the population vary in their consumption behavior, savings, borrowing, inflation expectations and the confidence degree to the monetary authorities, the age structure of the population can be significant factor of the monetary policy effectiveness in searching the inflation targets.

Keywords: inflation rate, regional inflation, demographic factors of inflation, nonmonetary factors of inflation, factor decomposition of the coefficient of determination, regions of Russia.

JEL Classification: E31.

For reference: **Shevchenko E.S.** (2022). Impact estimation of demographic factors on the inflation rate in the Russian regions. *Economics and Mathematical Methods*, 58, 4, 71–82, DOI: 10.31857/S042473880023020-1

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Логико-лингвистический метод оценки риска специализированного кредитования (на примере проектного финансирования)

© 2022 А.Р. Красавцева, А.Е. Городецкий

А.Р. Красавцева,

АО «АБ «РОССИЯ», Санкт-Петербург; e-mail: krasavtseva.a@gmail.com

А.Е. Городецкий,

Институт проблем машиноведения РАН (ИПМАШ РАН), Санкт-Петербург; e-mail: g27764@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.05.2022

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121112500304-4).

Аннотация. Оценка рисков кредитования связана с неопределенностью влияния множества факторов, которые не поддаются точным математическим описаниям. Это порождает ситуации, снижающие вероятность успешности, в том числе специализированного кредитования. Среди методов оценки риска, пригодных для оценки риска кредитования, можно выделить сценарный подход, использующий методы теории нечетких множеств для вычисления значений функций принадлежности. Однако проблема ранжирования сценариев реализации проекта, по которому запрашивается кредит, недостаточно изучена. Несмотря на существующие технические сложности учета факторов риска, ранжирование рисков реализации проектов может осуществляться путем сопоставления с эталонными из базы данных на основе логико-лингвистического метода классификации. Разработаны новые методы оценки рисков кредитования на основе логико-лингвистической классификации проектов специализированного кредитования и алгоритмов вычисления оценки риска кредитования анализируемого проекта с нахождением его рейтинга. Определение проекта строится на основе понятий «проектное финансирование» класса специализированного кредитования. Для этого были использованы методы: назначение весовых коэффициентов для всех подклассов кредитных требований и степеней рисков для всех значений типов критериев; введение таблицы величин оценки риска или уровня кредитоспособности проекта; формирование базы данных эталонных строк атрибутов для всех классов проектов и строк атрибутов проекта; отнесение проекта к одному из эталонных с помощью логико-лингвистической классификации; присвоение проекту значений степеней рисков для всех значений типов критериев (атрибутов) выбранного эталонного проекта; вычисление оценки риска кредитования проекта и определение рейтинга проекта для принятия решения. В результате на базе предложенного метода оценки риска был разработан алгоритм вычисления оценки риска кредитования проекта с определением его рейтинга, позволяющий повысить достоверность и скорость оценки проектов, подлежащих кредитованию. Результаты исследований могут быть использованы при разработке компьютерной программы, позволяющей ускорить анализ риска кредитования проектов.

Ключевые слова: специализированное кредитование, оценка риска, проектное финансирование, уровень кредитоспособности, весовые коэффициенты, коэффициенты значимости, эталоны, логико-лингвистическая классификация, рейтинг, принятие решения.

Классификация JEL: C02, C38.

Для цитирования: Красавцева А.Р., Городецкий А.Е. (2022). Логико-лингвистический метод оценки риска специализированного кредитования (на примере проектного финансирования) // Экономика и математические методы. Т. 58. № 4. С. 83–91. DOI: 10.31857/S042473880020295-3

ВВЕДЕНИЕ

Оценка рисков кредитования имеет прогнозный характер, связанный с неопределенностью влияния множества факторов, которые не поддаются точным математическим описаниям. Поэтому возникают ситуации, снижающие вероятность успешности (в том числе при специализированном кредитовании).

Определения рисков даны в отечественных¹ и зарубежных стандартах². Определение, данное в (Анфилатов, Емельянов, Кукушкин, 2009, с. 284), наиболее полно отражает суть рисков ситуаций и используется для моделирования рисков (Бояркин, Шевелева, Ткаченко, 2017). Инвестиционные риски можно описать как вероятность частичной или полной потери прогнозируемой проектной прибыли (Цамутали, 2013). На практике обычно риски связывают с неопределенностью (Попова, 2006). Однако Ф. Найт (Найт, 2003) предложил различать понятия «риск» и «неопределенность». При оценке рисков рассматривают действия, которые могут вызвать развитие нескольких сценариев событий с известным распределением их вероятностей. В случае, когда распределение неизвестно, ситуации расцениваются как неопределенности (Штеле, Гусева, Руди, 2016). Они могут описываться функциями принадлежности в формулировке Л. Заде (Заде, 1976; Zadeh, 1965).

При оценке рисков большинство авторов выделяют качественный и количественный подходы (Москвин, 2016, с. 320; Решетняк, 2017; Попова, 2006).

Для качественного подхода характерно решение следующих задач: анализ предметной области, определение рисков этапов работ и возникающих видов рисков; выявление причин риска и прогнозирование возможных последствий (Ткаченко, Шевелева, 2019). Для проведения качественного анализа обычно используется экспертный метод. Эксперты оценивают каждый вид риска, собирают все экспертные оценки, обрабатывают с использованием методов системного анализа и определяют интегральный уровень рисков (Борисова, Малых, Овешникова, 2018). Результаты качественного анализа служат основой для дальнейшего количественного анализа инвестиционного проекта. При реализации не крупных инвестиционных проектов можно ограничиться применением методов анализа чувствительности и сценарного анализа (Гареев, 2016, с. 30).

Анализ чувствительности применяется для определения наиболее весомых рисков проекта (Степаненко, Харитонов, 2017). При этом, как правило, не учитываются вероятностные изменения первоначальных данных.

Сценарный анализ дает возможность вместе с базовым набором данных рассматривать ряд других наборов данных, существенных для инвестиционного проекта с использованием при моделировании метода Монте-Карло. Этот метод эффективнее остальных, так как позволяет учесть влияние случайных величин и процессов на результат (Ефремова, Прядкина, 2014). Метод Монте-Карло соединяет метод анализа чувствительности с вероятностными распределениями факторов модели. Модель строится для сотен вариантов возможных комбинаций параметров. Чем больше вариантов комбинаций, тем качественней построенная имитационная модель. При этом используется вся доступная проектная информация (Сазонов, Сазонова, 2016).

Таким образом, при качественном подходе можно определить возможные виды рисков неисполнения обязательств по возврату кредита, а также области возникновения и источники возможных рисков (Кулик и др., 2012). Подход может служить основой для получения количественных оценок рисков.

При количественном подходе находят численное значение отдельных рисков на протяжении срока жизни кредита (Ведмедь, 2017; Королькова, 2013, с. 159). При этом могут использоваться методы теории вероятности, статистики, исследования операций. Эти методы при углубленном анализе рисков обычно дополняют друг друга.

Среди качественных методов оценки риска можно отметить следующие:

— *анализ возможных случаев неисполнения обязательств; метод аналогий и метод экспертных оценок* — субъективная природа таких оценок компенсируется хорошо разработанной организацией всех этапов экспертизы и применением количественных методов как при организации экспертизы, так и при оценке суждений экспертов на основе обработки результатов их мнений;

— для оценки сильных и слабых сторон проектной компании относительно конкурентов, возможностей и угроз в ее внешней среде может быть использован *SWOT-анализ* — он позволяет оценить риск кредитования исходя из стратегического положения компании, показывающего насколько стратегия организации соответствует ее внутренним ресурсам и рыночным возможностям;

¹ ГОСТ Р ИСО 31000—2010 «Менеджмент риска. Принципы и руководство», с. 27; ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010—2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска», с. 74.

² «A Guide to the project management body of knowledge» (Pennsylvania, Project Management Institute, 2000); «Enterprise risk management. Applying enterprise risk management to environmental, social and governance-related risks» (October 2018; <https://www.coso.org/Documents/2017-COSO-ERM-Integrating-with-Strategy-and-PerformanceExecutive-Summary.pdf>).

— важным этапом применения качественных методов является разработка мероприятий, направленных на ограничения рисков проекта: например, привлечение независимого строительного консультанта (подтверждение бюджета в проектах с существенной строительной составляющей), оформление поручительства бенефициаров проекта до его выхода на эксплуатационную фазу, когда проектный риск существенно сокращается и т.д.

Среди количественных методов выделяются следующие: *статистический; анализ чувствительности; проверки устойчивости; оценки сценариев и имитационное моделирование.*

Для получения приемлемого результата экспертных оценок приходится применять сложную процедуру их организации (Миркин, 1974, с. 256), начиная с выбора числа и квалификации экспертов. Результаты многоэтапной процедуры обрабатываются методами статистики и качественного анализа. Для более полного анализа рисков применяются варианты на основе регрессионного и корреляционного анализа, а для детализации и анализа сложных проектов возможно применение логико-вероятностных подходов (Соложенцев, 2009, с. 242). Для проведения сценарного анализа дополнительно используется *метод дерева решений* (сетевые графики, каждая ветвь которых представляет собой вероятностные варианты развития или состояния проекта (Волков, Грачева, 1998).

При прогнозировании рисков с учетом ограниченности статистических данных целесообразно создавать базу эталонных проектов, содержащих качественные атрибуты и их экспертные количественные оценки в виде величин функций принадлежности указанных атрибутов и коэффициентов их значимости, как это предлагается при логико-лингвистической классификации (Gorodetskiy, Tarasova, Kurbanov, 2021). Но так как каждый проект уникален, то анализируемый проект можно сопоставлять с эталонами отдельных составляющих, в виде эталонных строк, например $A_{ijk} = /0100/$ (см. разд. 2). Тогда при сценарном подходе, опирающиеся на методы теории нечетких множеств для вычисления значений функций принадлежности, возможно ранжирование совокупности сценариев реализации проекта при сопоставлении их с эталонными из базы данных (Gorodetskiy, Tarasova, Kurbanov, 2021). При этом для оценки эффективности и устойчивости сценариев можно применять имитационное компьютерное моделирование, генерирующее сотни возможных комбинаций атрибутов проектов и значений их функций принадлежности с учетом их вероятностного распределения (Городецкий, Тарасова, 2010, с. 335), и метод, изложенный в патенте РФ RU2756778C1 «Способ классификации изображений»³.

После моделирования получают вероятностное распределение результатов кредитования, что позволяет дать интегральную оценку эффективности финансирования (Gorodetskiy, Tarasova, Kurbanov, 2022).

Поэтому несмотря на существующие технические сложности учета факторов риска, ранжирование рисков реализации проектов может осуществляться сопоставлением с эталонными проектами из базы данных на основе логико-лингвистического метода классификации. Этим объясняется актуальность цели исследования, а именно — разработка новых методов оценки рисков кредитования на основе логико-лингвистической классификации проектов специализированного кредитования и алгоритмов вычисления оценки риска кредитования анализируемого проекта с определением его рейтинга.

1. АЛГОРИТМ РАНЖИРОВАНИЯ ПРОЕКТОВ (ПРОЕКТНОЕ ФИНАНСИРОВАНИЕ В РАМКАХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КРЕДИТОВАНИЯ) ПО СТЕПЕНИ РИСКА

При сценарном подходе ранжирование рисков реализации проектов осуществляется путем сопоставления с эталонными проектами из базы данных на основе логико-лингвистического метода классификации. Причем, если по какому-то критерию риск реализации проекта выше 95%, такой проект дальше не рассматривается. Принятый к рассмотрению проект ранжируется по следующему алгоритму.

1. Определяется тип проекта в соответствии с понятием «проектное финансирование» как подкласс специализированного кредитования согласно Положению Центрального банка Российской Федерации от 6 августа 2015 г. № 483-П «О порядке расчета величины кредитного риска на основе

³ Российский патент 2021 г. по МПК G06K9/62 (<https://patenton.ru/patent/RU2756778C1>).

Таблица. Величина оценки риска

Ранг	Оценка риска O_R	Характеристика
1	От 0 до $(1/4) \max\{O_R\}$	Отличный проект
2	От $(1/4) \max\{O_R\}$ до $(1/2) \max\{O_R\}$	Хороший проект, но имеются незначительные замечания
3	От $(1/2) \max\{O_R\}$ до $(3/4) \max\{O_R\}$	Удовлетворительный проект и требуются дополнительные данные
4	От $(3/4) \max\{O_R\}$ до $\max\{O_R\}$	Неудовлетворительный проект

внутренних рейтингов» (далее — Положение)⁴. Для этого проект анализируется на соответствие критериям Положения (Приложение 2, разд. 1).

2. Для анализируемого подкласса проектов, определенного в пункте 1, экспертами назначаются весовые коэффициенты k_j классов критериев j ($j = 1, \dots, 5$) кредитных требований (атрибутов проектов), указанных в Положении (например, для «Финансовое положение» $k_1 = 5$).

3. Экспертами назначаются коэффициенты значимости k_{ji} для всех типов ji критериев кредитных требований из Положения. При этом для «Финансовое положение» ($j = 1$) $i = 1, \dots, 5$; для «Политическая и правовая среда» ($j = 2$) $i = 1, \dots, 6$; для «Характеристики операций» ($j = 3$) $i = 1, \dots, 11$; для «Качество спонсора» ($j = 4$) $i = 1, 2$; для «Обеспечение» ($j = 5$) $i = 1, \dots, 5$. Например, для «Рыночные условия» устанавливается коэффициент значимости $k_{11} = 5$.

4. Для каждого i и j экспертами устанавливаются степени риска (R_{jiq}) для каждого q в виде числа от 1 до 5. Например, для кредитного требования с характеристикой «Мало конкурирующих поставщиков или значительное и долгосрочное преимущество в месторасположении, себестоимости или технологиях. Спрос сильный и растущий» эталонное значение степени риска устанавливается $R_{111} = 1$.

5. Полученные значения вносятся в таблицу, содержащую все оценки риска (т.н. уровень кредитоспособности проекта).

6. Формируется база данных эталонных строк $A_{jiq} \forall jiq$ атрибутов проекта подкласса A «Проектное финансирование» из Положения, которым соответствуют степени риска R_{jiq} .

7. Заполняются строки атрибутов анализируемого проекта.

8. Используя классификацию изображений по аналогии с патентом RU2756778C1, проекту присваивается один из эталонных типов.

9. Проекту назначаются степени рисков для всех типов критериев (атрибутов) выбранного эталонного проекта.

10. Вычисляются оценки риска кредитования анализируемого проекта.

11. Определяется рейтинг проекта и принимается решение.

Более подробно пункты 6–11 рассмотрим на примере проекта, относящегося к подклассу специализированного кредитования «Проектное финансирование».

2. ФОРМИРОВАНИЕ ЭТАЛОННЫХ СТРОК АТТРИБУТОВ ПРОЕКТОВ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КРЕДИТОВАНИЯ

Из критериев кредитных требований, приведенных в Положении, можно сформировать эталонные строки атрибутов для каждого подкласса с указанием степени риска по каждому атрибуту. В частности, для подкласса «Проектное финансирование» можно ввести эталонные строки для следующих классов критериев кредитных требований: A_{1iq} (финансовое положение) — весовой коэффициент $k_1 = 5$; A_{2iq} (политическая и правовая среда) — $k_2 = 4$; A_{3iq} (характеристики операций) — $k_3 = 1$; A_{4iq} (качество спонсора) — $k_4 = 3$; A_{5iq} (обеспечение) — $k_5 = 2$. При этом в каждом классе критериев кредитных требований выделяются подклассы.

В классе A_{1iq} (финансовое положение) формируются эталонные строки для подклассов: A_{11q} (рыночные условия) — коэффициент значимости $k_{11} = 5$; A_{12q} (финансовые показатели) — $k_{12} = 4$; A_{13q} (стресс-анализ) — $k_{13} = 3$; A_{14q} (финансовая структура) — $k_{14} = 2$; A_{15q} (график погашения) — $k_{15} = 1$.

⁴ Справка: применение метода возможно и для других подклассов специализированного кредитования (объектное финансирование, товарно-сырьевое финансирование, финансирование приносящей доход недвижимости, финансирование объектов недвижимости нежилого фонда с нестабильными ценовыми параметрами).

В классе A_{2iq} (политическая и правовая среда) формируются эталонные строки для подклассов: A_{21q} (возможность возникновения убытков или сокращения ожидаемого размера прибыли из-за изменений государственной политики, включающая риск введения ограничений на перевод капитала, с учетом типа проекта и снижающих риск факторов) — $k_{21} = 6$; A_{22q} (риск возникновения форс-мажорных обстоятельств (война, беспорядки и так далее)) — $k_{22} = 5$; A_{23q} (государственная поддержка и стратегическая значимость проекта) — $k_{23} = 4$; A_{24q} (стабильность правовой и регулятивной среды (риск изменения законодательства)) — $k_{24} = 3$; A_{25q} (получение необходимых решений в соответствии с местным законодательством) — $k_{25} = 2$.

В классе A_{3iq} (характеристики операций) формируются эталонные строки для подклассов: A_{31q} (риск возникновения убытков вследствие инженерных ошибок при разработке проекта или ошибок в технологии) — $k_{31} = 6$; A_{32q} (риск строительства) — $k_{32} = 5,5$; A_{33q} (тип контракта на строительство) — $k_{33} = 5$; A_{34q} (гарантии завершения строительства) — $k_{34} = 4,5$; A_{35q} (опыт работы и финансовое положение подрядчиков на примере реализации аналогичных проектов) — $k_{35} = 4$; A_{36q} (риск возможных потерь вследствие неисполнения условий контрактов на операционное и техническое обслуживание) — $k_{36} = 3,5$; A_{37q} (опыт работы и финансовое положение оператора) — $k_{37} = 3$; A_{38q} (риск реализации продукции и наличие обязательства покупателя принять товар или уплатить неустойку либо контракта с фиксированной ценой) — $k_{38} = 2,5$; A_{39q} (отсутствие обязательства покупателя принять товар или уплатить неустойку либо контракта с фиксированной ценой) — $k_{39} = 2$; A_{310q} (риск поставок, невыполнение поставщиками своих обязательств вследствие реализации транспортных или ценовых рисков и финансовое положение и опыт поставщиков) — $k_{310} = 1,5$; A_{311q} (риски возникновения убытков вследствие недостаточного количества материальных запасов (например, риски недостаточного запаса природных ресурсов в месторождении при его разработке)) — $k_{311} = 1$.

В классе A_{4iq} (качество спонсора) формируются эталонные строки для подклассов: A_{41q} (опыт работы спонсора, финансовое положение, опыт в данной стране или отрасли) — $k_{41} = 2$; A_{42q} (спонсорская поддержка, подтвержденная участием в акционерном капитале, условиями собственности и стимулами к внесению в случае необходимости дополнительных денежных средств) — $k_{42} = 1$.

В классе A_{5iq} (обеспечение) формируются эталонные строки для подклассов: A_{51q} (уступка контрактов и счетов) с коэффициентом значимости $k_{51} = 5$; A_{52q} (залог активов с учетом их качества, стоимости и ликвидности) — $k_{52} = 4$; A_{53q} (контроль кредитора за денежными потоками (например, получение денежных средств, независимые счета «эскроу»)) — $k_{53} = 3$; A_{54q} (кованты по договору (обязательные предварительные платежи, отсрочки платежей, последовательность платежей, ограничения на дивиденды)) — $k_{54} = 2$; A_{55q} (наличие средств, зарезервированных на установленные нужды (например, на обслуживание долга, продление и замещение, непредвиденные события и т.д.)) — $k_{55} = 1$.

В каждом подклассе: $A_{11q}, \dots, A_{55q}$ формируются по 5 эталонных строк A_{jiq} ($q = 1, \dots, 5$), содержащих 4 элемента вида: /1000/; /0100/; /0010/; /0001/; /0000/. Расположение «1» в эталонной строке A_{jiq} характеризует степень риска R_{jiq} . Если «1» расположена на первом месте, степень риска равна 1, на четвертом — 4; если строка состоит только из «0» — степень риска равна 5 и это означает, что по данному подклассу нет сведений.

Приводим пример формирования эталонных строк в подклассе A_{11q} ($k_{11} = 5$) с использованием рекомендаций Положения.

$A_{111} = /1000/$ — мало конкурирующих поставщиков или значительное и долгосрочное преимущество в месторасположении, себестоимости или технологиях; спрос сильный и растущий — степень риска $R_{111} = 1$.

$A_{112} = /0100/$ — мало конкурирующих поставщиков и (или) месторасположение, себестоимость или технологии лучше средних, но эта ситуация не может длиться долго; спрос сильный и стабильный — $R_{112} = 2$.

$A_{113} = /0010/$ — проект не имеет преимуществ в плане месторасположения, себестоимости или технологий; спрос адекватный и стабильный — $R_{113} = 3$.

$A_{114} = /0001/$ — месторасположение, себестоимость или технологии хуже среднего уровня; спрос слабый и сокращающийся — $R_{114} = 4$.

$A_{115} = /0000/$ — нет сведений — $R_{115} = 5$.

Назначение весовых коэффициентов, коэффициентов значимости и степеней рисков зависит от мнения экспертов и может корректироваться по результатам применения предлагаемого метода к различным проектам.

2.1. Формирование строк атрибутов анализируемого проекта

Не всегда можно отнести значение атрибута к тому или иному из введенных четырех видов. Например, для атрибута A_{22q} (риск возникновения форс-мажорных обстоятельств) мы не можем точно сказать, что он $A_{221} = /1000/$ (высокая защита) или $A_{222} = /0100/$ (приемлемая защита). Поэтому для проекта c вид этого атрибута задается значениями вероятности либо функций принадлежности, например $A_{22c} = /0,7 \ 0,3 \ 0 \ 0/$. Задание значений вероятностей сопряжено с необходимостью статистической обработки данных, которых может быть недостаточно либо они отсутствуют. Поэтому лучше использовать значения функций принадлежности, задаваемые экспертами или получаемые на основе фаззификации имеющихся ограниченных данных (Городецкий, Тарасова, 2010; Жегалкин, 1928, с. 335).

Таким образом, после формирования строк атрибутов проекта будет база строк вида $A_{jic} = / \mu_1 \ \mu_2 \ \mu_3 \ \mu_4 /$. Причем только два значения μ_i могут быть не равны 0.

Например, для проекта из подкласса A_1 сформированы строки:

$$\begin{aligned} A_{11c} &= /0,7 \ 0,3 \ 0 \ 0/; A_{12c} = /0,3 \ 0,7 \ 0 \ 0/; A_{13c} = /0 \ 0,3 \ 0,7 \ 0/; A_{14c} = /0 \ 0,7 \ 0,3 \ 0/; \\ A_{15c} &= /0,6 \ 0,4 \ 0 \ 0/; A_{21c} = /0 \ 0,6 \ 0,4 \ 0/; A_{22c} = /0,6 \ 0,4 \ 0 \ 0/; A_{23c} = /0,7 \ 0,3 \ 0 \ 0/; \\ A_{24c} &= /0,8 \ 0,2 \ 0 \ 0/; A_{25c} = /0 \ 0,7 \ 0,3 \ 0/; A_{26c} = /0 \ 0,6 \ 0,4 \ 0/; A_{31c} = /0 \ 0,7 \ 0,3 \ 0/; \\ A_{32c} &= /0,3 \ 0,7 \ 0 \ 0/; A_{33c} = /0 \ 0 \ 0,7 \ 0,3/; A_{34c} = /0 \ 0 \ 0,6 \ 0,4/; A_{35c} = /0 \ 0 \ 0,4 \ 0,6/; \\ A_{36c} &= /0,6 \ 0,4 \ 0 \ 0/; A_{37c} = /0 \ 0,3 \ 0,7 \ 0/; A_{38c} = /0 \ 0,7 \ 0,3 \ 0/; A_{39c} = /0 \ 0 \ 0,7 \ 0,3/; \\ A_{310c} &= /0 \ 0,3 \ 0,7 \ 0/; A_{311c} = /0,6 \ 0,4 \ 0 \ 0/; A_{41c} = /0 \ 0,3 \ 0,7 \ 0/; A_{42c} = /0 \ 0,4 \ 0,6 \ 0/; \\ A_{51c} &= /0 \ 0,3 \ 0,7 \ 0/; A_{52c} = /0 \ 0,6 \ 0,4 \ 0/; A_{53c} = /0 \ 0 \ 0,7 \ 0,3/; A_{54c} = /0 \ 0,3 \ 0,7 \ 0/; A_{55c} = /0,7 \ 0,3 \ 0 \ 0/. \end{aligned}$$

2.2. Отнесение проекта к одному из эталонных с присвоением степени риска

1. Выбирается первая строка значений функций принадлежности атрибутов проекта.
2. Для этой строки вычисляются суммы квадратов разностей между значениями функций принадлежности атрибутов проекта и значениями элементов эталонных строк для всех значений типов критериев.
3. Определяется минимальная из вычисленных сумм и степень риска эталонной строки, соответствующая этой минимальной сумме.
4. Выбираются последовательно 2, 3, ... строки и повторяются операции п. 2 и 3, пока не будут выбраны все строки значений функций принадлежности атрибутов проекта и получены все значения степеней риска.

Например, для проекта c из подкласса A (проектное финансирование) получены значения степеней риска: $R_{11c} = 1$; $R_{12c} = 2$; $R_{13c} = 3$; $R_{14c} = 2$; $R_{15c} = 1$; $R_{21c} = 2$; $R_{22c} = 1$; $R_{23c} = 1$; $R_{24c} = 1$; $R_{25c} = 2$; $R_{26c} = 2$; $R_{31c} = 2$; $R_{32c} = 2$; $R_{33c} = 3$; $R_{34c} = 3$; $R_{35c} = 3$; $R_{36c} = 1$; $R_{37c} = 3$; $R_{38c} = 2$; $R_{39c} = 3$; $R_{310c} = 3$; $R_{311c} = 1$; $R_{41c} = 3$; $R_{42c} = 3$; $R_{51c} = 3$; $R_{52c} = 2$; $R_{53c} = 3$; $R_{54c} = 3$; $R_{55c} = 1$.

2.3. Вычисление оценки риска кредитования проекта и определение его рейтинга

В качестве оценки риска кредитования можно использовать средневзвешенное значение степени риска вида

$$O_j = k_j \left(\sum_{i=1}^I (k_{ji} R_{jiA}) \right) / \left(\sum_{i=1}^I (k_{ji} \max\{R_{jiq}\}) \right). \quad (1)$$

Тогда для оценки риска кредитования проекта «с» необходимо выполнить следующие операции.

1. Вычислить значение O_1 , используя 5 значений полученных ранее степеней риска $R_{11c} = 1$; $R_{12c} = 2$; $R_{13c} = 3$; $R_{14c} = 2$; $R_{15c} = 1$ и значение $\max\{R_{jiq}\} = 5$, при $I = 5$:

$$O_1 = 5 (1/5 + 2/5 + 3/5 + 2/5 + 1/5) = 9; \max O_1 = 25.$$
2. Для 6 значений степеней риска $R_{21c} = 2$; $R_{22c} = 1$; $R_{23c} = 1$; $R_{24c} = 1$; $R_{25c} = 2$; $R_{26c} = 2$ найти оценку O_2 вида (1) при $\max\{R_{jiq}\} = 5$ и $I = 6$:

$$O_2 = 4(2/5 + 1/5 + 1/5 + 1/5 + 2/5 + 2/5) = 7,2; \max O_2 = 24.$$

3. Для 11 значений степеней риска $R_{31c} = 2$; $R_{32c} = 2$; $R_{33c} = 3$; $R_{34c} = 3$; $R_{35c} = 3$; $R_{36c} = 1$; $R_{37c} = 3$; $R_{38c} = 2$; $R_{39c} = 3$; $R_{310c} = 3$; $R_{311c} = 1$ вычислить оценку O_3 вида (1) при $\max\{R_{ijq}\} = 5$ и $I = 11$:

$$O_3 = 1(2/5 + 2/5 + 3/5 + 3/5 + 3/5 + 1/5 + 3/5 + 2/5 + 3/5 + 3/5 + 1/5) = 5,2; \max O_3 = 11.$$

4. Для 2 значений степеней риска $R_{41c} = 3$; $R_{42c} = 3$ найти оценку O_4 вида (1) при $\max\{R_{ijq}\} = 5$ и $I = 2$:

$$O_4 = 3(3/5 + 3/5) = 3,6; \max O_4 = 6.$$

5. Для 5 значений степеней риска $R_{51c} = 3$; $R_{52c} = 2$; $R_{53c} = 3$; $R_{54c} = 3$; $R_{55c} = 1$ вычислить оценку O_5 вида (1) при $\max\{R_{ijq}\} = 5$ и $I = 5$:

$$O_5 = 2(3/5 + 2/5 + 3/5 + 3/5 + 1/5) = 4,8; \max O_5 = 10.$$

6. Оценку риска O_R получить из объединения оценок, рассчитанных в п. 1–5:

$$O_R = \sum_{j=1}^J O_j, \quad J=5. \quad (2)$$

Например, для анализируемого проекта:

$$O_R = 9 + 7,2 + 5,2 + 3,6 + 4,8 = 29,8; \max O_R = 25 + 24 + 11 + 6 + 10 = 76.$$

7. Далее в таблице оценки риска найти число, ближайшее к вычисленному значению O_R , и анализируемому проекту присваивается рейтинг, соответствующий этому числу, и принять решение о кредитовании.

Например, для анализируемого проекта «с»:

ранг = 1, оценка риска $O_R = 0, \dots, 19$ — отличный проект;

ранг = 2, $O_R = 19, \dots, 38$ — хороший проект;

ранг = 3, $O_R = 38, \dots, 57$ — удовлетворительный проект;

ранг = 4, $O_R = 57, \dots, 76$ — неудовлетворительный проект.

$O_R = 29,8$, значит, ранг = 2 (хороший проект) и кредитование проекта может быть одобрено после устранения замечаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный логико-лингвистический метод оценки риска проектного финансирования как класса специализированного кредитования может быть реализован в виде компьютерной программы, позволяющей ускорить анализ риска кредитования рассматриваемых проектов.

Основная часть предложенного алгоритма реализована компьютерным способом в зарегистрированной программе для ЭВМ⁵. При этом для оценки эффективности и устойчивости алгоритма использовалось имитационное компьютерное моделирование, генерирующее сотни возможных комбинаций атрибутов и значений их функций принадлежности с учетом их вероятностного распределения (Gorodetskiy, Tarasova, 2022).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Анфилов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. (2019). Системный анализ в управлении. Под ред. А.А. Емельянова. М.: Финансы и статистика. [Anfilatov V.S., Emelyanov A.A., Kukushkin A.A. (2019). *System analysis in management*. A.A. Emelyanov (ed.). Moscow: Finansy i Statistika (in Russian).]
- Борисова О.В., Малых Н.И., Овешникова Л.В. (2018). Инвестиции. Т. 1. М.: Юрайт. [Borisova O.V., Malykh N.I., Oveshnikova L.V. (2018). *Investments*. Vol. 1. Moscow: Yurait (in Russian).]
- Бояркин Г.Н., Шевелева О.Г., Ткаченко А.Л. (2017). Выбор объекта инвестирования с помощью аналитических методов оценки риска // *Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии*. № 9–2 (56). С. 23–27. [Boyarkin G.N., Sheveleva O.G., Tkachenko A.L. (2017). Choosing an investment object using analytical methods for risk assessment. *Global World: Economics, Science, Technology*, 9–2 (56), 23–27 (in Russian).]
- Ведмедь И.Ю. (2017). Анализ количественных методов оценки рисков инвестиционных проектов. В сб.: «Вероятностные математические модели экономических процессов». XII конференция «Российские регионы в фокусе».

⁵ Городецкий А.Е., Тарасова И.Л. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617568 «Логико-вероятностная классификация образов LP1». 2022 г.

- перемен» 16–18 ноября 2017 г. Екатеринбург. С. 52–61. [Vedmed I. Yu. (2017). Analysis methods of quantitative risk assessment of investment projects. In: “*Probabilistic mathematical models of economic processes*”. XII conference “Russian regions in the focus of change”. November 16–18 2017, Yekaterinburg, 52–61 (in Russian).]
- Волков И.М., Грачева М.В. (1998). Проектный анализ. М.: Банки и биржи, ЮНИТИ. [Volkov I.M., Gracheva M.V. (1998). *Project analysis*. Moscow: Banki i Birzhi, UNITI (in Russian).]
- Гареев А.З. (2016). Риски при реализации инвестиционных проектов // *Инновационная наука*. № 10 (10). С. 30–33. [Gareev A.Z. (2016). Risks in the implementation of investment projects. *Innovative Science*, 10 (1), 30–33 (in Russian).]
- Городецкий А.Е., Тарасова И.Л. (2010). Нечеткое математическое моделирование плохо формализуемых процессов и систем. СПб.: Изд-во Политехнического университета. [Gorodetsky A.E., Tarasova I.L. (2010). *Fuzzy mathematical modeling of poorly formalized processes and systems*. Saint Petersburg: Izd-vo Politekhicheskogo universiteta (in Russian).]
- Ефремова Е.А., Прядкина В.А. (2014). Применение метода Монте-Карло для оценки инвестиционных проектов. В сб.: «Научное сообщество студентов XXI столетия. Экономические науки: сб. ст. по материалам XXVII Студ. Междунар. науч. — практ. конф.». № 12 (27). С. 237–244. [Efremova E.A., Pryadkina V.A. (2014). Application of the Monte Carlo method for evaluating investment projects. *Scientific community of students of the XXI century. Economic sciences: Sat. Art. based on materials XXVII Stud. International scientific-pract. conf.*, 12 (27), 237–244 (in Russian).]
- Жегалкин И.И. (1928). Арифметизация символической логики // *Математический сборник*. Т. 35. Вып. 3–4. С. 335. [Zhagalkin I.I. (1928). Arithmetization of symbolic logic. *Matematicheskii sbornik*, 35, 3–4, 335 (in Russian).]
- Заде Л.А. (1976). Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: МИР. [Zade L.A. (1976). *The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions*. Moscow: MIR (in Russian).]
- Королькова Е.М. (2013). Риск-менеджмент: управление проектными рисками // Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ». [Korolkova E.M. (2013). *Risk management: Project risk management*. Tambov: FGBOU VPO “TSTU” (in Russian).]
- Кулик Ю.А., Волович В.Н., Привалов Н.Г., Козловский А.Н. (2012). Классификация и качественная оценка рисков инновационных проектов // *Записки Горного института*. Т. 197. С. 124–125. [Kulik Yu.A., Volovich V.N., Privalov N.G., Kozlovsky A.N. (2012). Classification and qualitative assessment of risks of innovative projects. *Notes of the Mining Institute*, 197, 124–125 (in Russian).]
- Миркин Б.Г. (1974). Проблема группового выбора. М.: Наука. [Mirkin B.G. (1974). *The problem of group choice*. Moscow: Nauka (in Russian).]
- Москвин В.А. (2016). Риски инвестиционных проектов. М.: Курс, ИНФРА-М. [Moskvin V.A. (2016). *Risks of investment projects*. Moscow: Course, INFRA-M (in Russian).]
- Найт Ф.Х. (2003). Риск, неопределенность и прибыль. Пер. с англ. М.Я. Каждан. М.: Дело. [Knight F.H. (2003). Risk, uncertainty and profit. Trans. from the English by M. Ya. Kazhdan. Moscow: Delo (in Russian).]
- Попова А.Ю. (2006). Оценка риска инвестиционного проекта // *Научный журнал КубГАУ*. № 19. С. 1–26. [Popova A.Yu. (2006). Risk assessment of an investment project. *Scientific Journal of KubSAU*, 19, 1–26 (in Russian).]
- Решетняк Е.И. (2017). Методы оценки инвестиционных рисков в бизнес-планировании // *Бизнес Информ*. № 12. С. 189–194. [Reshetnyak E.I. (2017). Methods for assessing investment risks in business planning. *Business Inform*, 12, 189–194 (in Russian).]
- Сазонов А.А., Сазонова М.В. (2016). Применение метода Монте-Карло для моделирования экономических рисков в проектах // *Наука и современность*. № 43. С. 228–232. [Sazonov A.A., Sazonova M.V. (2016). Application of the Monte Carlo method for modeling economic risks in projects. *Science and Modernity*, 43, 228–232 (in Russian).]
- Соложенцев Е.Д. (2009). Управление риском и эффективностью в экономике: логико-вероятностный подход. СПб.: Изд-во СПбГУ. 242 с. [Solojentsev E.D. (2009). *Management of risk and efficiency in the economy: A logical-probabilistic approach*. Saint Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University, 242 (in Russian).]
- Степаненко Н.В., Харитонов С.В. (2017). Применение возможностей Microsoft Excel в моделировании рисков инвестиционных проектов // *Прикладная информатика*. Т. 12. № 1 (67). С. 137–142. [Stepanenko N.V., Kharitonov S.V. (2017). Microsoft Excel application possibilities in modeling risks of investment projects. *Applied Informatics*, 12, 1 (67), 137–142 (in Russian).]
- Ткаченко А.Л., Шевелева О.Г. (2019). Оценка рисков в инвестиционном проектировании // *Омский научный вестник. Сер. Общество. История. Современность*. Т. 4. № 2. С. 140–145. [Tkachenko A.L., Sheveleva O.G. (2019). Risk assessment in investment project. *Omsk Scientific Bulletin. Series Society. History. Modernity*, 4, 2, 140–145 (in Russian).]
- Цамутали С.А. (2013). Оценка рисков реальных инвестиций // *Экономика. Налоги. Право*. № 4. С. 32–37. [Tsamutali S.A. (2013). Risk assessment of real investments. *Ekonomika. Nalogi. Pravo (Economics, Taxes & Law)*, 4, 32–37 (in Russian).]
- Штеле Е.А., Гусева М.А., Руди Л.А. (2016). Методика оценки эффективности инвестиционных проектов с учетом рисков // *Вестник СибАДИ*. № 6 (52). С. 135–140. [Shtele E.A., Guseva M.A., Rudi L.A. (2016). Assessment method

of investment projects efficiency in view of the risks. *Siberian State Automobile and Highway Industry Journal*, 6 (52), 135–140 (in Russian).]

Gorodetskiy A.E., Tarasova I.L., Kurbanov V.G. (2021). Classification of images in decision making in the central nervous system of SEMS. In: *Smart electromechanical systems, studies in systems*. Book series “Decision and Control”, 352, 187–196. DOI: 10.1007/978-3-030-68172-2_15

Gorodetskiy A.E., Tarasova I.L., Kurbanov V.G. (2022). Assessment of UAV intelligence based on the results of computer modeling. In: *Smart electromechanical systems, studies in systems*. Book series “Decision and Control”, 419, 105–116. DOI: 10.1007/978-3-030-97004-8_8

Gorodetskiy A.E., Tarasova I.L. (2022). Modeling of systems of logical-linguistic classification of images. Smart electromechanical systems. In: *Smart electromechanical systems, studies in systems*. Book series “Decision and Control”, 419, 95–103. DOI: 10.1007/978-3-030-97004-8_7

Zadeh L.A. (1965). Fuzzy sets. *Inform. Contr.*, 8, 338–353.

Logical-linguistic method for assessing the risk of specialized lending (on the example of project financing)

© 2022 A.R. Krasavtseva, A.E. Gorodetskiy

A.R. Krasavtseva,

AO “AB ‘ROSSYA’”, Saint Petersburg, Russia; e-mail: krasavtseva.a@gmail.com

A.E. Gorodetskiy,

Institute of Problems of Mechanical Engineering, Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia; e-mail: g27764@yandex.ru

Received 22.05.2022

The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme no. 121112500304-4).

Abstract. Credit risk assessment is associated with uncertainty of many factors which are hard to describe mathematically. This reduces the probability of success of specialized lending as well. Among the various risk assessment methods suitable for specialized lending risk assessment, it's possible to single out a scenario approach that uses the methods of fuzzy set theory to calculate the values of membership functions. However, the problem of ranking the set of project implementation scenarios for which a loan is requested is not studied enough. Despite the existing technical difficulties of risk factors management, the ranking of the risks of project implementation can be carried out by comparing with the ones from the database using the logical-linguistic classification method. The purpose of the study is to develop new methods of credit risk assessment based on the logical and linguistic classification of specialized lending projects as well as algorithms for assessing the credit risk of the project with determining its rating. The definition of a Project is used according to the concept of Project Finance as one of the classes of specialized lending. Methods: the assignment of weight factors for all subclasses of credit requirements, the assignment of risk levels for all values of the types of criteria, introduction of a table of the risk value assessment or the creditworthiness of the project, the formation of a database of reference attribute strings for all classes of projects, generating attribute strings for the analyzed project, assigning the analyzed project to the benchmark using the logical-linguistic classification method, assigning risk degree values for the analyzed project for all values of the criteria (attribute) types of the selected reference project, calculating the credit risk assessment of the analyzed project and determining the rating of the analyzed project for decision making. Results: based on the proposed risk assessment method, an algorithm for calculating the risk assessment of lending to the analyzed project with determining its rating was developed. Practical significance: the results of the research can be used in the development of computer program allowing to accelerate risk assessment of project financing.

Keywords: specialized lending, risk assessment, project financing, creditworthiness level, weight coefficients, significance coefficients, benchmarks, logical-linguistic classification, rating, decision making.

JEL Classification: C02, C38.

For reference: **Krasavtseva A.R., Gorodetskiy A.E.** (2022). Logical-linguistic method for assessing the risk of specialized lending (on the example of project financing). *Economics and Mathematical Methods*, 58, 4, 83–91. DOI: 10.31857/S042473880020295-3

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Анализ факторов банкротства российских застройщиков

© 2022 А.И. Косякина

А.И. Косякина,
ИКНД РАНХиГС, Москва; email: kosyakina-ai@ranepa.ru

Поступила в редакцию 24.12.2021

Статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы государственного задания РАНХиГС.

Аннотация. В 2019 г. в России произошел переход к проектному финансированию жилищного строительства, направленный на противодействие проблеме обманутых дольщиков. Несмотря на то что более 73% площади строящихся объектов реализуются по новой схеме, порядка 13% жилых домов возводится застройщиками, находящимися в процессе банкротства. В этой ситуации актуально формировать дополнительные инструменты оценки рисков банкротства компаний для своевременного предотвращения негативных последствий, в том числе обусловленных особенностями региональных рынков и самой отрасли. В настоящее время лишь незначительное число исследователей занимаются вопросами оценки финансовой устойчивости российских застройщиков. Новизна настоящего исследования состоит в формировании инструмента оперативного мониторинга и оценки рисков банкротства компаний строительной отрасли на основе количественной модели, построенной с использованием оригинальной базы данных. Цель работы — выявление факторов банкротства российских застройщиков и построение количественной модели риска банкротства застройщиков в кратко- и среднесрочной перспективе на основе легко наблюдаемых характеристик их деятельности. Полученные результаты показывают, что вероятность банкротства велика для компаний с низкими значениями рентабельности активов, коэффициента оборачиваемости активов и коэффициента текущей ликвидности. Дополнительными факторами, снижающими вероятность банкротства, являются факт вхождения застройщика в группу компаний, наличие опыта строительства жилья. Построенная модель может использоваться для прогнозирования вероятности банкротства компаний и принятия своевременных решений о поддержке отрасли, в том числе в условиях санкционного давления.

Ключевые слова: жилищное строительство, вероятность банкротства, финансовая устойчивость, строительные компании, деятельность застройщиков, логит-модели, проектное финансирование, риск-ориентированное регулирование.

Классификация JEL: C25, G17, G33, L74.

Для цитирования: **Косякина А.И.** (2022). Анализ факторов банкротства российских застройщиков // *Экономика и математические методы*. Т. 58. № 4. С. 92–101. DOI 10.31857/S042473880018089-6

ВВЕДЕНИЕ

Отрасль жилищного строительства имеет длительный производственный цикл, в процессе которого могут возникать риски финансовой неустойчивости, результатом которых, в свою очередь, является банкротство застройщиков и невозможность погашения обязательств перед участниками долевого строительства.

С точки зрения экономической политики оценка финансовой устойчивости застройщиков и выявление среди них потенциальных банкротов необходимы для совершенствования критериев, используемых государством (регулятором) при принятии решения о допуске застройщика на рынок, для мониторинга состояния строительной отрасли, а также для обоснованного определения субъектов государственной поддержки в условиях макроэкономической нестабильности.

Проблема банкротства застройщиков жилья остается актуальной для российской строительной отрасли — по состоянию на конец 2021 г. открыто конкурсное производство в отношении 651 застройщика, а также введена иная процедура банкротства в соответствии с Федеральным законом

ФЗ № 127¹ в отношении 27 застройщиков. В связи с ростом ключевой ставки Банка России, макроэкономической нестабильностью и снижением покупательной способности населения проблема финансовой устойчивости застройщиков может существенно обостриться.

Целью настоящего исследования является выявление факторов банкротства застройщиков и формирование практического инструмента оценки вероятности банкротства застройщиков на основе количественного эконометрического анализа легко наблюдаемых характеристик их деятельности. Моделирование банкротств компаний в различных отраслях широко обсуждается в экономической литературе, однако для российской отрасли жилищного строительства соответствующие модели отсутствуют, а существующая система мониторинга состояния застройщиков скорее позволяет констатировать факт банкротства.

ВЫБОР МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В экономической литературе вопросы моделирования рисков банкротства фирм обсуждаются исследователями на протяжении более чем полувека². Анализ мирового и российского опыта моделирования позволяет классифицировать существующие методологические подходы к анализу финансовой устойчивости компаний на два блока (табл. 1). К первому блоку относятся модели, в которых банкротство фирм прогнозируется преимущественно на основе анализа показателей финансовой и бухгалтерской отчетности предприятий с помощью методов дискриминантного анализа, эконометрических моделей бинарного выбора, анализа выживаемости и других подходов.

Ко второму блоку относятся так называемые рыночные модели, в основе которых лежит информация, доступная игрокам фондового рынка, — прежде всего рыночные данные по котируемым ценным бумагам (акциям и облигациям) компаний-заемщиков. Для прогнозирования банкротства российских компаний данный подход практически не применялся, что прежде всего связано со слабым развитием публичного финансирования компаний-застройщиков.

В ряде работ уже моделировалась вероятность банкротства российских фирм строительной отрасли — так, например, в статье (Федорова, Тимофеев, 2015) авторы предложили модель для

Таблица 1. Методы оценки вероятности банкротства в экономической литературе

Метод		Исследования для России	Исследования для других стран
Модели, основанные на анализе преимущественно финансовой и бухгалтерской отчетности	Дискриминантный анализ	Makeeva, Neretina, 2013a, 2013b	Altman, 1968; Hillegeist et al., 2004; Chava, Jarrow, 2004; Lin, 2009; Lee, Choi, 2013; Karas, Srbová, 2019
	Эконометрический анализ: модели бинарного выбора (логит, пробит), анализ выживаемости (англ. SA, survival analysis)	Жданов, Афанасьева, 2011; Дробышевский, Зубарев, 2011; Makeeva, Neretina, 2013a, 2013b; Демешев, Тихонова, 2014; Федорова, Тимофеев, 2015; Могилат, 2019	Ohlson, 1980; Martin, 1977; Zmijewski, 1984; Shumway, 2001 (анализ выживаемости); Hillegeist et al., 2004; Chava, Jarrow, 2004 (анализ выживаемости); Lin, 2009; Ding et al., 2012 (анализ выживаемости); Jabeur, 2017
	Нейронные сети	Макеева, Бакурова, 2012	Odom, Sharda, 1990; Lin, 2009; Lee, Choi, 2013
	Прочие методы (метод опорных векторов (SVM), генетическое программирование (genetic programming), decision trees, rough set)	Демешев, Тихонова, 2014	Slowinski, Zopounidis, 1995; Min, Lee, Han, 2006; Lensberg, Eilifsen, McKee, 2006; Danenas, Garsia, 2015
«Рыночные» модели (анализ стоимости ценных бумаг)		—	Hillegeist et al., 2004; Afik, Arad, Galil, 2016

Источник: составлено автором на основе анализа литературы.

¹ Федеральный закон от 26.10.2002 № 127-ФЗ (ред. от 02.07.2021, с изм. от 16.11.2021) «О несостоятельности (банкротстве)» (с изм. и доп. вступ. в силу с 18.10.2021).

² В качестве первой работы, в которой была предпринята попытка количественного анализа рисков дефолта компаний на основе данных финансовых коэффициентов, обычно упоминается статья (Beaver, 1966). Подробный обзор экономических исследований, посвященных банкротству фирм, представлен в работах (Balcaen, Ooghe, 2006; Gepp, Kumar, 2012) и др.

прогнозирования банкротства российских фирм строительной и сельскохозяйственной отраслей, а в работе Демешева и Тихоновой (Демешев, Тихонова, 2014) была смоделирована вероятность банкротства российских малых и средних компаний, в том числе в отрасли строительства.

Вместе с тем, деятельность компаний-застройщиков имеет специфические черты. Во-первых, это — длинный производственный цикл, который от начала разработки проектной документации до ввода построенного объекта в эксплуатацию в среднем занимает от 4 до 7 лет (см., например, работу (Стерник С., Стерник Г., 2018), а также мнения представителей отрасли³). Во-вторых, неравномерность поступления доходов от продажи по договорам долевого участия (далее ДДУ) приводит к неравномерной динамике финансовых показателей компаний-застройщиков. В-третьих, наличие головной компании-девелопера у многих строительных компаний, напротив, может снижать риск банкротства. Все это создает необходимость оценки отдельной модели на более однородной выборке компаний, основным видом деятельности которых является жилищное строительство.

ФАКТОРЫ БАНКРОТСТВА РОССИЙСКИХ ЗАСТРОЙЩИКОВ

Для России можно выделить несколько ключевых причин банкротства застройщиков: значительное влияние макроэкономической конъюнктуры и высокая волатильность цен в периоды нестабильности, сложности в доступе к долговому финансированию проектов строительства и высокая административная нагрузка при строительстве⁴.

Банкротство застройщиков наиболее часто наступает на 5–7 год существования компаний, второй пик рисков наступления банкротства приходится на возраст 11–13 лет (рис. 1). Таким образом, к моменту банкротства компании обычно успевают завершить один-два строительных цикла.

Несмотря на относительно большую вариативность в выборе конкретных финансовых коэффициентов, анализируемые факторы банкротства чаще всего включают показатели рентабельности, ликвидности, долговой нагрузки и деловой активности, а также нефинансовые характеристики фирм — возраст, факт их вхождения в группы компаний и организационно-правовая форма.

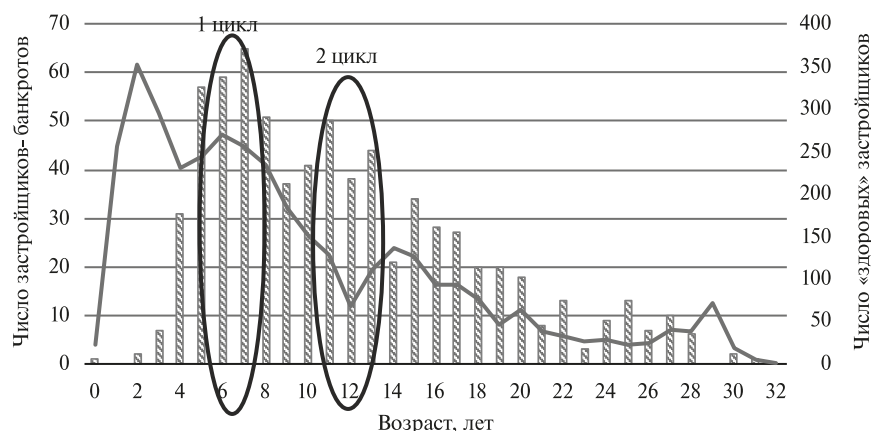


Рис. 1. Распределение компаний-застройщиков по возрасту

Примечание. Линия обозначает число «здоровых» застройщиков определенного возраста (правая вертикальная ось), столбцы — число застройщиков-банкротов (левая вертикальная ось).

Источник: составлено автором по данным Единой информационной системы жилищного строительства (ЕИСЖС) Минстроя РФ и системы СПАРК.

³ «Около 80 млн кв. м жилья планируют сдать в эксплуатацию в 2020 году в России» // *Ведомости* (<https://www.vedomosti.ru/realty/articles/2020/02/18/823247-sdat-ekspluatatsiyu>).

⁴ Например, использование цифровых технологий в проектировании и строительстве.

Помимо индивидуальных характеристик отдельных застройщиков, на вероятность их банкротства в России могут влиять макроэкономические факторы, в том числе изменение социально-экономических условий как на национальном, так и региональном уровнях. В частности, повышение ставок ипотеки должно приводить к снижению спроса со стороны населения, что может негативно сказываться на рентабельности и ликвидности застройщиков и приводить к снижению их финансовой устойчивости. Рост курса доллара к рублю может негативно влиять на финансовую устойчивость застройщиков из-за увеличения издержек строительства. Рост оплаты труда, напротив, должен стимулировать спрос населения на недвижимость, увеличивая тем самым поступления денежных средств на счета застройщиков и улучшая их финансовое состояние.

Можно сформулировать набор гипотез о влиянии различных факторов на риски банкротства:

- 1) рост финансовых показателей рентабельности, ликвидности и деловой активности приводит к увеличению финансовой устойчивости застройщиков;
- 2) рост финансовых показателей долговой нагрузки свидетельствует о снижении финансовой устойчивости застройщиков;
- 3) вероятность банкротства застройщиков с организационно-правовой формой ООО ниже по сравнению с компаниями с такими правовыми формами, как АО, ЗАО и ПАО, и для застройщиков, входящих в группы компаний;
- 4) вероятность банкротства малых и микрозастройщиков выше, чем вероятность банкротства средних и крупных — компании большего размера являются более устойчивыми благодаря увеличению возможностей привлечения долгового финансирования по мере роста их размера;
- 5) ухудшение макроэкономической конъюнктуры, о котором может свидетельствовать рост ключевой ставки и ослабление национальной валюты, приводит к повышению вероятности банкротства застройщиков.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ АНАЛИЗИРУЕМОЙ ВЫБОРКИ

В качестве основного инструмента анализа использовалась логит-модель, в которой зависимой переменной выступала вероятность банкротства застройщика. В качестве основной рассматривалась следующая модель, единицей наблюдения в которой была компания-застройщик:

$$p_i = P(DEATH_i = 1) = F(z_i), \quad (1)$$

где

$$F(z) = 1 / (1 + e^{-z}), \quad (2)$$

$$z_{it} = b_0 + b_1 Lev_{it-1} + b_2 ROA_{it-1} + b_3 CR_{it-1} + b_4 AssetTurn_{it-1} + b_5 Age_{it-1} + b_6 Dummy_OOO_i + \\ + b_7 Dummy_GK_i + b_8 Dummy_SizeB_small_i + b_9 Dummy_SizeB_medium_i + \\ + b_{10} Dummy_SizeB_large_i + b_{11} Mort_{jt-1} + b_{12} Exch_{t-1} + b_{13} w_{jt-1} + u_{it-1}, \quad (3)$$

где $P(DEATH_i = 1)$ — вероятность банкротства застройщика; i — застройщик; j — регион хозяйственной деятельности застройщика; t — период времени (год); $DEATH$ — дамми-переменная, принимающая значение «1» для компаний-банкротов, если $t \geq By$, где By — год банкротства застройщика; и «0» — для остальных наблюдений; Lev_{it-1} — коэффициент соотношения заемных и собственных средств; ROA_{it-1} — рентабельность активов (отношение чистой прибыли после налогообложения к активам); CR_{it-1} — коэффициент текущей ликвидности (отношение оборотных активов к краткосрочным обязательствам, характеризует способность компании вовремя погашать свои долговые обязательства за счет использования активов); $AssetTurn_{it-1}$ — коэффициент оборачиваемости совокупных активов (отношение выручки от продаж к средней стоимости активов, которое неявно отражает востребованность продукции компании на рынке (способность компании генерировать прибыль при заданном уровне активов)); Age_{it-1} — возраст компании; $Dummy_OOO_i$ — дамми-переменная на организационно-правовую форму (значение «1» для ООО); $Dummy_GK_i$ — дамми-переменная для застройщиков, входивших в группы компаний; $Dummy_SizeB_small_i$, $Dummy_SizeB_medium_i$, $Dummy_SizeB_large_i$ — дамми-переменные на размер компании; $Mort_{jt-1}$ — средневзвешенная процентная ставка по ипотеке; $Exch_{t-1}$ — курс доллара США к рублю; w_{jt-1} — номинальная начисленная заработная плата работающих в экономике; u — случайная ошибка регрессии.

Оценка коэффициентов модели производилась путем максимизации функции правдоподобия; расчет параметров модели — с помощью программного обеспечения STATA.

Наилучшие спецификации отбирались на основе анализа точности получаемого внутри выборочного прогноза. Точность моделей измерялась⁵ на основе таких показателей, как доля вернoкласифицированных моделью наблюдений, чувствительность⁶ модели и специфичность⁷ модели.

Перечень компаний, вошедших в выборку, формировался на основе анализа данных реестра застройщиков ЕИСЖС. По состоянию на 30.06.2021 г. в реестре содержалась информация о 4513 застройщиках, включая 723 компании, в отношении которых была введена процедура банкротства. Выборка для анализа формировалась следующим образом.

1. На первом этапе из реестра застройщиков были отобраны все компании, в отношении которых была введена процедура банкротства за период с начала 2018 г. до конца I полугодия 2021 г. (316 застройщиков). Сопоставление числа банкротств на основе данных ЕИСЖС с оценками аналитиков за период с 2018 по 2021 г.⁸ позволяет констатировать присутствие в выборке большинства застройщиков, обанкротившихся в данный период времени.

2. На втором этапе для каждого застройщика-банкрота, вошедшего в выборку, была подобрана одна или несколько (три) компаний⁹ со схожим размером активов и организационно-правовой формой из числа здоровых предприятий отрасли. Использование выборки с соотношением двух типов компаний, равным 3: 1, имеет ряд преимуществ с точки зрения качества оценок, так как банкротство застройщиков является редким событием, а увеличение размеров выборки должно способствовать росту состоятельности получаемых оценок.

3. На третьем этапе для застройщиков, обанкротившихся в год t (исследуемый промежуток включал трехлетний период 2018–2020 гг.), а также их аналогов среди действующих компаний были собраны данные об их характеристиках и прочих объясняющих переменных в год $(t - 1)$. Таким образом, исследуемые параметры застройщиков относились к интервалу 2017–2020 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ БАНКРОТСТВА РОССИЙСКИХ ЗАСТРОЙЩИКОВ

В табл. 2 представлены результаты оценки параметров логистической модели (1)–(3) за 2017–2020 гг. Анализировались как модели с включением исключительно финансовых коэффициентов¹⁰ из отчетности застройщиков (спецификации 1 и 4), так и модели, дополненные нефинансовыми характеристиками застройщиков; также в модели были включены макроэкономические факторы¹¹.

Среди всех проанализированных факторов, которые потенциально могли бы влиять на финансовую устойчивость (вероятность банкротства) российских компаний-застройщиков, следует выделить оборачиваемость совокупных активов. Вывод о наличии значимой и отрицательной зависимости между данным показателем и вероятностью банкротства застройщика был наиболее устойчивым к смене спецификации модели среди всех использовавшихся независимых переменных.

⁵ Показатели точности рассчитывались, исходя из предположения о пороге решающего правила, равном 0,5.

⁶ Чувствительность модели отражает вероятность того, что застройщик, являющийся в действительности банкротом, будет классифицирован как банкрот.

⁷ Специфичность модели отражает вероятность того, что не обанкротившийся в действительности застройщик будет классифицирован как «здоровое» предприятие.

⁸ Рейтинговое агентство стройкомплекс (РАСК).

⁹ Для исследования формировалось две выборки: в первой выборке соотношение банкротов и «здоровых» компаний составляло 1: 1, во второй — 1: 3, что позволило улучшить качество получаемых эконометрических оценок.

¹⁰ При формировании итогового набора независимых переменных учитывалась полнота данных по отдельным показателям. Например, в приведенных спецификациях в уравнение не были включены соотношение совокупного долга к EBIT и оборачиваемость запасов, которые содержали большое число пропусков в данных. Их добавление в модель несущественно влияло на точность получаемых оценок.

¹¹ Одним из критериев выбора набора макроэкономических факторов была оперативность публикации данных в открытых источниках.

Таблица 2. Результаты оценки модели финансовой устойчивости застройщиков с 2017 по 2020 г.

Соотношение здоровых компаний и банкротов в выборке	1: 1			3: 1		
Номер спецификации	1	2	3	4	5	6
Коэффициент соотношения заемных и собственных средств	0,00	0,00	−0,00	−0,00	−0,00	−0,00
Рентабельность активов (ROA)	−5,39***	−3,57*	−0,09	−3,22***	−3,04***	−0,04
Коэффициент текущей ликвидности	−0,07	−0,06	−0,03*	−0,08*	−0,06	−0,05***
Коэффициент оборачиваемости совокупных активов	−5,46***	−6,68***	−3,25***	−4,87***	−5,87***	−3,10***
Дамми для ООО		−0,80	−0,55		−0,34	−0,12
Дамми для ГК		−1,65***	−1,42***		−1,73***	−1,46***
Возраст		0,04*	0,04***		0,06***	0,05***
Дамми для средних предприятий		0,38	0,74		−0,18	0,42
Дамми для малых предприятий		0,55	1,13**		1,41*	0,88*
Ставка по ипотеке		0,30	−0,18		0,05	−0,20
Заработная плата		0,00	0,00		0,00	−0,00
Номинальный обменный курс доллара к рублю		0,05	−0,03		−0,00	−0,03
Заработная плата × дамми для малых предприятий					−0,00**	
Константа	0,06	−5,03	3,73	−0,97***	−0,71	3,12
Число наблюдений	311	311	490	663	663	942
Доля верноклассифицированных наблюдений, %	74,92	74,28	73,06	82,35	84,31	77,6
Специфичность, %	89,29	85,71	80,39	99,09	95,99	93,35
Чувствительность, %	50,43	54,78	65,11	2,61	28,7	30,21
Площадь под кривой ROC	0,78	0,83	0,78	0,76	0,83	0,79

Примечания. Зависимая переменная: вероятность банкротства (Death). «***» — значимость на уровне 1%; «**» — на уровне 5%; «*» — на уровне 10%. В спецификациях 3 и 6 использовались усредненные за три года значения финансовых коэффициентов.

Источник: составлено автором.

Выводы о влиянии прочих финансовых коэффициентов на устойчивость застройщиков различаются в зависимости от спецификации. При анализе данных о финансовых показателях только за один период (за год до банкротства) значимо положительно влиял на финансовую устойчивость застройщиков рост рентабельности активов предприятия. Однако при использовании усредненных за три года значений финансовых коэффициентов влияние рентабельности на финансовую устойчивость переставало быть значимым, что могло быть обусловлено существенным влиянием стадии реализации проекта на финансовые показатели. При этом на финансовую устойчивость значимо влияли показатели ликвидности: при росте коэффициента текущей ликвидности вероятность банкротства застройщиков при прочих равных снижалась. Последние результаты можно рассматривать как наиболее надежные, в силу того что показатели финансовой отчетности застройщиков зависят от стадии строительного цикла, а процедура усреднения показателей позволяет нивелировать данный фактор. Однако такая спецификация модели не применима для оценки финансовой устойчивости компаний, работающих менее трех лет.

Учет таких характеристик компаний, как их организационно-правовая форма, возраст, факт вхождения в корпоративный контур группы и размер, позволял повысить точность моделей за счет повышения их чувствительности, т.е. способности распознавать банкротов. Для застройщиков, входивших в группы компаний, риски банкротства при прочих равных были ниже в сравнении с самостоятельными компаниями-застройщиками. Наибольшие риски банкротства при прочих равных испытывали компании, возводившие за время своего существования не более двух домов (в том числе в составе одного жилого комплекса).

В 2019–2020 гг. в строительной отрасли произошло сразу несколько значимых событий: во-первых, с 1 июля 2019 г. произошел переход к новой схеме финансирования строительства; во-вторых, во II квартале 2020 г. резко сократились продажи первичного жилья, что впоследствии было

Таблица 3. Результаты оценки модели финансовой устойчивости застройщиков до и после пандемии 2020–2021 гг.

Год, к которому относилась зависимая переменная	2018–2019	2020–2021	2018–2019	2020–2021
Соотношение здоровых компаний и банкротов в выборке	1: 1		3: 1	
Номер спецификации	1	2	3	4
Коэффициент соотношения заемных и собственных средств	–0,00	0,00**	–0,00	0,00
Рентабельность активов (ROA)	–3,23*	–6,35	–3,55**	–1,67
Коэффициент текущей ликвидности	0,01	–0,40**	–0,04	–0,10
Коэффициент оборачиваемости совокупных активов	–5,13***	–15,10***	–4,75***	–8,16***
Дамми для ООО	–0,60	–5,16***	–0,07	–1,02
Дамми для ГК	–2,03***	–1,53*	–2,10***	–0,71
Возраст	0,01	0,06	0,03	0,09***
Дамми для средних предприятий	0,36	–1,99	–0,13	–1,01
Дамми для малых предприятий	0,85	–2,14	0,23	–1,22
Ставка по ипотеке	–1,35	–0,83	–0,62	0,45
Заработная плата	–0,00	0,00	–0,00	–0,00
Номинальный обменный курс доллара к рублю	–0,29	–0,37	–0,12	0,09
Константа	32,77	39,39	13,55	–9,31
Число наблюдений	194	117	403	260
Доля верно классифицированных наблюдений, %	75,26	82,05	85,11	86,15
Специфичность, %	86,44	89,74	94,19	97,29
Чувствительность, %	57,89	66,67	46,05	23,08
Площадь под кривой ROC	0,84	0,89	0,83	0,82

Примечания. Зависимая переменная: вероятность банкротства (Death). «***» — значимость на уровне 1%; «**» — на уровне 5%; «*» — на уровне 10%. Спецификации 1 и 3 были оценены на данных о банкротстве застройщиков за 2018–2019 гг., спецификации 2 и 4 — за 2020–2021 гг.

Источник: составлено автором.

компенсировано программой льготной ипотеки. В связи с этим рассмотренная модель была оценена на двух временных интервалах: с 2018 по 2019 г. и за период с 2020 по 2021 г. (табл. 3).

Результаты представленных количественных оценок позволяют говорить о том, что влияние снижения коэффициента оборачиваемости совокупных активов оказалось более сильным при анализе банкротств, произошедших в 2020–2021 гг.

Для застройщиков, обанкротившихся в 2020 и 2021 г., также значимо влияли на вероятность банкротства такие показатели, как соотношение заемных и собственных средств и показатель ликвидности: при увеличении соотношения заемных средств к собственным вероятность банкротства застройщика при прочих равных увеличивалась; рост коэффициента текущей ликвидности, напротив, при прочих равных приводил к снижению рисков банкротства застройщиков.

У застройщиков же, обанкротившихся в 2018 и 2019 г., влияние данных факторов было незначимым. В то же время, на финансовую устойчивость застройщиков значимо влияла рентабельность: при прочих равных ее рост снижал риски банкротства. Можно предположить, что в период экономических кризисов в первую очередь банкротились компании, которые не смогли погасить своих долговых обязательств при помощи имеющихся активов, а в периоды стагнации и роста с рынка уходили неэффективные предприятия с низкой рентабельностью.

Таким образом, в результате проведенного анализа нашли эмпирическое подтверждение гипотезы о наличии повышенных рисков банкротства для некрупных застройщиков и компаний с низкими показателями деловой активности, рентабельности и ликвидности (гипотезы 1 и 4). Гипотезы 2 и 3 подтвердились лишь частично — долговая нагрузка и ОПФ компании значимо влияли на финансовую устойчивость только в отдельные периоды, а именно — 2020–2021 гг.

Гипотеза 5 не нашла явного подтверждения: добавление в уравнения регрессий макроэкономических факторов оказывало лишь незначительное влияние на точность модели, а коэффициенты при соответствующих переменных были не значимы почти для всех рассмотренных

спецификаций¹². Это могло быть связано с тем, что последствия изменений в подобных внешних факторах переносятся на динамику финансовых коэффициентов. Еще одной причиной могла быть низкая вариативность значений этих факторов на исследуемом временном интервале и в разрезе исследуемых объектов¹³. При этом, при выработке поддержки строительной отрасли в условиях кризисов необходимо учитывать, что ухудшение макроэкономической конъюнктуры отрицательно влияет на отрасль в целом.

Для оценки качества полученных моделей с точки зрения точности классификации был построен прогноз вероятности банкротства компании в 2020 г. на основе значений независимых переменных модели за 2019 г. Выборка включала все компании реестра ЕИСЖС на 30.06.2021, включая обанкротившиеся в 2020 г. и в I полугодии 2021 г. Построенная количественная модель позволила верно классифицировать (на «здоровых» и банкротов) порядка 69,6–91,7% компаний (в зависимости от спецификации), а доля выявленных банкротов достигала около 40%¹⁴. Модель, оцененная на выборке с соотношением «здоровых» компаний и застройщиков-банкротов 3: 1 и с использованием усредненных за три года финансовых коэффициентов в качестве независимых переменных, продемонстрировала наиболее высокую долю классифицированных верно компаний. При пороге решающего правила, равном 0,5, использование этой модели позволило верно классифицировать 93,3% здоровых компаний и около 17,3% банкротов, а при пороге решающего правила, равном 0,3 — соответственно 81,4% здоровых компаний-застройщиков и 32,7% банкротов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ АНАЛИЗА

На основе полученных оценок коэффициентов регрессии были рассчитаны прогнозные вневыборочные значения вероятности банкротства российских застройщиков в 2021 г. Оценка производилась для компаний, входивших в ЕИСЖС и не являвшихся банкротами на конец I полугодия 2021 г. Часть застройщиков (94 наблюдения), организационно-правовая форма которых являлась не характерной для застройщиков, была исключена из анализа.

Для всех действующих компаний из реестра были собраны данные об их характеристиках, используемых в модели (1)–(3), на основе чего были вычислены модельные оценки вероятности банкротства компаний в 2021 г. Проведенный анализ позволяет утверждать, что вероятность банкротства 40 компаний-застройщиков в 2021 г. составляет более 70%, а шести из них — более 80%. В совокупности эти 40 компаний возводят 50 домов, 20 из которых (домов) уже признаны проблемными, а общая численность работающих на данных предприятиях превышает 355 человек. Для погашения оставшихся обязательств этих застройщиков в случае наступления банкротства последних государству потребовалось бы порядка 4 млрд руб. К компаниям с высокой вероятностью банкротства были, в частности, отнесены такие застройщики, как ООО «Стройзаказ» (вероятность банкротства порядка 82%), АО «МЖК Родина» (85%), ООО «ДК-СТРОЙ» (75%), ООО «Спецстрой-1» (74%).

Текущая практика государственного регулирования рынка предполагает оценку трех основных показателей проектной декларации — отношения активов к обязательствам, норматива целевого использования средств и норматива размера собственных средств, которые регулярно обновляются. Однако предупреждение неблагоприятных ситуаций до выдачи разрешения на строительство в такой системе затруднено. Использование предложенной в рамках настоящего исследования модели могло бы стать основой механизма оценки и предупреждения банкротств компаний. В этом случае регулятор мог бы опираться на оценки вероятности банкротства отдельных застройщиков, получаемые на основе предлагаемой в настоящем исследовании модели и являющиеся показателем состояния отдельных компаний и отрасли в целом.

¹² Однако повышение номинальной заработной платы в регионе значимо и положительно влияло на финансовую устойчивость малых застройщиков.

¹³ Особенно актуально в отношении номинального обменного курса доллара к рублю, который не менялся от региона к региону.

¹⁴ Застройщик относился к банкротам при значении оцененной вероятности банкротства выше 50%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Демешев Б.Б., Тихонова А.С. (2014). Прогнозирование банкротства российских компаний: межотраслевое сравнение // *Экономический журнал Высшей школы экономики*. Т. 18. № 3. С. 359–386. [Demeshhev B.B., Tikhonova A.S. (2014). Default prediction for Russian companies: Intersectoral comparison. *HSE Economic Journal*, 18, 3, 359–386 (in Russian).]
- Дробышевский С., Зубарев А. (2011). Факторы устойчивости российских банков в 2007–2009 гг. Москва: Ин-т Гайдара. 108 с. [Drobyshevsky S., Zubarev A. (2011). *Sustainability of Russian banks in 2007–2009*. Moscow: Gaidar Institute for Economic Policy. 108 p. (in Russian).]
- Жданов В., Афанасьева О. (2011). Модель диагностики риска банкротства предприятий авиационно-промышленного комплекса // *Корпоративные финансы*. Т. 20. № 4. С. 77–89. DOI: 10.17323/j.jcfr.2073-0438.5.4.2011.77-89 [Zhdanov V., Afanasyeva O. (2011). Bankruptcy risk diagnostics model for aviation enterprises. *Journal of Corporate Finance Research*, 20, 4, 77–89. DOI: 10.17323/j.jcfr.2073-0438.5.4.2011.77-89 (in Russian).]
- Макеева Е.Ю., Бакурова А.О. (2012). Прогнозирование банкротства компаний нефтегазового сектора с использованием нейросетей // *Корпоративные финансы*. Т. 6. № 3. С. 22–29. DOI: 10.17323/j.jcfr.2073-0438.6.3.2012.22-30 [Makeeva E. Yu., Bakurova A.O. (2012). Forecasting bankruptcy oil and gas companies using neural networks. *Journal of Corporate Finance Research*, 6, 3, 22–29. DOI: 10.17323/j.jcfr.2073-0438.6.3.2012.22-30 (in Russian).]
- Могилат А.Н. (2019). Оценка финансовой устойчивости российских промышленных компаний, или О чем говорят банкротства // *Вопросы экономики*. № 3. С. 101–118. DOI: 10.32609/0042-8736-2019-3-101-118. [Mogilat A.N. (2019). Modelling financial distress of Russian industrial companies, or what bankruptcy analysis can tell. *Voprosy Ekonomiki*, 3, 101–118. DOI: 10.32609/0042-8736-2019-3-101-118 (in Russian).]
- Стерник С.Г., Стерник Г.М. (2018). Методика прогнозирования объемов ввода на локальном рынке строительства и продажи жилья // *Жилищные стратегии*. Т. 5. № 2. С. 131–151. [Sternik S.G., Sternik G.M. (2018). Methods of forecasting the input volume in the local market of housing construction and sales. *Zhilishchnye strategii (Russian Journal of Housing Research)*, 5, 2, 131–151 (in Russian).]
- Федорова Е.А., Тимофеев Я.В. (2015). Разработка моделей прогнозирования банкротства российских предприятий для отраслей строительства и сельского хозяйства // *Финансы и кредит*. Т. 32. № 656. С. 2–10. [Fedorova E.A., Timofeev Ya.V. (2015). Developing the bankruptcy prediction models for russian businesses of the construction and agriculture industries. *Finance and Credit*, 32, 656, 2–10 (in Russian).]
- Afik Z., Arad O., Galil K. (2016). Using Merton model for default prediction: An empirical assessment of selected alternatives. *Journal of Empirical Finance*, 35, 43–67. DOI: 10.1016/j.jempfin.2015.09.004
- Altman E.I. (1968). Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy. *The Journal of Finance*, 23, 4, 589–609. DOI: 10.1111/j.1540-6261.1968.tb00843.x
- Balcaen S., Ooghe H. (2006). 35 years of studies on business failure: an overview of the classic statistical methodologies and their related problems. *The British Accounting Review*, 38, 1, 63–93. DOI: 10.1016/j.bar.2005.09.001
- Beaver W. (1966). Financial ratios as predictors of failure. *Journal of Accounting Research*, 6, 2, 71–111. DOI: 10.2307/2490171
- Chava S., Jarrow R.A. (2004). Bankruptcy prediction with industry effects. *Review of Finance*, 8, 4, 537–569. DOI: 10.1093/rof/8.4.537
- Danenas P., Garsva G. (2015). Selection of support vector machines based classifiers for credit risk domain. *Expert Systems with Applications*, 42, 6, 3194–3204. DOI: 10.1016/j.eswa.2014.12.001
- Ding A.A., Tian S., Yu Y., Guo H. (2012). A class of discrete transformation survival models with application to default probability prediction. *Journal of the American Statistical Association*, 107, 499, 990–1003. DOI: 10.1080/01621459.2012.682806
- Gepp A., Kumar K. (2012). Business failure prediction using statistical techniques: A review. 1–25. In K. Kumar, A. Chaturvedi (eds.). *Some recent developments in statistical theory and applications*. Boca Raton, Florida: Brown Walker Press.
- Hillegeist S.A., Keating E.K., Cram D.P., Lundstedt K.G. (2004). Assessing the probability of bankruptcy. *Review of Accounting Studies*, 9, 1, 5–34. DOI: 10.1023/B: RAST.0000013627.90884.b7
- Jabeur S.B. (2017). Bankruptcy prediction using partial least squares logistic. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 36, 197–202. DOI: 10.1016/j.jretconser.2017.02.005
- Karas M., Srbová P. (2019). Predicting bankruptcy in construction business: Traditional model validation and formulation of a new model. *Journal of International Studies*, 12, 1, 283–296. DOI: 10.14254/2071-8330.2019/12-1/19
- Lee S., Choi W.S. (2013). A multi-industry bankruptcy prediction model using back-propagation neural network and multivariate discriminant analysis. *Expert Systems with Applications*, 40, 8, 2941–2946. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.12.009

- Lensberg T., Eilifsen A., McKee T.E.** (2006). Bankruptcy theory development and classification via genetic programming. *European Journal of Operational Research*, 169, 2, 677–697. DOI: 10.1016/j.ejor.2004.06.013
- Lin T.H.** (2009). A cross model study of corporate financial distress prediction in Taiwan: Multiple discriminant analysis, logit, probit and neural networks models. *Neurocomputing*, 72, 16–18, 3507–3516. DOI: 10.1016/j.neucom.2009.02.018
- Makeeva E.U., Neretina E.A.** (2013a). A binary model versus discriminant analysis relating to corporate bankruptcies: the case of Russian construction industry. *Journal of Accounting, Finance and Economics*, 3, 1, 65–76.
- Makeeva E., Neretina E.** (2013b). The prediction of bankruptcy in a construction industry of Russian Federation. *Journal of Modern Accounting and Auditing*, 9, 2, 256–271.
- Martin D.** (1977). Early warning of bank failure: A logit regression approach. *Journal of Banking & Finance*, 1, 3, 249–276. DOI: 10.1016/0378-4266(77)90022-X
- Min S.H., Lee J., Han I.** (2006). Hybrid genetic algorithms and support vector machines for bankruptcy prediction. *Expert Systems with Applications*, 31, 3, 652–660. DOI: 10.1016/j.eswa.2005.09.070
- Odom M.D., Sharda R.** (1990). A neural network model for bankruptcy prediction. *IJCNN International Joint Conference on Neural Networks*, 163–168. DOI: 10.1109/IJCNN.1990.137710
- Ohlson J.A.** (1980). Financial ratios and the probabilistic prediction of bankruptcy. *Journal of Accounting Research*, 18, 1, 109–131. DOI: 10.2307/2490395
- Shumway T.** (2001). Forecasting bankruptcy more accurately: A simple hazard model. *The Journal of Business*, 74, 1, 101–124. DOI: 10.2139/ssrn.171436
- Slowinski R., Zopounidis C.** (1995). Application of the rough set approach to evaluation of bankruptcy risk. *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 4, 1, 27–41. DOI: 10.1002/j.1099-1174.1995.tb00078.x
- Zmijewski M.E.** (1984). Methodological issues related to the estimation of financial distress prediction models. *Journal of Accounting research*, 22, 59–82. DOI: 10.2307/2490859

Analysis of bankruptcy factors of the Russian developers

© 2022 A.I. Kosyakina

A.I. Kosyakina,

Institute for control and supervision, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia; e-mail: kosyakina-ai@ranepa.ru

Received 24.12.2021

The article was prepared as part of the research work of the state assignment for RANEPa.

Abstract. In 2019, there was a transition in to project financing of housing construction in Russia, aimed at countering the problem of defrauded equity holders. Despite the fact that more than 73% of objects under construction are being sold according to the new scheme, about 13% of residential buildings are being built by developers that are in the process of bankruptcy. In this situation, it is important to create additional tools for assessing the risks of bankruptcy of companies in order to timely prevent negative consequences, including those caused by the peculiarities of regional markets and the industry itself. Currently, only a small number of researchers are involved in assessing the financial stability of Russian developers. The novelty of this study is the formation of a tool for operational monitoring and assessment of bankruptcy risks of companies in the construction industry based on a quantitative model. The purpose of the work was to build a quantitative model of the bankruptcy risk of developers in the short and medium term based on easily observable characteristics of their activities using the original database. The obtained results show that the probability of bankruptcy is high for companies with low values of ROA, asset turnover ratio and current liquidity ratio. Additional factors that reduce the likelihood of bankruptcy include developers' experience in housing construction and their affiliation with group of companies. The constructed model can be used to predict the probability of bankruptcy of companies and make timely decisions on supporting the industry, for example under the sanctions pressure.

Keywords: housing construction, probability of bankruptcy, financial stability, construction companies, developers' operations, logit models, project financing, risk-oriented regulation.

JEL Classification: C25, G33, G32, O18.

For reference: **Kosyakina A.I.** (2022). Analysis of bankruptcy factors of the Russian developers. *Economics and Mathematical Methods*, 58, 4, 92–101. DOI 10.31857/S042473880018089-6

ПРОБЛЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЙ

Методика оптимизации адаптивного управления выпуском продукции предприятия на основе динамической экономико-математической модели

© 2022 А.Ф. Шориков

А.Ф. Шориков,

Институт экономики УрО РАН, Екатеринбург; e-mail: afshorikov@mail.ru

Поступила в редакцию 13.03.2022

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 22-28-01868) «Разработка агент-ориентированной модели сетевого промышленного комплекса в условиях цифровой трансформации».

Аннотация. Статья посвящена применению динамических экономико-математических моделей управления производством продукции предприятия на основе использования принципа обратной связи. Приводится формирование дискретной управляемой динамической системы, описывающей процесс выпуска продукции производственным предприятием при наличии прогнозируемой функции спроса на продукцию. Фазовый вектор динамической системы описывает основные параметры производства продукции, а вектор управляющего воздействия (вектор управления) — интенсивность применения технологических способов производства продукции, имеющихся у субъекта управления. Предполагается, что в каждый период времени субъекту управления известна вектор-функция, описывающая объемы спроса на продукцию предприятия в последующие периоды времени, заданные геометрические ограничения на реализации фазового вектора, векторы управления и спроса. В качестве целевой функции рассматривается значение рассогласования объемов выпуска продукции предприятием относительно заданного прогнозируемого значения функции спроса в последующем периоде управления. На основе сформированной динамической системы в статье предлагается экономико-математическая модель исследуемой задачи оптимизации адаптивного управления выпуском продукции предприятия, включающая класс допустимых стратегий адаптивного управления и формулировку задачи. В работе предлагается методика решения сформулированной задачи оптимизации адаптивного управления выпуском продукции предприятия, которая реализуется в виде конечной последовательности одношаговых алгебраических операций над векторами конечномерного векторного пространства, конечного набора решений задач линейного и выпуклого математического программирования. Полученные результаты могут быть использованы при разработке интеллектуальных систем поддержки принятия управленческих решений для актуальных задач управления производством продукции на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: экономико-математическое моделирование, динамические системы, оптимизация управления, стратегии управления, адаптивное управление, управление с обратной связью, производственное предприятие, выпуск продукции.

Классификация JEL: C02, C44, C61, D24.

Для цитирования: **Шориков А.Ф.** (2022). Методика оптимизации адаптивного управления выпуском продукции предприятия на основе динамической экономико-математической модели // *Экономика и математические методы*. Т. 58. № 4. С. 102–112. DOI: 10.31857/S042473880019197-5

ВВЕДЕНИЕ

Статья посвящена применению динамических экономико-математических моделей управления производством продукции предприятия с использованием принципа обратной связи. Приводится формирование дискретной управляемой динамической системы, описывающей процесс выпуска продукции производственным предприятием при наличии прогнозируемой функции спроса на продукцию. Фазовый вектор динамической системы определяет основные параметры производства продукции, а вектор управляющего воздействия (вектор управления) — интенсивность использования технологических способов производства продукции, имеющихся в распоряжении субъекта управления. Предполагается, что в каждый период субъекту управления известна вектор-функция объемов спроса на продукцию предприятия в последующие периоды времени,

заданные геометрические ограничения на реализации фазового вектора, вектора управления и вектора спроса. В качестве целевой функции задачи рассматривается значение рассогласования объемов выпуска продукции относительно заданного прогнозируемого значения функции спроса в последующем периоде управления. Используя сформированную динамическую систему, в работе предлагается экономико-математическая модель исследуемой задачи оптимизации адаптивного управления выпуском продукции предприятия, включающая класс допустимых стратегий адаптивного управления и формулировку задачи.

В статье в рамках описываемой линейной дискретной управляемой динамической экономико-математической модели производства продукции предприятия с выпуклой целевой функцией в классе введенных допустимых стратегий управления формулируется задача оптимизации адаптивного управления выпуском продукции для выполнения предприятием договорных обязательств. Предлагается методика решения сформулированной задачи, которая реализуется в виде конечной последовательности одношаговых алгебраических операций над векторами конечномерного векторного пространства, выполнения алгебраических операций, преобразующих описание выпуклых многогранников-компактов, заданных набором своих вершин, в конечные системы алгебраических равенств и неравенств (и наоборот), а также конечного набора решений задач линейного и выпуклого математического программирования. Полученные результаты могут быть использованы при разработке автоматизированных и интеллектуальных систем поддержки принятия управленческих решений для решения актуальных задач управления производством продукции на промышленных предприятиях.

МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ

При решении различных задач оптимизации управления производством продукции предприятия возникает необходимость моделировать динамику объектов с целью прогнозирования допустимых значений основных параметров, описывающих их состояние в конкретный период времени, а также управление процессами для достижения приемлемых или наилучших (оптимальных) значений выбранных критериев качества их реализации. Для функционирования производственного предприятия одной из основных задач является создание инструментария, позволяющего реализовать управление выпуском продукции в заданных прогнозируемых объемах и в определенный срок, т.е. способствовать эффективному выполнению договорных обязательств. Решение этой задачи требует наличия на предприятии информационной системы, позволяющей прогнозировать состояние основных параметров, характеризующих процессы производства продукции и управлять ими. При этом в реальных ситуациях производства возникают непредвиденные ситуации или реализуется негативное возмущение (см. рисунок), которые влияют на объемы производства, и система управления должна реагировать на них, т.е. включать обратную связь — использовать возможности адаптации к сложившимся условиям. Для этого необходимо иметь экономико-математические модели и методики, позволяющие оптимизировать адаптивное управление выпуском продукции при его заданных прогнозируемых объемах.

Вопросы оптимизации управления выпуском продукции предприятия активно исследуются в рамках различных подходов. В работе (Mrgineanu, Lixndroiu, 2021) для этого используются модели линейного математического программирования. На базе данной методики разработан программный продукт для поддержки принятия управленческих решений и приведено его описание. В статье (Zhang et al., 2021) для управления медицинским предприятием и оптимизации корпоративной социальной ответственности формируется модель нелинейного математического

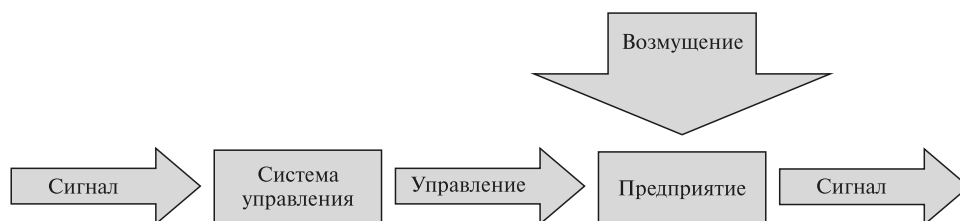


Рисунок. Общая схема системы управления предприятием

программирования, которая линеаризуется для решения задачи. Для ускорения поиска оптимального решения авторы разработали итеративный эвристический алгоритм, позволяющий избегать повторения вычислительных операций. Представлено описание алгоритма и результаты проведенного вычислительного эксперимента, позволяющего искать приемлемое решение.

Задача многокритериальной оптимизации управления производственной деятельностью предприятия (выпуск керамических подшипников) рассматривается в работе (Szopa, Marczyk, 2011). Для поиска компромиссных решений авторы используют модель линейного математического программирования и анализируют различные допустимые варианты решений. В (Cheng, Xiao-Bing, 2013) для планирования производства и оптимизации управления при наличии векторной целевой функции авторы используют метод скаляризации векторной целевой функции, т.е. осуществляют редукцию исходной задачи к стандартной задаче линейного математического программирования и ведут поиск решения в среде MatLab.

Задача оптимизации затрат при производстве заданных объемов продукции рассматривалась в (Olanrele et al., 2014). Для ее решения применялись линейная многошаговая экономико-математическая модель и метод динамического программирования в модификации (Wagner, Whitin, 2004). В исследовании (David et al., 2012) описана дифференциальная модель динамической оптимизации планирования производства продукции с выпуклой целевой функцией, использующая производственную функцию Кобба–Дугласа и необходимые условия оптимальности в форме принципа максимума Понтрягина.

В (Макаров и др., 2021) предложена дискретная динамическая модель цифрового двойника производственного предприятия (на примере завода по сборке телевизионной техники). В работе описывается подход, основанный на комбинированном применении методов дискретно-событийного и агентного имитационного моделирования. Авторы разработали концептуальную модель цифрового завода с программной реализацией в среде имитационного моделирования AnyLogic. Динамические экономико-математические модели управления различными социально-экономическими процессами представлены, например, в работе (Клейнер, Рыбачук, 2017).

На основании приведенного краткого обзора типичных работ, примыкающих к тематике данного исследования, можно сделать следующие выводы.

1. В большинстве исследований оптимизации выпуска продукции производственного предприятия используются статические модели линейного математического программирования и симплекс-метод (с его модификациями) для численного решения задач.

2. В моделях нелинейного математического программирования для численного решения конкретных оптимизационных производственных задач предлагаются модификации методов линеаризации для редукции к задачам линейного математического программирования и градиентные или эвристические методы.

3. Обычно, решение динамических задач управления процессами выпуска продукции при наличии технико-экономических ограничений и переменном спросе основывается на использовании линейных или нелинейных, многошаговых или дифференциальных экономико-математических моделей, в рамках которых для поиска оптимальных или приемлемых решений применяются различные модификации методов динамического программирования, принципа максимума Понтрягина, агент-ориентированного моделирования и др.

В данной работе формируется линейная дискретная управляемая динамическая система, фазовый вектор которой описывает состояние основных параметров процесса производства продукции в конкретный период времени. Вектор управляющего воздействия (управления) характеризует интенсивности имеющихся технологических способов производства продукции, а вектор спроса — значения прогнозируемых объемов спроса на продукцию предприятия. Ограничения на фазовый вектор динамической системы, вектор управления и вектор спроса описывают имеющиеся технико-экономические условия процесса производства. В данной работе они являются геометрическими — в виде ограничивающих выпуклых многогранников-компактов в конечномерных (евклидовых) векторных пространствах. Целевая функция является выпуклой и оценивает рассогласование между допустимым состоянием фазового вектора динамической системы в конкретный период времени и прогнозируемым значением вектора спроса в последующий период времени. Используя результаты (Тюлюкин, Шориков, 1988; Tyulyukin, Shorikov, 1993; Шориков, 1997, 2006), в статье вводится специальный класс допустимых стратегий адаптивного управления производством продукции предприятия. Экономико-математическая модель включает формализацию многошаговой

задачи оптимизации адаптивного управления производством продукции для выполнения предприятием договорных обязательств в рамках выбранного класса стратегий.

В работе описывается методика сформулированной задачи, которая основывается на использовании *общего рекуррентного алгебраического метода*, разработанного в (Тюлюкин, Шориков, 1988; Tyulyukin, Shorikov, 1993; Шориков, 1997) для построения областей достижимости (прогнозных множеств) линейных дискретных управляемых динамических систем. Согласно методике решение исходной задачи оптимизации сводится к реализации конечной рекуррентной последовательности одношаговых алгебраических операций над векторами конечномерного векторного пространства, выполнению алгебраических операций, преобразующих описание выпуклых многогранников-компактов, заданных в виде наборов их вершин, в конечные системы алгебраических уравнений и неравенств, и наоборот — операций двойственного описания выпуклых многогранников-компактов, реализации конечного набора решений задач линейного и выпуклого математического программирования, т.е. *выполнению только одношаговых операций, допускающих их алгоритмизацию*.

Данная работа примыкает к исследованиям (Olanrele et al., 2014; Макаров и др., 2021; Клейнер, Рыбачук, 2017; Aksyonov et al., 2015; Astolfi, 2006; Astroem, Wittenmark, 2008; Landau et al., 2011) и основывается на результатах работ (Тюлюкин, Шориков, 1988; Tyulyukin, Shorikov, 1993; Шориков, 1997, 2006; Bazaraa, Shetty, 1979; Черников, 1968).

ФОРМИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Опишем динамическую экономико-математическую модель процесса производства продукции на производственном предприятии, а также формализацию задачи адаптивного управления выпуском продукции для оптимизации выполнения предприятием договорных обязательств.

Пусть n — число основных параметров (i) производственного процесса производства продукции на предприятии (хранимых, промежуточных и выпускаемых продуктов, сырья, материалов и др.), $n \in \mathbf{N}$; $\mathbf{N}$ — множество всех натуральных чисел; j — способ производства продукции, $j \in \overline{1, p}$, $p = \{1, \dots, p\}$; t — период времени, $t \in \overline{0, T-1} = \{0, \dots, T-1\}$ ($T \in \mathbf{N}$; t — месяц, квартал, год); p — число технологических способов организации производства продукции на предприятии, $p \in \mathbf{N}$; $\mathbf{R}^k$ — k -мерное векторное пространство векторов-столбцов¹, $k \in \mathbf{N}$.

Каждый способ производства j продукции в период t характеризуется вектором $(b_{1j}(t), \dots, b_{nj}(t))' \in \mathbf{R}^n$:

- если $b_{ij}(t) < 0$, то $b_{ij}(t)$ — объем затрат параметра i при способе j в период t ;
- если $b_{ij}(t) > 0$, то $b_{ij}(t)$ — объем выпуска параметра i способом j в период t ;
- если $b_{ij}(t) = 0$, то $b_{ij}(t)$ — отсутствие выпуска/затрат параметра i способом j в период t ;

$u_j(t)$ — интенсивность использования способа j в период t , $u_j(t) \in \mathbf{R}^1$; $s_i(t)$ — величина спроса на продукцию i , выпускаемую в период t , $s_i(t) \in \mathbf{R}^1$.

Пусть $x_i(t+1)$ — количество продукции i , образовавшейся на складе предприятия к концу периода $(t+1)$ (запасы в период $(t+1)$), которое формируется из запасов в количестве $x_i(t)$ предыдущего периода времени t и образовавшихся излишков в этот период времени по формуле

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \sum_{j=1}^p b_{ij}(t)u_j(t) - s_i(t), \quad (1)$$

или в векторной форме

$$x(t+1) = x(t) + B(t)u(t) - s(t), \quad t \in \overline{0, T-1}, \quad (2)$$

где $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))'$ — вектор количества запасов продукции в период времени t , или фазовый вектор системы, $x(t) \in \mathbf{R}^n$; $u(t) = (u_1(t), \dots, u_p(t))'$ — вектор интенсивности использования технологий производства продукции на предприятии в период t , или вектор управляющего воздействия (управления) системы, $u(t) \in \mathbf{R}^p$; $s(t) = (s_1(t), \dots, s_n(t))'$ — вектор количества спроса на продукцию предприятия в период t , $s(t) \in \mathbf{R}^n$; $B(t) = \|b_{ij}(t)\|_{i \in \overline{1, n}, j \in \overline{1, p}}$ — технологическая матрица производства продукции на предприятии размерности $(n \times p)$.

¹ Для экономии места будем записывать их в строку.

Если в начале периода t ($t \in \overline{0, T-1}$) на складе имелись запасы продукции (хранимых, промежуточных и выпускаемых продуктов, сырья, материалов и др.) в количестве $x(t)$, то к концу этого периода для продажи и производства будет пригодна только часть, равная $A(t)x(t)$, где $A(t) = \|a_{ii}(t)\|_{i \in \overline{1, n}}$ — диагональная матрица размерности $(n \times n)$, характеризующая старение продукции за этот период. Тогда векторно-матричное рекуррентное уравнение (2) будет иметь вид

$$x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t) - s(t), \quad x(0) = x_0, \quad t \in \overline{0, T-1}, \quad (3)$$

где x_0 — заданное начальное значение фазового вектора, $x_0 \in \mathbf{R}^n$.

Предполагается, что в рассматриваемом процессе управления производством продукции предприятия для каждого периода t ($t \in \overline{0, T}$) значения фазового вектора $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))' \in \mathbf{R}^n$ должны удовлетворять заданному геометрическому ограничению:

$$x(t) \in \mathbf{X}^*(t) \subset \mathbf{R}^n, \quad (4)$$

где множество $\mathbf{X}^*(t) \neq \emptyset$ — выпуклый многогранник-компакт в пространстве $\mathbf{R}^n$, определяющий технико-экономические ограничения на основные параметры продукции предприятия. Он может описываться, например, в виде

$$\mathbf{X}^*(t) = \{x(t) : x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))' \in \mathbf{R}^n, \forall i \in \overline{1, n} : 0 \leq x_i(t) \leq x_i^*(t)\},$$

где $\forall i \in \overline{1, n} : x_i^*(t) \in \mathbf{R}^1, \quad x_i^*(t) \geq 0$.

Предположим, что в рассматриваемом процессе управления для каждого периода времени t ($t \in \overline{0, T-1}$) значения вектора управления $u(t) \in \mathbf{R}^p$, которым распоряжается субъект управления (менеджер) P , должны удовлетворять заданному геометрическому ограничению

$$u(t) \in \mathbf{U}^*(t) \subset \mathbf{R}^p, \quad (5)$$

где множество $\mathbf{U}^*(t) \neq \emptyset$ — выпуклый многогранник-компакт в пространстве $\mathbf{R}^p$, определяющий технико-экономические ограничения на ресурсы управления производством продукции, т.е. ресурс управления, и описывается формулой

$$\mathbf{U}^*(t) = \{u(t) : u(t) = (u_1(t), \dots, u_p(t))' \in \mathbf{R}^p \quad \forall j \in \overline{1, p} : u_{j*}(t) \leq u_j(t) \leq u_j^*(t)\},$$

где $\forall j \in \overline{1, p} : u_{j*}(t) \in \mathbf{R}^1, \quad u_j^*(t) \in \mathbf{R}^1, \quad u_{j*}(t) \geq 0$.

Для каждого периода t ($t \in \overline{0, T}$) вектор спроса $s(t) \in \mathbf{R}^n$ должен удовлетворять ограничению

$$s(t) \in \mathbf{S}^*(t) \subset \mathbf{R}^n, \quad (6)$$

где $\mathbf{S}^*(t) \neq \emptyset$ — выпуклый многогранник-компакт в пространстве $\mathbf{R}^n$, который определяет множество допустимых значений вектора спроса, например вида:

$$\mathbf{S}^*(t) = \{s(t) : s(t) = (s_1(t), \dots, s_n(t))' \in \mathbf{R}^n \quad \forall i \in \overline{1, n} : s_{i*}(t) \leq s_i(t) \leq s_i^*(t)\},$$

где $\forall i \in \overline{1, n} : s_{i*}(t) \in \mathbf{R}^1, \quad s_i^*(t) \in \mathbf{R}^1, \quad s_{i*}(t) \geq 0$.

Опишем информационные возможности менеджера P в процессе оптимизации адаптивного управления выполнением договорных обязательств производственным предприятием на основе дискретной управляемой динамической системы (3)–(6).

Пусть на рассматриваемом промежутке времени $\overline{0, T}$ для любого $t \in \overline{0, T-1}$ ($T \in \mathbf{N}$), и промежутка времени $t, T \subseteq \overline{0, T}$ в период t в процессе управления менеджером P измеряются и запоминаются следующие параметры: $x(t) = x_t$ — фазовый вектор системы (3) в период t ($x(0) = x_0$); $s(t) = s_t$ — вектор количества спроса на продукцию предприятия в период t ($s(0) = s_0$); $s_*(t+1)$ — вектор прогнозируемого количества спроса на продукцию предприятия в период времени $(t+1)$, где $s_*(t+1) \in \mathbf{S}^*(t+1)$. Предположим, что известны векторно-матричное рекуррентное уравнение (3), описывающее динамику модели объекта управления, и ограничения (4)–(6).

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ

Назовем набор $w(t) = \{t, x(t), s(t)\} \in \{0, \dots, T\} \times \mathbf{R}^n \times \mathbf{R}^n$, $w(0) = w_0 = \{0, x_0, s_0\}$, t -позицией дискретной управляемой динамической системы (3)–(6). Для каждого периода $t \in \overline{0, T}$ определим множество

$$\mathbf{W}(t) = \{t\} \times \mathbf{X}^*(t) \times \mathbf{S}^*(t), \quad \mathbf{W}(0) = \mathbf{W}_0 = \{w(0) = w_0 : w_0 = \{0, x_0, s_0\} \in \{0\} \times \mathbf{X}^*(0) \times \mathbf{S}^*(0)\},$$

всех допустимых t -позиций системы.

Тогда $\forall t (t \in \overline{0, T-1})$ и допустимых вариантов реализации пар $(w(t), u(t)) \in \mathbf{W}(t) \times \mathbf{U}^*(t)$, где $w(t) = \{t, x(t), s(t)\} \in \mathbf{W}(t)$, — t -позиция дискретной управляемой динамической системы (3)–(6), $w(0) = \{0, x(0), s(0)\} = \{0, x_0, s_0\} = w_0 \in \mathbf{W}_0$; $u(t)$ — допустимое в этот период времени управление; $s_*(t+1) \in \mathbf{S}^*(t+1)$ — известный менеджеру P прогнозируемый вектор спроса, для определения качества рассматриваемого процесса оптимизации выполнения договорных обязательств производственным предприятием введем целевую функцию $\Phi_{t,t+1} : \mathbf{W}(t) \times \mathbf{U}^*(t) \times \mathbf{S}^*(t+1) \rightarrow \mathbf{R}^1$, значения которой определяются по формуле

$$\begin{aligned} \Phi_{t,t+1}(w(t), u(t), s_*(t+1)) &= \mathbf{F}_{t+1}(\phi_{t,t+1}(t+1; x(t), u(t), s(t)), s_*(t+1)) = \\ &= \mathbf{F}_{t+1}(x(t+1), s_*(t+1)) = \|x(t+1) - s_*(t+1)\|_n, \end{aligned} \quad (7)$$

где $x(t+1) = \phi_{t,t+1}(t+1; x(t), u(t), s(t))$ — фазовый вектор системы (3) в период времени $(t+1)$, $x(t+1) \in \mathbf{X}^*(t)$, соответствующий набору $(x(t), u(t), s(t))$; $\phi_{t,t+1} : \mathbf{R}^n \times \mathbf{U}^*(t) \times \mathbf{S}^*(t) \rightarrow \mathbf{R}^n$ — оператор правой части векторно-матричного рекуррентного уравнения (3), действующий на промежутке времени $t, t+1$, который каждому набору $(x(t), u(t), s(t)) \in \mathbf{R}^n \times \mathbf{U}^*(t) \times \mathbf{S}^*(t)$ ставит в соответствие фазовый вектор $x(t+1) \in \mathbf{R}^n$, удовлетворяющий этому уравнению; $\mathbf{F}_{t+1} : \mathbf{R}^n \times \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^1$ — выпуклый функционал, имеющий непрерывные частные производные по переменной x ; $\|\cdot\|_k$ — Евклидова норма в векторном пространстве $\mathbf{R}^k$, $k \in \mathbf{N}$.

Целевая функция $\Phi_{t,t+1}$ (формула (7)) оценивает расхождение фазового вектора системы $x(t+1)$ и прогнозируемого вектора спроса $s_*(t+1)$ на продукцию, которую необходимо произвести согласно договорными обязательствами, т.е. $\Phi_{t,t+1}$ *оценивает качество выполнения договорных обязательств производственным предприятием* в конце промежутка времени $t, t+1$. Фазовый вектор $x(t+1)$ определяет запасы предприятия в период $(t+1)$. В силу формул (1) и (2) в него входят объемы выпуска продукции в период t . Согласно уравнению (3) фазовый вектор $x(t+1)$ соответствует фактической реализации набора $(x(t), u(t), s(t))$, включающего выбор управляющего воздействия $u(t)$ менеджером P и фактическую реализацию спроса в объеме $s(t)$ в этот период времени. Прогнозируемый вектор спроса $s_*(t+1)$ предоставляется менеджеру P по ходу реализации процесса управления в период t . Следовательно, в процессе управления менеджер P выбирает свое управляющее воздействие $u(t)$, учитывающее фактические реализации запасов $x(t)$ и спроса $s(t)$, и имеет возможность регулировать объемы выпуска продукции предприятия в период t , ориентируясь на прогнозируемый объем спроса $s_*(t+1)$.

Отметим, что результат процесса управления с целевой функцией (7) зависит от качества прогнозирования значения вектора спроса $s_*(t+1)$. Тогда целью менеджера P на промежутке $t, t+1$ является минимизация значения целевой функции $\Phi_{t,t+1}$.

Допустимой стратегией адаптивного управления $\mathbf{U}_a^*$ менеджера P для модели (3)–(7) на промежутке $0, T$ будем называть отображение $\mathbf{U}_a^* : \mathbf{W}(t) \times \mathbf{S}^*(t+1) \rightarrow \mathbf{U}^*(t)$, — которое каждому периоду $t (t \in \overline{0, T-1})$ и паре возможной реализации $(w(t), s_*(t+1)) \in \mathbf{W}(t) \times \mathbf{S}^*(t+1)$ ставит в соответствие множество $\mathbf{U}_a^*(w(t), s_*(t+1)) \subseteq \mathbf{U}^*(t)$ допустимых управлений $u(t) \in \mathbf{U}^*(t)$ менеджера P , где $w(t) = \{t, x(t), s(t)\} \in \mathbf{W}(t)$ ($w(0) = w_0 \in \mathbf{W}_0$) — t -позиция дискретной управляемой динамической системы (3)–(6); $x(t) \in \mathbf{X}^*(t)$ — фазовый вектор системы и $s(t) \in \mathbf{S}^*(t)$ — вектор спроса, допустимые в данный период t ; $s_*(t+1) \in \mathbf{S}^*(t+1)$ — заданный прогнозируемый вектор спроса, отвечающий периоду $(t+1)$.

Обозначим через $\mathbf{U}_a^*$ множество всех допустимых стратегий адаптивного управления менеджера P для выполнения договорных обязательств предприятия на промежутке $0, T$. Тогда можно сформулировать нелинейную многошаговую задачу оптимизации адаптивного управления выполнением договорных обязательств предприятия в рамках модели (3)–(7).

Задача. Для рассматриваемого промежутка времени $0, T$ и дискретной управляемой динамической экономико-математической модели (3)–(7) требуется найти стратегию менеджера P для оптимального адаптивного управления выполнением договорных обязательств предприятия $\mathbf{U}_a^{(e)} = \mathbf{U}_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1)) \in \mathbf{U}_a^*$, $t \in \overline{0, T-1}$, где $w(t) = \{t, x(t), s(t)\} \in \mathbf{W}(t)$ — t -позиция дискретной управляемой динамической системы (3)–(6) ($w(0) = \{0, x(0), s(0)\} = \{0, x_0, s_0\} = w_0 \in \mathbf{W}_0$); $x(t) \in \mathbf{X}^*(t)$ — фазовый вектор системы и $s(t) \in \mathbf{S}^*(t)$ — вектор спроса, допустимые в данный период t ; $s_*(t+1) \in \mathbf{S}^*(t+1)$ — заданный прогнозируемый вектор спроса в период $(t+1)$, который определяется следующим образом:

1) $\forall \{w(t) = \{t, x(t), s(t)\} \in \mathbf{W}(t) \wedge U_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1)) \neq \emptyset\}, t \in \overline{0, T-1}$, полагается $U_a^{(e)} = U_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1))$, где множество $U_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1))$ определяется из решения оптимизационной задачи вида

$$\begin{aligned} U_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1)) &= \{u^{(e)}(t) : u^{(e)}(t) \in U^*(t), \Phi_{t,t+1}^{(e)} = \Phi_{t,t+1}(w(t), u^{(e)}(t), s_*(t+1)) = \\ &= \min_{u(t) \in U^*(t)} \Phi_{t,t+1}(w(t), u(t), s_*(t+1)) = \min_{u(t) \in U^*(t)} F_{t+1}(\phi_{t,t+1}(t+1; x(t), u(t), s(t)), s_*(t+1)) = \\ &= F_{t+1}(\phi_{t,t+1}(t+1; x(t), u^{(e)}(t), s(t)), s_*(t+1)) = F_{t+1}(x^{(e)}(t+1), s_*(t+1)) = \\ &= \|x^{(e)}(t+1) - s_*(t+1)\|_n = F_{t+1}^{(e)} \neq \emptyset, \end{aligned} \quad (8)$$

где $x^{(e)}(t+1) = \phi_{t,t+1}(t+1; x(t), u^{(e)}(t), s(t))$ — фазовый вектор системы в период $(t+1)$, соответствующий набору $(x(t), u^{(e)}(t), s(t))$, $x^{(e)}(t+1) \in X^*(t)$;

2) $\forall \{w(t) = \{t, x(t), s(t)\} \in \mathbf{W}(t) \wedge U_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1)) = \emptyset\} \vee w(t) = \{t, x(t), s(t)\} \notin \mathbf{W}(t), t \in \overline{0, T-1}$, согласно (5), полагаем

$$U_a^{(e)} = U_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1)) = U^*(t), \quad (9)$$

которая реализуется с помощью последовательности только одношаговых операций, допускающих их алгоритмизацию.

Набор $\{\Phi_{t,t+1}^{(e)}\}_{t \in \overline{0, T-1}}$ образует множество оптимальных значений целевой функции, соответствующее оптимальной стратегии $U_a^{(e)} \in U_a^*$.

Пусть фазовая траектория $x_a^{(e)}(\cdot) = \{x_a^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0, T}}$ динамической системы (3)–(6) порождена стратегией $U_a^{(e)} \in U_a^*$ на промежутке $0, T$, которой соответствует реализация набора $(u_a^{(e)}(\cdot), s_a(\cdot)) = (u_a^{(e)}(t))_{t \in \overline{0, T-1}}, \{s_a(t)\}_{t \in \overline{0, T}}$, т.е. $\forall t \in \overline{0, T-1} : x_a^{(e)}(t+1) = \phi_{t,t+1}(t+1; x_a^{(e)}(t), u_a^{(e)}(t), s_a(t))$, $x_a^{(e)}(0) = x_0, s_a(0) = s_0$. Тогда траекторию $x_a^{(e)}(\cdot) = \{x_a^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0, T}}$ будем называть *оптимальной фазовой траекторией*, при реализации стратегии оптимального адаптивного управления $U_a^{(e)} \in U_a^*$.

Согласно результатам, изложенным в работе (Шориков, 1997), решение данной оптимизационной задачи существует.

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ

Отметим, что сформулированная оптимизационная задача не может быть решена перебором допустимых вариантов управляющего воздействия, так как в каждый период $t \in \overline{0, T-1}$ множество $U^*(t)$ допустимых значений управления $u(t)$ в ограничении (5) является бесконечным.

Для любого многогранника-компакта X (с конечным числом вершин) в пространстве $\mathbf{R}^k$ ($k \in \mathbf{N}$) через $V\text{-гер}\{X\}$ обозначим множество его вершин, а через $H\text{-гер}\{X\}$ — множество решений соответствующей системы линейных алгебраических уравнений и неравенств $\Xi\{X\}$, которое совпадает с X .

Множества $V\text{-гер}\{X\}$ и $H\text{-гер}\{X\}$ описывают множество X с помощью двойственных операций $V\text{-гер}$ и $H\text{-гер}$.

Методику решения рассматриваемой многошаговой оптимизационной задачи можно представить в виде реализации последовательности одношаговых действий.

1. Полагаем $t := 0$.

2. Для периода t формируем исходные данные, описывающие экономико-математическую модель (3)–(7), а именно:

2.1) конечное множество $V\text{-гер}\{X^*(t)\}$ всех вершин, однозначно описывающих многогранник-компакт $X^*(t)$ в период t ;

2.2) конечная система линейных алгебраических уравнений и неравенств $\Xi\{X^*(t)\}$, множество решений которой $H\text{-гер}\{X^*(t)\} = X^*(t)$ однозначно описывает многогранник-компакт $X^*(t)$ в период t ;

2.3) конечное множество $V\text{-гер}\{X^*(t+1)\}$ всех вершин, однозначно описывающих многогранник-компакт $X^*(t+1)$ в период $(t+1)$;

2.4) конечная система линейных алгебраических уравнений и неравенств $\Xi\{X^*(t+1)\}$, множество решений которой $H\text{-гер}\{X^*(t+1)\} = X^*(t+1)$ однозначно описывает многогранник-компакт $X^*(t+1)$ в период $(t+1)$;

2.5) конечное множество $V\text{-гер}\{U^*(t)\}$ всех вершин, описывающих многогранник-компакт $U^*(t)$ в период t ;

2.6) конечное множество $V\text{-гер}\{S^*(t+1)\}$ всех вершин, однозначно описывающих многогранник-компакт $S^*(t+1)$ в период $(t+1)$;

2.7) конечная система линейных алгебраических уравнений и неравенств $\Xi\{S^*(t+1)\}$, множество решений которой $H\text{-гер}\{S^*(t+1)\} = S^*(t+1)$ однозначно описывает многогранник-компакт $S^*(t+1)$ в период $(t+1)$;

2.8) измеряем реализацию фазового вектора системы $x(t) = x_t$. Если $x_t \in X^*(t)$ (т.е. этот вектор является решением системы $\Xi\{X^*(t)\}$), переходим на п.п. 2.9, в противном случае полагаем $\tilde{U}_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1)) := V\text{-гер}\{U^*(t)\}$ и осуществляем переход на п. 10;

2.9) измеряем реализацию фазового вектора спроса $s(t) = s_t$. Если $s_t \notin S^*(t)$ (т.е. этот вектор не является решением системы $\Xi\{S^*(t)\}$), полагаем $s(t) = s_t \in S^*(t)$, где вектор s_t — решение системы $\Xi\{S^*(t)\}$;

2.10) формируем прогнозируемый вектор спроса $s_*(t+1) \in S^*(t+1)$, т.е. решение системы $\Xi\{S^*(t+1)\}$;

2.11) формируем t -позицию системы $w(t) = \{t, x(t), s(t)\} = \{t, x_t, s_t\} = w_t \in W(t)$ ($w(0) = \{0, x(0), s(0)\} = \{0, x_0, s_0\} = w_0 \in W_0$), причем выполняется условие $\{w_t \in W(t)\} \wedge \{x_t \in X^*(t)\}$.

3. Для полученной t -позиции системы $w_t = \{t, x_t, s_t\} = w_t \in W(t)$ ($w_0 = \{0, x_0, s_0\} \in W_0$) на основании рекуррентной системы (3) и имея множество $V\text{-гер}\{U^*(t)\}$, формируем область достижимости (прогнозное множество) $G(t, w_t, t+1)$ системы (3) на шаг вперед $V\text{-гер}\{G(t, w_t, t+1)\}$ — конечного множества всех вершин выпуклого многогранника-компакта $G(t, w_t, t+1)$ пространства R^n . Отметим, что $G(t, w_t, t+1)$ содержит множество всех возможных фазовых векторов $x(t+1) = \phi_{t,t+1}(t+1; x_t, u(t), s_t)$ при реализациях допустимых управлений $u(t) \in U^*(t)$ менеджера P . Для этого применяем общий рекуррентный алгебраический метод (Шорилов, 1997) построения областей достижимости (прогнозных множеств) линейных дискретных управляемых динамических систем. В результате получаем конечную последовательность решений одношаговых задач линейного математического программирования и алгебраических операций над векторами в пространствах R^n и R^p .

4. Из множества $V\text{-гер}\{G(t, w_t, t+1)\}$ формируем конечную систему линейных алгебраических уравнений и неравенств $\Xi\{G(t, w_t, t+1)\}$, множество решений которой $H\text{-гер}\{G(t, w_t, t+1)\} = G(t, w_t, t+1)$ однозначно описывает многогранник-компакт $G(t, w_t, t+1)$.

5. Из $\Xi\{G(t, w_t, t+1)\}$ и $\Xi\{X^*(t+1)\}$ формируем систему $\Xi\{G(t, w_t, t+1)\} \cup \Xi\{X^*(t+1)\}$.

6. Множество решений системы $\Xi\{G(t, w_t, t+1)\} \cup \Xi\{X^*(t+1)\}$ вычисляется по формуле $H\text{-гер}\{G(t, w_t, t+1) \cap X^*(t+1)\} = X(t, w_t, t+1)$, т.е. в виде решений конечной системы линейных алгебраических уравнений и неравенств, описывающей множество $G(t, w_t, t+1) \cap X^*(t+1) \neq \emptyset$ всех допустимых фазовых векторов $x(t+1)$ системы рекуррентных уравнений (3), удовлетворяющих заданному ограничению (4). Если $G(t, w_t, t+1) \cap X^*(t+1) = \emptyset$, полагаем $\tilde{U}_a^{(e)} = \tilde{U}_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1)) := V\text{-гер}\{U^*(t)\}$ и переходим на п. 10.

7. Для полученного прогнозируемого в период времени $(t+1)$ значения вектора спроса $s_*(t+1) \in S^*(t+1)$ из решения задачи выпуклого математического программирования, определяемой, согласно (7), выпуклой целевой функцией $\Phi_{t,t+1}$ и конечной системой линейных алгебраических уравнений и неравенств с множеством решений $X(t, w_t, t+1)$, формируем множество

$$\begin{aligned} \tilde{U}_a^{(e)}(w_t, s_*(t+1)) &= \{\tilde{u}_a^{(e)}(t) : \tilde{u}_a^{(e)}(t) \in U^*(t), \tilde{\Phi}_{t,t+1}^{(e)} = \Phi_{t,t+1}(w_t, \tilde{u}_a^{(e)}(t), s_*(t+1)) = \\ &= \min_{u(t) \in U^*(t)} \Phi_{t,t+1}(w_t, u(t), s_*(t+1)) = \tilde{F}_{t+1}^{(e)} = F_{t+1}(\phi_{t,t+1}(t+1; x_t, \tilde{u}_a^{(e)}(t), s_t), s_*(t+1)) = \\ &= F_{t+1}(\tilde{x}_a^{(e)}(t+1), s_*(t+1)) = \min_{x(t+1) \in X(t, w(t), t+1)} F_{t+1}(x(t+1), s_*(t+1)) = \\ &= \|\tilde{x}_a^{(e)}(t+1) - s_*(t+1)\|_n = \min_{x(t+1) \in X(t, w_t, t+1)} \|x(t+1) - s_*(t+1)\|_n \neq \emptyset \end{aligned} \quad (10)$$

и число $\tilde{\Phi}_{t,t+1}^{(e)} = \tilde{F}_{t,t+1}^{(e)}$, где $\tilde{x}_a^{(e)}(t+1) = \phi_{t,t+1}(t+1; x_t, \tilde{u}_a^{(e)}(t), s_t)$ — фазовый вектор системы в период $t+1$, соответствующий набору $(x_t, \tilde{u}_a^{(e)}(t), s_t)$, $\tilde{x}_a^{(e)}(t+1) \in X^*(t)$. Множество $\tilde{U}_a^{(e)}(w_t, s_*(t+1))$ и число $\tilde{\Phi}_{t,t+1}^{(e)} = \tilde{F}_{t,t+1}^{(e)}$ находятся из решения задачи выпуклого математического программирования, например с помощью градиентного метода Зойтендейка (см. (Bazaraa, Shetty, 1979)), т.е. в результате конечной последовательности алгебраических операций над векторами в $\mathbf{R}^n$.

8. Формируем конечное множество $V\text{-rep}\{\tilde{U}_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1))\}$ всех вершин, однозначно описывающих непустой многогранник-компакт $\tilde{U}_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1))$, являющийся решением оптимизационной задачи (10).

9. Для рассматриваемой t -позиции системы $w_t = \{t, x_t, s_t\} \in \mathbf{W}(t)$ полагаем $\tilde{U}_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1)) := V\text{-rep}\{\tilde{U}_a^{(e)}(w_t, s_*(t+1))\}$.

10. Назначаем $t := t+1$. Если $t < T$, переходим на п. 2; если $t = T$, переходим на п. 11.

11. Для всех периодов времени $t \in \overline{0, T-1}$ формирование стратегии $\tilde{U}_a^{(e)} = \tilde{U}_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1)) \in U_a^*$, $t \in \overline{0, T-1}$, менеджера P (где $w(t) = \{t, x(t), s(t)\} \in \mathbf{W}(t)$, $w(0) = \{0, x(0), s(0)\} = \{0, x_0, s_0\} = w_0 \in \mathbf{W}_0$) t -позиция дискретной управляемой динамической системы (3)–(6), осуществляется следующим образом:

11.1) $\forall \{w(t) = \{t, x(t), s(t)\} \in \mathbf{W}(t) \wedge U_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1)) \neq \emptyset\}$, $t \in \overline{0, T-1}$ полагаем

$$\tilde{U}_a^{(e)} := V\text{-rep}\{\tilde{U}_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1))\}, \quad (11)$$

где множество $\tilde{U}_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1))$ определяется из решения оптимизационной задачи (10);

11.2) $\forall \{w(t) = \{t, x(t), s(t)\} \in \mathbf{W}(t) \wedge U_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1)) = \emptyset\} \vee w(t) = \{t, x(t), s(t)\} \notin \mathbf{W}(t)$, $t \in \overline{0, T-1}$, согласно (5) имеем

$$\tilde{U}_a^{(e)} = \tilde{U}_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1)) := V\text{-rep}\{U^*(t)\} \quad (12)$$

с помощью конечной последовательности алгебраических операций над векторами в $\mathbf{R}^p$.

12. Пусть фазовая траектория $\tilde{x}_a^{(e)}(\cdot) = \{\tilde{x}_a^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0, T}}$ динамической системы (3)–(6) порождена стратегией $\tilde{U}_a^{(e)} \in U_a^*$ на промежутке времени $\overline{0, T}$. Ей соответствует реализация набора $(\tilde{u}_a^{(e)}(\cdot), s_a(\cdot)) = (\{\tilde{u}_a^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}}, \{s_a(t)\}_{t \in \overline{0, T}})$, т.е. $\forall t \in \overline{0, T-1}$: $\tilde{x}_a^{(e)}(t+1) = \phi_{t,t+1}(t+1; \tilde{x}_a^{(e)}(t), \tilde{u}_a^{(e)}(t), s_a(t))$, $\tilde{x}_a^{(e)}(0) = x_0$, $s_a(0) = s_0$.

Согласно (Шориков, 1997) справедливы равенства:

$$\forall w(t) = \{t, x(t), s(t)\} \in \overline{0, T-1} \times \mathbf{R}^n \times \mathbf{R}^n : U_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1)) = \tilde{U}_a^{(e)}(w(t), s_*(t+1)); U_a^{(e)} = \tilde{U}_a^{(e)};$$

$$\Phi_{t,t+1}^{(e)} = \tilde{\Phi}_{t,t+1}^{(e)} = \tilde{F}_{t,t+1}^{(e)} = F_{t,t+1}^{(e)},$$

т.е. сформированные стратегия адаптивного управления $\tilde{U}_a^{(e)} = U_a^{(e)}$ и набор $\{\tilde{\Phi}_{t,t+1}^{(e)}\}_{t \in \overline{0, T}} = \{\Phi_{t,t+1}^{(e)}\}_{t \in \overline{0, T}} = \{F_{t,t+1}^{(e)}\}_{t \in \overline{0, T}} = \{\tilde{F}_{t,t+1}^{(e)}\}_{t \in \overline{0, T}}$ образуют решение задачи оптимизации адаптивного управления выполнением договорных обязательств производственным предприятием.

Из методики решения оптимизационной задачи следует, что формирование стратегии оптимального адаптивного управления $\tilde{U}_a^{(e)} = U_a^{(e)}$ менеджера P осуществляется с помощью конечной рекуррентной последовательности алгебраических операций над векторами в пространствах $\mathbf{R}^n$ и $\mathbf{R}^p$, конечных последовательностей алгебраических операций преобразования многогранников-компактов, заданных в виде конечных систем линейных алгебраических уравнений и неравенств, в конечный набор их вершин, и наоборот (т.е. использования двойственных операций описания многогранников-компактов), а также решений задач линейного и выпуклого математического программирования. Это означает, что предложенная методика решения рассматриваемой оптимизационной задачи может служить основой для разработки соответствующих численных алгоритмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения сформулированной многошаговой задачи оптимизации адаптивного управления выполнением договорных обязательств производственным предприятием в данной статье предлагается методика ее решения, основывающаяся на *общем рекуррентном алгебраическом методе* (Тюлюкин, Шориков, 1988; Tyulyukin, Shorikov, 1993; Шориков, 1997) построения областей достижимости (прогнозных множеств) линейных дискретных управляемых динамических систем. Решение исследуемой оптимизационной задачи осуществляется с помощью конечной рекуррентной

последовательности выполнения алгебраических операций над векторами в пространствах $\mathbf{R}^n$ и $\mathbf{R}^p$, выполнения алгебраических операций, преобразующих описание выпуклых многогранников-компактов, заданных в виде конечных систем алгебраических уравнений и неравенств, в конечные наборы их вершин, и наоборот (т.е. выполнения операций двойственного описания выпуклых многогранников-компактов), реализации конечного набора решений задач линейного и выпуклого математического программирования, т.е. путем реализации только одношаговых операций, допускающих их алгоритмизацию.

Полученные в статье результаты могут быть использованы для разработки интеллектуальных компьютерных информационных систем поддержки принятия управленческих решений на производственных предприятиях, экономико-математические модели которых представлены, например, в исследованиях (Макаров и др., 2021; Клейнер, Рыбачук, 2017; Aksyonov et al., 2015; Astolfi, 2006; Astroem, Wittenmark, 2008; Landau et al., 2011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Клейнер Г.Б., Рыбачук М.А. (2017). Системная сбалансированность экономики. Москва: Научная библиотека. [Kleiner G.B., Rybachuk M.A. (2017). *Systemic balance of the economy*. Moscow: Nauchnaja biblioteka (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. (2021). Цифровой завод: методы дискретно-событийного моделирования и оптимизации производственных характеристик // *Бизнес-информатика*. Т. 15. № 2. С. 7–20. DOI: 10.17323/2587-814X.2021.2.7.20 [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2021). Digital plant: Methods of discrete-event modeling and optimization of production characteristics. *Business Informatics*, 15, 2, 7–20. DOI: 10.17323/2587-814X.2021.2.7.20 (in Russian).]
- Тюлюкин В.А., Шориков А.Ф. (1988). Об одном алгоритме построения области достижимости линейной управляемой системы. В сб.: «Негладкие задачи оптимизации и управление». Свердловск: УрО АН СССР. С. 55–61. [Tyulyukin V.A., Shorikov A.F. (1988). On algorithm for constructing the reachability sets of linear control system. In: *Non-smooth optimization problems and control*. Sverdlovsk: UB AS USSR, 55–61 (in Russian).]
- Черников С.Н. (1968). Линейные неравенства. М.: Наука. [Chernikov S.N. (1968). *Linear Inequalities*. Moscow: Nauka (in Russian).]
- Шориков А.Ф. (1997). Минимаксное оценивание и управление в дискретных динамических системах. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та. [Shorikov A.F. (1997). *Minimax estimation and control in discrete-time dynamical systems*. Ekaterinburg: Publishing House Ural State University (in Russian).]
- Шориков А.Ф. (2006). Методология моделирования многоуровневых систем: иерархия и динамика // Прикладная информатика. Т. 1. № 1. С. 136–141. [Shorikov A.F. (2006). Methodology for modeling multilevel systems: Hierarchy and dynamics. *Applied Informatics*, 1, 1, 136–141 (in Russian).]
- Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. (2015). Analysis of simulation modeling systems illustrated with the problem of model design for the subject of technological logistics (WIP). *Society for Modeling & Simulation International (SCS)*. Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'15). Chicago, USA. 26–29 July, 2015. Simulation Series, 47, 10, 345–348.
- Astolfi A. (2006). *Nonlinear and adaptive control: Tools and algorithms for the user*. London: Imperial College Press.
- Astroem K.J., Wittenmark B. (2008). *Adaptive control*. 2nd ed. N.Y.: Dover Publ., Inc.
- Bazaraa M.S., Shetty C.M. (1979). *Nonlinear programming: Theory and algorithms*. 2nd ed. N.Y.: Wiley.
- Cheng W., Xiao-Bing L. (2013). Integrated production planning and control: A multi-objective optimization model. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 6, 4, 815–830.
- David S.A., Oliveira C., Derick D., Quintino D.D. (2012). Dynamic model for planning and business optimization. *Modern Economy*, 3, 4, 384–391. DOI: 10.4236/me.2012.34049
- Landau I.D., Lozano R., M'Saad M., Karimi A. (2011). *Adaptive control: Algorithms, analysis and applications*. London: Springer.
- Margineanu C., Lixandroiu D. (2021). Optimization of industrial management processes. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 1009, 012039, 1–9.
- Olanrele O.O., Olaiya K.A., Aderonmu M.A., Adegbayo O.O., Sanusi B.Y. (2014). Development of a dynamic programming model for optimizing production planning. *International Journal of Management Technology*, 2, 3, 12–17.
- Szopa R., Marczyk B. (2011). Optimization of production problems using mathematical programming. *Polish Journal of Management Studies*, 4, 231–238.

- Tyulyukin V.A., Shorikov A.F. (1993). Algorithm for solving terminal control problems for a linear discrete system. *Automation and Remote Control*, 4, 115–127.
- Zhang Q., Chen Yu., Lin W., Chen Ya. (2021). *Optimizing medical enterprise's operations management considering corporate social responsibility under industry 5.0*. Article ID9298166, 1–13. DOI: 10.1155/2021/9298166
- Wagner H.M., Whitin T.M. (2004). Dynamic version of the economic lot size model. *Management Science*, 50, 12, 1770–1774.

Technique for optimizing the adaptive control of the output of an enterprise based on a dynamical economic and mathematical model

© 2022 A.F. Shorikov

A.F. Shorikov,

Institute of Economics, the Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg, Russia; e-mail: afshorikov@mail.ru

Received 13.03.2022

The work was carried out with financial support by the Russian Science Foundation (Project No. 22-28-01868 “Development of an agent-based model of the network industrial complex in the context of digital transformation”).

Abstract. The article is devoted to the application of dynamic economic and mathematical models for managing the production of an enterprise based on the use of the feedback principle. Formation of a discrete controllable dynamical system is given, which describes the process of production output by a manufacturing enterprise in the presence of a predictable demand function for products. The phase vector of a dynamical system describes the main parameters of production, and the control action vector (control vector) describes the intensity of the use of technological methods of production that are available to the subject of control. It is assumed that in each period the subject of control knows the vector function that describes the volume of demand for the company's products in subsequent periods, and the given geometric restrictions on the implementation of the phase vector, control vector and demand vector are also known. As the target function of the problem, the value of the discrepancy between the volumes of output by the enterprise relative to the given predicted value of the demand function in the subsequent control period is considered. Using the generated dynamical system, the paper proposes an economic-mathematical model of the studied problem of optimizing the adaptive control of the enterprise's output, which includes a class of admissible strategies for adaptive control and the formulation of the problem. The paper proposes a method for solving the formulated problem of optimizing the adaptive control of the output of an enterprise, which is implemented as a finite sequence of one-step algebraic operations on vectors of a finite-dimensional vector space, a finite set of solutions to problems of linear and convex mathematical programming. The results obtained can be used in the development of intelligent decision support systems for the actual tasks of managing the production of products at industrial enterprises.

Keywords: economic and mathematical modeling, dynamical systems, control optimization, control strategies, adaptive control, manufacturing enterprise, enterprise output.

JEL Classification: C02, C44, C61, D24.

For reference: **Shorikov A.F.** (2022). Technique for optimizing the adaptive control of the output of an enterprise based on a dynamical economic and mathematical model. *Economics and Mathematical Methods*, 58, 4, 102–112. DOI: 10.31857/S042473880019197-5

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Влияние личностных качеств агентов на экзогенное формирование лидерства по Штакельбергу в модели коллективных действий

© 2022 Е. М. Скаржинская, В. И. Цуриков

Е. М. Скаржинская,

Костромской государственный университет, Кострома; e-mail: yelena.skarzhinsky@gmail.com

В. И. Цуриков,

Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Кострома; e-mail: tsurikov@inbox.ru

Поступила в редакцию 18.05.2022

Аннотация. В рамках математического моделирования анализируются условия, которые позволяют самоуправляемому коллективу преодолеть неэффективное равновесие по Нэшу и достичь Парето-предпочтительного исхода. Предполагается, что члены коллектива (агенты) своими усилиями создают общий доход, который затем распределяется в равных долях. Усилия всех агентов комплементарны, т.е. рост усилий одного агента приводит к увеличению предельного дохода по усилиям любого другого агента. Цель каждого агента состоит в максимизации индивидуального выигрыша. Предлагается модель, построенная для функции совокупного дохода с постоянной эластичностью дохода по усилиям каждого агента и удовлетворяющая условию убывающей отдачи. Все члены коллектива идентичны по влиянию усилий на величину дохода. В рамках механизма временных действий (timing decisions) каждый агент оказывается перед дилеммой: выбрать стратегию активности (осуществляют свои усилия в первом временном периоде) или стратегию выжидания (во втором периоде усилия прикладывают так называемые последователи). Стратегия выжидания позволяет получить более высокий выигрыш при условии, что найдутся агенты, выбравшие стратегию активности. Если в коллективе не окажется ни одного активного агента, коллектив попадает в ловушку неэффективного равновесия Нэша. Показано, что с ростом числа активных агентов увеличивается суммарный выигрыш всех членов коллектива. Наибольший выигрыш последователя превышает наибольший выигрыш активного агента и достается последователю только в случае, когда он остается единственным. Показано, что им может стать только склонный к риску эгоистичный оптимист.

Ключевые слова: коллективные действия, лидер по Штакельбергу, последователи, равновесие по Нэшу, Парето-предпочтительный исход, эффективность по Парето.

Классификация JEL: C02, D23.

Для цитирования: Скаржинская Е. М., Цуриков В. И. (2022). Влияние личностных качеств агентов на экзогенное формирование лидерства по Штакельбергу в модели коллективных действий // Экономика и математические методы. Т. 58. № 4. С. 113–122. DOI: 10.31857/S042473880023021-2

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемая статья является продолжением статьи (Скаржинская, Цуриков, 2021б), посвященной личностным характеристикам лидера по Штакельбергу в коллективе, члены которого своими индивидуальными усилиями создают общую стоимость. Лидер по Штакельбергу — член коллектива, который первым осуществляет свои усилия, предварительно определив для себя их оптимальный объем. Для этого он, пользуясь знанием зависимости объемов усилий, прилагаемых его партнерами, от размера его собственных усилий, вводит эту зависимость в свою функцию полезности. Получив зависимость своей полезности только от величины собственных усилий, он находит объем своих индивидуальных усилий σ^L , при котором его полезность достигает максимума. Именно в этом объеме он и осуществляет свои усилия. Усилия лидера наблюдают все последователи и используют это знание при выборе размера собственных усилий.

Модель Штакельберга, первоначально построенная для описания дуополии (Stackelberg, 1934), впоследствии была распространена на произвольное число фирм (Anderson, Engers, 1992; Linster, 1993; Ino, Matsumura, 2012; Julien, 2018). В исследованиях дуополии в работах (Алгазин, Алгазина, 2017, 2020) получено обобщение на случай отсутствия у агентов достоверной информации относительно размеров предельных издержек конкурентов или их выбора, а в работе (Гераськин, 2020) анализируется зависимость выигрышей агентов в равновесии Штакельберга от вида функций издержек.

Возможность достижения равновесия по Штакельбергу в коллективе исследуется в работе (Kim, 2012). В этой работе (в отличие от нашей) предполагается, что коллектив находится под влиянием принципала, который условиями контракта влияет на стимулы агентов. Принципал способен компенсировать агенту его издержки, тем самым побуждая его занять позицию лидера по Штакельбергу.

Для распространения стратегии Штакельберга на многочисленный самоуправляемый коллектив необходимо выполнение следующих условий:

1) зависимость дохода от размера усилий каждого участника, функции полезности всех членов коллектива и их стремление к максимуму индивидуальных выигрышей — образуют общее знание. Будем считать это условие выполненным;

2) усилия лидера наблюдают все члены коллектива. Условие выполняется в силу того, что лидер направляет свои усилия до того, как это сделают остальные члены коллектива.

Лидерство в коллективе формируется на основе добровольного выбора каждым членом коллектива роли лидера или роли последователя в рамках использования механизма временных действий (timing decisions)¹. Первоначально этот механизм был предложен для достижения равновесия по Штакельбергу в условиях рыночной дуополии в работе (Hamilton, Slutsky, 1990).

Применительно к нашему случаю коллективных действий механизм временных действий состоит в следующем. Члены коллектива устанавливают два последовательных временных интервала (периода) для осуществления усилий. Каждый участник может действовать только в одном интервале и сам выбирает этот интервал и объем своих усилий. В такой последовательной игре члены коллектива, выбравшие второй интервал (последователи), получают информационное преимущество над агентами, проявившими активность в первом интервале. Так как усилия каждого агента предполагаются наблюдаемыми, то последователи используют знание об объемах усилий, уже осуществленных агентами, проявившими активность в первом периоде. Последователи выбирают усилия σ_i^F , при которых их выигрыши достигают максимумов. В случае проявления активности в первом периоде только одним из членов коллектива (лидером), коллектив достигает равновесного по Штакельбергу исхода.

В работе (Скаржинская, Цуриков, 2021б) для величины совокупного дохода коллектива использовалась функция от объемов усилий, прилагаемых агентами, вида:

$$D = \lambda \prod_{i=1}^n \sigma_i^{a_i}, \quad (1)$$

где σ_i — значения усилий агента i ; $\lambda, a_i > 0$ — постоянные, причем $E = \sum_i a_i < 1$; a_i можно трактовать как показатель эластичности дохода по усилиям агента i . В качестве издержек $I_i(\sigma_i)$ агента i использовалась линейная зависимость вида $I_i(\sigma_i) = q_i \sigma_i$, где $q_i > 0, i = 1, \dots, n$. Коэффициент q_i , равный величине предельных издержек агента i , характеризует его субъективную оценку собственных издержек. Выигрыш каждого члена коллектива определяется выражением

$$U_i = \alpha_i D(\sigma_i, \sigma_{-i}) - I_i(\sigma_i), \quad i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

где α_i — относительная доля дохода агента i . Функция дохода (1) обеспечивает необходимую для реализации стратегии Штакельберга комплементарность усилий. Как видно из (1), в силу неравенств

$$\frac{\partial^2 D}{\partial \sigma_i \partial \sigma_k} = \frac{a_i a_k}{\sigma_i \sigma_k} D > 0, \quad i \neq k,$$

повышение уровня усилий со стороны каждого агента положительно влияет на эффективность усилий любого другого агента.

В рамках данной модели были установлены следующие факты.

1. Использование стратегии по Штакельбергу в случае, если активность в первом периоде проявляет только один участник (лидер, вне зависимости кто именно), приводит коллектив к исходу, в котором выигрыш каждого члена коллектива выше, чем в равновесном по Нэшу исходе².

¹ Термин «timing decisions» в русскоязычной литературе переводится фразеологической единицей *временные действия* и обозначает модель принятия решений, в которой каждый участник должен в течение заданного временного периода принять решения и осуществить соответствующие действия, наблюдать которые другие участники могут после окончания данного временного периода.

² Равновесие Нэша достигается при автономном выборе в одновременной игре каждым из участников размера собственных усилий.

2. Величина индивидуального выигрыша каждого члена коллектива и в равновесии Нэша, и в равновесии Штакельберга пропорциональна величине совокупного дохода.

3. Величина дохода в равновесии Штакельберга пропорциональна доходу, создаваемому в равновесном по Нэшу исходе с коэффициентом пропорциональности, превышающем 1 и зависящем только от суммарной эластичности E и индивидуальной эластичности дохода по усилиям лидера.

Для дальнейшего изложения нам потребуются два определения из (Скаржинская, Цуриков, 2021б).

1. Агента, лидерство которого обеспечивает наибольшее значение совокупного дохода и, соответственно, максимальный выигрыш каждого последователя, мы назвали *эффективным в роли лидера агентом*.

2. Так как модель показала, что в ряде случаев члену коллектива выгоднее быть последователем, чем лидером, то для краткости мы стали называть того эффективного в роли лидера агента, которому, наоборот, выгоднее быть лидером, чем последователем, *особенным агентом*. Если роль лидера по Штакельбергу играет *особенный агент*, то наибольшего значения достигают не только выигрыши всех последователей, но и его индивидуальный выигрыш.

Здесь хотелось бы отметить три несколько неожиданных вывода, полученных в модели с условиями (1)–(2).

1. Казалось бы, что одним из эффективных в роли лидера должен быть агент, больше других заинтересованный в максимальном значении совокупного дохода, т.е. тот член коллектива, у которого относительная доля в доходе самая большая. Однако оказалось, что эффективность лидера, т.е. степень его позитивного влияния на величину совокупного дохода, никак не связана с его долей в доходе.

2. Так как усилия лидера при прочих равных условиях выше усилий последователей, то естественно было бы думать, что одним из наиболее эффективных в роли лидера должен быть агент с самым высоким значением показателя эластичности дохода по его собственным усилиям или агент, прилагающий наибольшие усилия. Однако эффективность агента в роли лидера оказалась никак не связана с его оценкой собственных издержек, влияющих на размер осуществляемых им усилий.

3. Зависимость величины совокупного дохода от показателя его эластичности по усилиям агента-лидера носит немонотонный характер. Ее глобальный максимум достигается при значении показателя эластичности, находящегося внутри интервала $(0, E)$. Иначе говоря, существует участок в области изменения показателя эластичности, на котором его рост ведет в равновесии Штакельберга не к повышению, а к снижению совокупного дохода.

Напомним, что мы рассматриваем коллектив, осуществляющий свою деятельность на принципах самоорганизации и самоуправления. Если же коллективом управляет внешний агент или принципал, он может воздействовать на формирование лидерской структуры, отдавая предпочтение структуре с наиболее эффективным лидером (см., например, (Kim, 2012)). Поэтому если лидера может выбирать принципал, качества лидера по Штакельбергу могут оказаться другими.

Стратегия по Штакельбергу также рассматривается в работах, посвященных теории управления (см., например, (Губко, Новиков, 2005; Новиков, 2008; Новиков, Чхартишвили, 2013; Горелов, 2019)). Однако в этих работах качества лидера не играют роли. Анализ, как правило, осуществляется в рамках моделей иерархической системы, состоящей из двух игроков: центра и агента. Центр в качестве активного игрока запрещает игроку осуществлять некоторые действия, и это ограничение принимается агентом безоговорочно. Задача максимизации выигрыша центра решается в общем виде, и равновесие Штакельберга анализируется в качестве одного из возможных вариантов. При этом выигрыш агента явно зависит только от его собственного выбора.

Главное отличие предлагаемой здесь модели от моделей типа «центр — агент» состоит в том, что мы рассматриваем деятельность сколь угодно многочисленного коллектива, направленную на создание общей стоимости. Внешнее управление отсутствует. Выигрыш каждого агента зависит от его выбора и от действий остальных агентов.

ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ И МОДЕЛЬ

Если в коллективе имеется особенный агент, то другого эффективного в роли лидера агента быть не может. Поэтому каждому члену такого коллектива, в том числе и особенному агенту, выгодно, чтобы именно особенный агент стал лидером по Штакельбергу.

Наличие в коллективе особенного агента может повысить уровень доверия к его намерению осуществить свои усилия в размере σ^L , и поэтому в принципе делает использование механизма временных действий не обязательным. Агенты могут быть уверены, что особенный игрок осуществит усилия в объеме σ^L , если он сообщит о своих намерениях до начала этапа приложения усилий. Так как ни особенному агенту и ни одному из его последователей не выгодно отклоняться от объема своих усилий, при которых достигается максимальное значение его выигрыша, то рациональное поведение всех участников приведет к равновесию Штакельберга при одновременном осуществлении усилий всеми членами коллектива в едином интервале времени.

Напомним, что согласно результатам (Скаржинская, Цуриков, 2021б) в коллективе всегда имеется по крайней мере один эффективный в роли лидера по Штакельбергу агент. Если он, не являясь особенным, принимает на себя роль лидера, то индивидуальные выигрыши всех остальных членов коллектива, кроме его собственного, достигают наибольшего значения. Такой лидер выгоден всем его последователям, но ему самому выгоднее роль последователя, а не лидера. Для разрешения возникающей в связи с отсутствием особенного агента проблемы лидерства существует несколько возможностей.

Одна из них (см. (Скаржинская, Цуриков, 2017а; 2017б)) состоит в изначальном изменении правила распределения ожидаемого дохода в пользу будущего лидера. Другая возможность (Скаржинская, Цуриков, 2019) также предусматривает компенсацию величины недополученного лидером выигрыша и состоит в перераспределении уже полученного дохода в рамках побочных платежей. Использование этих компенсационных механизмов влечет за собой определенные трансакционные издержки, которые снижают положительный эффект от координации коллективных действий. Здесь же мы хотим обратить внимание на не связанную с трансакционными издержками возможность разрешить проблемы координации, которую предоставляет учет психологических факторов.

В статье (Скаржинская, Цуриков, 2021б), посвященной стратегии Штакельберга, мы опирались на механизм временных действий с объявленным действием при жестком условии, согласно которому в первом периоде активность, причем обязательно, проявлял только один агент. Соответственно, все остальные члены коллектива осуществляли усилия во втором периоде, используя при выборе размера усилий информацию об объеме усилий, которые приложил лидер в первом периоде. Для того чтобы эти остальные агенты не проявили активности в первом периоде, требовалось объявление своих намерений со стороны лидера. Эти условия были необходимы для гарантированного достижения членами коллектива равновесия по Штакельбергу.

В настоящей статье мы ослабляем эти предположения. Используя механизм временных действий, мы не будем ограничиваться условием активности в первом периоде только одного агента. Пусть в этот период могут проявить активность агенты в любом количестве, причем они могут объявлять или не объявлять о своих намерениях. По-прежнему предполагаем, что каждый член коллектива знает и функцию совокупного выигрыша, и все функции выигрышей своих партнеров. Это знание является общим, т.е. всем агентам известно, что этой информацией владеет каждый из них.

Для того чтобы сосредоточиться исключительно на психологических факторах, нам удобно максимально абстрагироваться от остальных факторов, способных влиять на размер усилий и величину совокупного дохода. Поэтому в дальнейшем будем считать, что коллектив состоит из агентов с одинаковыми показателями эластичности, имеющих равные доли в доходе и одинаково оценивающих издержки своих усилий: $a_i = a < 1/n$, $\alpha_i = 1/n$, $q_i = 1$, где $i = 1, \dots, n$. Соответственно, функция совокупного дохода принимает вид:

$$D = \lambda \prod_{i=1}^n \sigma_i^a. \quad (3)$$

По-прежнему считаем, что каждый член коллектива стремится к максимуму своего индивидуального выигрыша:

$$U_i = (\lambda/n) \prod_{j=1}^n \sigma_j^a - \sigma_i \rightarrow \max_{\sigma_i > 0}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (4)$$

Из работы (Скаржинская, Цуриков, 2021б) следует, что в равновесии Нэша выражения для совокупного дохода, усилий членов коллектива и их выигрышей принимают вид:

$$D^N = \left(\lambda (a/n)^{an} \right)^{1/(1-an)}, \quad \sigma_i^N = \sigma^N = aD^N/n, \quad U_i^N = D^N (1-a)/n, \quad i = 1, \dots, n; \quad (5)$$

а в равновесии Штакельберга —

$$\begin{aligned} D^S &= D^N \left(1 / (1 - a(n-1)) \right)^{a/(1-an)}, \quad \sigma^L = aD^S / [n(1 - a(n-1))], \\ U^L &= D^S \left(1 - a / (1 - a(n-1)) \right) / n, \end{aligned} \quad (6)$$

где D^S — величина совокупного дохода; σ^L и U^L — объем усилий лидера и величина его выигрыша. Для усилий σ^F и выигрышей U^F последователей справедливы выражения:

$$\sigma^F = aD^S / n, \quad U^F = D^S (1 - a) / n. \quad (7)$$

ПРОТИВНИКИ РИСКА И ПЕССИМИСТЫ

Согласно условиям (3)–(4), коллектив однороден, и все его члены идентичны, а значит, собственного агента в коллективе нет. Зато эффективным в роли лидера является каждый член. Сравнение выражений (6) и (7) показывает, что объем усилий лидера выше, чем последователя. Поэтому при равных долях в доходе выигрыш лидера ниже выигрыша последователя на величину разности приложенных ими усилий. Отсюда следует, что каждому члену коллектива выгодней быть последователем, чем лидером.

Однако каждый член коллектива понимает: для того чтобы быть последователем, коллективу нужен лидер. В случае отсутствия лидера, т.е. в том случае, в котором ни один из членов коллектива не проявит активности в первом периоде, коллектив попадет в неэффективное равновесие Нэша, и тем самым будет утрачена возможность получения каждым членом коллектива более высокого выигрыша. Таким образом, каждый агент в начале первого периода оказывается перед дилеммой: проявлять активность в первом периоде или не проявлять, т.е. становиться лидером по Штакельбергу или нет.

Здесь мы исходим из предположения, что никто не располагает надежным знанием о выборе, сделанном другими членами. Известно только, что дилемма выбора стоит перед каждым, и каждый об этом знает. Поэтому каждый агент осуществляет свой выбор, опираясь на собственные представления о партнерах и их представлениях о нем самом. Фактически агент осуществляет выбор в условиях неопределенности, так как его представления могут не совпадать с реальностью. С точки зрения теории игр, мы рассматриваем рефлексивную игру (Новиков, Чхартишвили, 2013). Однако ни рефлексивного, ни информационного управления в нашей модели нет. Другими словами, члены коллектива не используют явных информационных сигналов ни для управления действиями агентов, ни для влияния на их те или иные представления.

Очевидно, что выбор агента, стоящего перед дилеммой, зависит от его личностных качеств. Мы не ставим перед собой задачу выявления всех тех качеств и психологических особенностей агентов, которые побуждают их проявить активность в первом периоде. Просто отметим, что к их числу можно отнести следующие три характерных свойства личности.

1. *Неприятие риска.* Агент, не приемлющий риск, испытывает опасение, что никто из членов коллектива не проявит активность в первом периоде, в результате чего коллектив попадет в равновесное по Нэшу состояние. В условиях неопределенности такой агент будет стремиться к максимуму гарантированного выигрыша. Предполагая, что все остальные агенты выбрали стратегию выжидания, он осуществит свои усилия в первом периоде в размере усилий лидера по Штакельбергу.

2. *Пессимизм.* Пессимист может низко оценивать вероятность осуществления усилий кем-то из членов коллектива в первом периоде. Если его оценка математического ожидания собственного выигрыша для случая выжидания окажется ниже выигрыша лидера по Штакельбергу, он предпочтет проявить активность в первом периоде, т.е. возьмет на себя, по его мнению, роль лидера по Штакельбергу.

3. *Альтруизм.* Альтруист также может осуществить свой выбор в пользу активности в первом периоде. Это предположение вполне реалистично и согласуется с результатами ряда исследований. Например, в работе (Préget, Nguyen-Van, Willinger, 2016) было проведено экспериментальное изучение поведенческих типов агентов, производящих общественное благо в последовательной игре. Авторы пришли к выводу о том, что вклад добровольных лидеров, осуществляющих его первыми с последующим оповещением остальных участников о его размере (вне зависимости от их поведенческих типов), всегда выше вкладов последователей. В статье (Arbak, Villeval, 2013) также отмечается наличие

альтруистических мотивов, которые были обнаружены в результате экспериментальных исследований у части добровольных лидеров. В пользу существования альтруизма, в том числе истинного, свидетельствуют результаты экспериментов в виде игр «Ультиматум» и «Диктатор». Вопросы о причинах альтруизма и классификации его видов рассмотрены в обзоре (Зак, 2021).

Отметим, что могут существовать и иные причины, побуждающие агента предпочесть критерий максимина и, соответственно, проявить активность в первом периоде. Для нас важно, что подобные индивиды могут быть в любом коллективе. Так как такие члены коллектива первыми осуществляют свои усилия, положительно влияющие на усилия остальных агентов, то для краткости и по аналогии с терминологией, используемой в теории управления, будем их называть активными. Остальных агентов будем называть последователями. Можно сказать, что в нашей модели активный агент — это член коллектива, который в своем выборе при разрешении стоящей перед ними дилеммы, руководствуется убеждением: «Никто, кроме меня, не возьмет на себя роль лидера по Штакельбергу».

КОМУ — ЖУРАВЛЬ В НЕБЕ, КОМУ — СИНИЦА В РУКЕ

Если в коллективе оказался только один активный агент, осуществивший свои усилия в первом периоде в объеме σ^L , то коллектив достигает равновесного исхода по Штакельбергу. Этот случай подробно рассмотрен в (Скаржинская, Цуриков, 2021б).

Обратимся к случаю произвольного числа активных агентов. Обозначим их число через m , где $1 \leq m \leq n-1$. Для удобства будем считать, что активными являются первые m членов коллектива. Предположим, что каждый активный агент полагает, что только он проявляет активность в первом периоде. Соответственно, каждый из них осуществляет усилия в размере σ^L , и величина совокупного дохода D зависит от числа активных агентов m : $D = D(m)$. Так как все участники коллективных действий считаются одинаковыми, все числовые характеристики исходов зависят только от числа агентов, проявивших активность в первом периоде, то не будем различать исходы с одинаковыми значениями числа m .

Выражение для величины совокупного дохода $D(m)$ при $m < n$ принимает вид:

$$D(m) = \lambda (\sigma^L)^{am} \prod_{k=m+1}^n \sigma_k^a. \quad (8)$$

Остальные члены коллектива (последователи) осуществляют выбор объема своих усилий, прилагаемых ими во втором периоде, используя полученные знания о размерах усилий, приложенных активными агентами. Тогда условия максимума первого порядка для выигрыша последователя:

$$aD(m) = n\sigma_k, \quad k = m+1, \dots, n. \quad (9)$$

Подставив в (8) выражение для σ_k из (9), получим алгебраическое уравнение относительно $D(m)$ с решением

$$D(m) = \left(\lambda (\sigma^L)^{am} \left(a/n \right)^{a(n-m)} \right)^{1/(1-a(n-m))}. \quad (10)$$

Преобразуем его, используя (6):

$$D(m) = D^N (\sigma^L / \sigma^N)^{am/(1-a(n-m))}. \quad (11)$$

Величина усилий σ^F , прилагаемых последователями, и размер их выигрыша U^F также зависят от числа активных агентов, поэтому обозначим их через $\sigma^F(m)$ и $U^F(m)$. Из (9) и (11) с учетом (5) имеем:

$$\sigma^F(m) = aD(m) / n = \sigma^N (\sigma^L / \sigma^N)^{am/(1-a(n-m))}, \quad U^F(m) = (1-a)D(m) / n. \quad (12)$$

Если для усилий активного агента применить выражение $\sigma^L = \sigma^L a D^N / n \sigma^N$, его выигрыш $U^L(m)$ можно представить в виде

$$U^L(m) = (D^N / n) \left((\sigma^L / \sigma^N)^{am/(1-a(n-m))} - a \sigma^L / \sigma^N \right). \quad (13)$$

Согласно (11)–(13) выражения для дохода, объема усилий и выигрышей агентов можно рассматривать как функции натурального аргумента m . Во всех случаях соответствующие зависимости выражаются через множитель

$$(\sigma^L / \sigma^N)^{am/(1-a(n-m))} = \left((1-a(n-1)) \right)^{-(1-a(n-1))am / [(1-an)(1-a(n-m))]} \quad (14)$$

Так как в (14) слева основание степени больше единицы, а показатель степени принимает только положительные значения и увеличивается с ростом m , то функция (14) является возрастающей по m . Соответственно, при росте m , т.е. с увеличением числа активных агентов, монотонно возрастают объемы усилий, прилагаемых последователями (12), величина совокупного дохода (11) и индивидуальные выигрыши (12)–(13) (активных агентов и последователей). Таким образом, наличие

в коллективе активных агентов (среди них есть и противники риска, и пессимисты) самым благоприятным образом влияет на эффективность коллективных действий.

В силу того что объем усилий σ^L одинаков у любого активного агента, а усилия последователей возрастают с ростом числа активных агентов, сравним объемы усилий, осуществляемых активными агентами и их последователями. Используя (12) и (14), получим

$$\sigma^L / \sigma^F(m) = (1 - a(n-1))^{-(1-a(n-1))/(1-a(n-m))} > 1, \quad m = 1, \dots, n-1. \quad (15)$$

Так как основание степени в этом неравенстве меньше 1, а показатель степени принимает только отрицательные значения, то при любом натуральном $m < n$ последователи прилагают меньше усилий, чем активные агенты: $\sigma^F(m) < \sigma^L$. Равенство относительных долей в совокупном доходе всех членов коллектива приводит к тому, что *при любом числе активных агентов выигрыш последователя выше выигрыша активного агента*.

Поскольку выигрыши всех членов коллектива тем выше, чем больше в коллективе активных агентов, то наибольшее значение выигрыш активного агента достигает в том случае, в котором все члены коллектива — активны (все агенты проявили свои усилия в размере σ^L в первом периоде). Выражения для наибольшего совокупного дохода и наибольшего индивидуального выигрыша активных агентов принимают вид:

$$D(n) = \lambda (\sigma^L)^{an} = D^N (\sigma^L / \sigma^N)^{an}, \quad U^L(n) = D^N \left((\sigma^L / \sigma^N)^{an} - a \sigma^L / \sigma^N \right) / n. \quad (16)$$

Что касается выигрыша последователя, то его величина тем выше, чем больше активных агентов и меньше последователей. Соответственно, наибольшее значение выигрыш последователя достигает при $m = n-1$ и единственном последователе. Интересно, что выигрыш единственного последователя превышает наибольший выигрыш активного агента:

$$U^F(n-1) > U^L(n). \quad (17)$$

Для доказательства (17) сравним два альтернативных исхода, в одном из которых активность в первом интервале времени проявили все члены коллектива, а в другом — на одного меньше. Единственный последователь во второй альтернативе, т.е. при $m = n-1$, выбрал размером своих усилий $\sigma^F(n-1)$, исходя из условий максимума собственного индивидуального выбора с учетом усилий остальных членов коллектива. А идентичный с ним агент в первой альтернативе при тех же усилиях со стороны остальных членов коллектива осуществил собственные усилия в большем объеме: $\sigma^L > \sigma^F(n-1)$. В результате такого изменения объема усилий агент не получает максимального выигрыша.

Обратимся к вопросу о размерах суммарного выигрыша в этих двух исходах. Выбирая размер своих усилий, последователь ограничивает их объем условием равенства предельного индивидуального дохода величине предельных издержек. При таком выборе, в силу того что величина предельного совокупного дохода в n раз (соответственно доле агента в доходе) превышает величину предельного индивидуального дохода, дополнительные усилия приводят к росту суммарного выигрыша. Поскольку во второй альтернативе один из агентов (единственный последователь) осуществил усилия в меньшем размере, чем остальные агенты, приложившие равные усилия в обеих альтернативах, то суммарный выигрыш в первой альтернативе выше, чем во второй.

Таким образом, единственный последователь получает наибольший выигрыш благодаря активным агентам, усилия которых выше, а выигрыш, соответственно, ниже, чем у него. Если обратиться к рассмотрению гипотетической ситуации последовательного роста числа активных агентов, то на каждом шаге роста m при прочих равных условиях коллектив переходит к исходу с более высоким суммарным выигрышем. Последний шаг — возрастание числа активных агентов от $n-1$ до n , также влечет за собой рост суммарного выигрыша и при этом приводит к снижению выигрыша единственного бывшего последователя. Эта перспектива снижения выигрыша является еще одним аргументом в пользу выбора агентом стратегии выжидания.

Эти два исхода, в одном из которых все члены коллектива, а в другом — все, кроме одного, проявляют активность в первом интервале времени, являются эффективными по Парето и не сравнимыми между собой. Кроме этих двух исходов, эффективными по Парето могут быть и другие. Необходимым и достаточным условием для того, чтобы исход с $m = j$ был эффективным по Парето, является выполнение неравенства:

$$U^F(j) > U^L(n), \quad 0 \leq j \leq n-1. \quad (18)$$

Соответственно, исход с $m = j$ доминирует по Парето над исходом с $m = i$ при выполнении неравенства

$$U^F(i) \leq U^L(j), \quad 0 \leq i < j. \quad (19)$$

Если неравенство (19) выполняется для некоторого значения $i > 1$, то исход с $m = j$ оказывается доминирующим над любым исходом с числом активных агентов $m \leq i$.

Неравенства $U^N = U^F(0) < U^L(1)$ и $U^F(n-1) > U^L(n)$, наряду со свойством монотонного с ростом m увеличения выигрышей активных агентов и последователей, позволяют предположить, что существует такое натуральное число $k \leq n-1$, для которого выполняются условия: $U^F(k-1) \leq U^L(k)$ и $U^F(k) \geq U^L(k+1)$. Так как любой исход с числом активных агентов $m \geq k$ является доминирующим по Парето над исходом с $m < k$, то агенту выгоднее осуществить усилия в первом периоде, чем во втором, если число активных агентов, проявивших активность в первом периоде, не превышает $k-1$. Если $k > 1$, то агент, выбирающий роль лидера из соображений осторожности (т.е. из пессимистических ожиданий или стремления избежать риска), получает дополнительную мотивацию проявлять активность в первом периоде. Как следствие, при $k > 1$ снижается вероятность того, что лидерство не сформируется, и реализуется неэффективное равновесие Нэша.

Если задаться вопросом о личностных характеристиках единственного последователя, т.е. последователя в игре с $m = n-1$, можно указать свойства, которые ему не присущи. Во-первых, он не может быть альтруистом, так как его альтруизма недостаточно для того, чтобы пожертвовать своей возможностью получить выигрыш последователя, превышающий выигрыш лидера по Штакельбергу, ради устранения угрозы попадания коллектива в равновесие Нэша. Во-вторых, он оптимистичен в своей оценке вероятности существования в коллективе по крайней мере одного агента, предпочитающего максимум гарантированного выигрыша. В-третьих, он не боится риска, можно сказать, что он относится к тем индивидам, для которых журавль в небе предпочтительней синицы в руке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В отличие от равновесия Нэша, которое в рассматриваемой модели может быть только одно, число равновесных по Штакельбергу исходов совпадает с числом членов коллектива. Причем при лидерстве любого из них выигрыш каждого агента в равновесии Штакельберга выше, чем в равновесии Нэша. Главная причина такого увеличения размера выигрышей заключается в комплементарности усилий всех членов коллектива. В нашем случае она выражается в положительном влиянии роста усилий каждого агента на эффективность усилий любого другого агента. Именно комплементарность усилий и получение достоверной информации о размере усилий, уже приложенных активным агентом, побуждает каждого агента-последователя в целях получения максимального выигрыша также осуществить свои усилия в размере, превышающем тот, при котором достигается равновесный по Нэшу исход.

Соответственно, каждый член коллектива заинтересован в существовании активного агента, который готов взять на себя роль лидера. В (Скаржинская, Цуриков, 2021б) было показано, что в общем случае не все члены коллектива одинаково эффективны в роли лидера по Штакельбергу. Если в коллективе имеется особенный агент, т.е. агент, лидерство которого обеспечивает всем членам коллектива (в том числе и ему самому) наибольший выигрыш в равновесии Штакельберга, то проблемы лидерства не возникает. Если же такого агента в коллективе нет, оказывается, что любому члену коллектива выгодней быть последователем, чем лидером, что и создает проблему эндогенного формирования лидерства по Штакельбергу.

Предложенное здесь решение этой проблемы основано на предположении, что среди членов коллектива имеются агенты, предпочитающие выигрыш лидера (в силу своих психологических качеств) риску оказаться в неэффективном равновесии Нэша, несмотря на то что он ниже выигрыша последователя. Эти агенты могут быть противниками риска или быть склонными к альтруизму или пессимистическим ожиданиям. Каждый такой агент выбирает стратегию максимина, проявляет активность в первом периоде игры временных действий (*timing decisions*) и осуществляет усилия в объеме лидера по Штакельбергу, так как, предполагая худший для себя вариант, исходит из соображения, что никто, кроме него, активность не проявит.

Если в коллективе нет особенного агента и найдется только один агент, предпочитающий стратегию максимина, то коллектив достигнет равновесия Штакельберга. Если таких агентов окажется несколько,

то при отсутствии координации действий между ними³ каждый из них, реализуя свое стремление к максимуму гарантированного выигрыша, выберет объем усилий в размере усилий лидера по Штакельбергу. В рамках предложенной здесь модели оказывается, что и активным агентам, и последователям выгодно, чтобы активных агентов было как можно больше. Так как каждому агенту выгодней быть последователем, чем активным агентом, то число агентов, предпочитающих стратегию максимина, будет больше в том случае, когда сохраняется неопределенность относительно их числа. Поэтому любой активный агент заинтересован в том, чтобы информация, что он выбрал стратегию максимина, не получила распространения до конца первого периода.

Так как размер усилий, произведенных каждым агентом в роли лидера по Штакельбергу, превышает размер его усилий в роли последователя, выигрыш активного агента растет по мере увеличения числа таких агентов и достигает максимума в случае, когда активными являются все члены коллектива. Но данный исход не является равновесным по подыграм, так как любому активному агенту выгоднее роль последователя, если все его партнеры выбрали роль лидера. Выигрыш единственного последователя принимает наибольшее значение из возможных выигрышей всех членов коллектива.

Для определения исходов игры, эффективных по Парето, принципиальное значение имеет такое число активных агентов, при котором каждому из них не выгодно отказываться от роли лидера. Оказывается, что если это число выше единицы, то расширяется множество эффективных по Парето исходов и усиливается мотивация агентов проявлять активность в первом периоде, и, как следствие, — становится менее вероятным попадание коллектива в неэффективное равновесие Нэша.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Алгазин Г.И., Алгазина Д.Г. (2017). Коллективное поведение в модели Штакельберга в условиях неполной информации // *Автоматика и телемеханика*. № 7. С. 91–105. [Algazin G.I., Algazina D.G. (2017). Collective behavior in the Stackelberg model under incomplete information. *Automation and Remote Control*, 9, 1619–1630 (in Russian).]
- Алгазин Г.И., Алгазина Д.Г. (2020). Процессы рефлексии и равновесие в модели олигополии с лидером // *Автоматика и телемеханика*. № 7. С. 113–128. [Algazin G.I., Algazina D.G. (2020). Reflection processes and equilibrium in an oligopoly model with a leader. *Automation and Remote Control*, 7, 1258–1270 (in Russian).]
- Гераськин М.И. (2020). Приближенное вычисление равновесий в нелинейной модели олигополии Штакельберга на основе линеаризации // *Автоматика и телемеханика*. № 9. С. 120–143. [Geraskin M.I. (2020). Approximate calculation of equilibria in the nonlinear Stackelberg oligopoly model: A linearization based approach. *Automation and Remote Control*, 9, 1659–1678 (in Russian).]
- Горелов М.А. (2019). Модель управления ограничениями деятельности // *Проблемы управления*. № 4. С. 43–49. [Gorelov M.A. (2019). A model of managing business constraints. *Management Problems*, 4, 43–49 (in Russian).]
- Губко М.В., Новиков Д.А. (2005). Теория игр в управлении организационными системами. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 138 с. [Gubko M.V., Novikov D.A. (2005). *Game theory in the management of organizational systems*. Moscow: V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems, RAS (in Russian).]
- Зак Ф.Л. (2021). О некоторых моделях альтруистического поведения // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 1 (49). С. 12–52. [Zak F.L. (2021). On some models of altruistic behavior. *Journal of the New Economic Association*, 1 (49), 12–52 (in Russian).]
- Новиков Д.А. (2008). Математические модели формирования и функционирования команд. М.: Физматлит. 184 с. [Novikov D.A. (2008). *Mathematical models of the formation and functioning of teams*. Moscow: Fizmatlit (in Russian).]
- Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. (2013). Рефлексия и управление: математические модели. М.: Физматлит. 412 с. [Novikov D.A., Chkhartishvili A.G. (2013). *Reflection and control: Mathematical models*. Moscow: Fizmatlit (in Russian).]
- Скаржинская Е.М., Цуриков В.И. (2017а). Модель коллективных действий. Часть 1. Равновесие, справедливость, эффективность // *Экономика и математические методы*. № 2. С. 118–133. [Skarzhinskaya E.M., Tsurikov V.I. (2017a). Model of collective action. Part 1: Equilibrium, justice, efficiency. *Economics and Mathematical Methods*, 53, 2, 118–133 (in Russian).]
- Скаржинская Е.М., Цуриков В.И. (2017б). Модель коллективных действий. Часть 2. Лидирующая коалиция // *Экономика и математические методы*. № 4. С. 89–104. [Skarzhinskaya E.M., Tsurikov V.I. (2017b). Model of collective action. Part 2: The leading coalition. *Economics and Mathematical Methods*, 53, 4, 89–104 (in Russian).]
- Скаржинская Е.М., Цуриков В.И. (2019). Моделирование коллективных действий: значимость кооперативных соглашений // *Российский журнал менеджмента*. № 3. С. 337–366. [Skarzhinskaya E.M., Tsurikov V.I. (2019).]

³ Различные случаи координации действий между отдельными членами коллектива рассмотрены нами в работах (Скаржинская, Цуриков, 2017а, 2017б, 2021а).

- Modelling of collective actions: The significance of cooperative agreements. *Russian Management Journal*, 17, 3, 337–366 (in Russian).]
- Скаржинская Е.М., Цуриков В.И.** (2021a). Эндогенное формирование в команде лидерства по Штакельбергу. Эффект образования коалиции // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 1 (49). С. 53–79. [Skarzhinskaya E.M., Tsurikov V.I. (2021a). Endogenous Stackelberg leadership within a team. The coalition effect. *Journal of the New Economic Association*, 1 (49), 53–79 (in Russian).]
- Скаржинская Е.М., Цуриков В.И.** (2021b). Лидер по Штакельбергу в модели коллективных действий // *Экономика и математические методы*. № 4. С. 117–128. [Skarzhinskaya E.M., Tsurikov V.I. (2021b). Stackelberg leader in a collective action model. *Economics and Mathematical Methods*, 57, 4, 117–128 (in Russian).]
- Anderson S., Engers M.** (1992). Stackelberg versus Cournot oligopoly equilibrium. *International Journal of Industrial Organization*, 1, 127–135.
- Arbak E., Villeval V.** (2013). Voluntary leadership: Motivation and influence. *Social Choice and Welfare*, 3, 635–662.
- Hamilton J., Slutsky S.** (1990). Endogenous timing in duopoly games: Stackelberg or Cournot equilibria. *Games and Economic Behavior*, 2, 29–46.
- Ino H., Matsumura T.** (2012). How many firms should be leaders? Beneficial concentrations revisited. *International Economic Review*, 4, 1323–1340.
- Julien L.** (2018). Stackelberg games. *Handbook of Game Theory and Industrial Organization*, 1, 10, 261–311.
- Kim J.** (2012). Endogenous leadership in incentive contracts. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 1, 256–266.
- Linster B.** (1993). Stackelberg rent-seeking. *Public Choice*, 2, 307–321.
- Préget R., Nguyen-Van P., Willinger M.** (2016). Who are the voluntary leaders? Experimental evidence from a sequential contribution game. *Theory and Decision*, 4, 581–599.
- Stackelberg H.** (1934). *Marktform und Gleichgewicht*. Wien, Berlin: J. Springer.

The influence of the agents' personal qualities on the exogenous formation of Stackelberg leadership in a collective action model

© 2022 E.M. Skarzhinskaya, V.I. Tsurikov

E.M. Skarzhinskaya,

Kostroma State University, Kostroma, Russia; e-mail: yelena.skarzhinsky@gmail.com

V.I. Tsurikov,

Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russia; e-mail: tsurikov@inbox.ru

Received 18.05.2022

Abstract. Within a mathematical modelling framework, we analyse conditions that prevent a self-governed collective from breaking out of an inefficient Nash equilibrium and attaining Pareto-preferable outcomes. It is assumed that by each member's individual efforts aggregate income is created being equally distributed among members of a collective. Effort invested by each agent is complementary, i.e. increased effort by any individual agent increases marginal income produced by any other agent. Each agent's goal is to maximize their own individual gain. We propose a model built for the collective income function with constant income elasticity per each agent's effort that abides to the condition of decreasing returns. All members of the collective wield identical influence on the size of the income. Within a timing decisions mechanism, each member of the collective faces the dilemma: whether to deploy an active strategy i.e., put in their effort during the first time period, or opt for a follower's strategic timing and invest their effort during the second time period. The follower's strategy yields greater gains, but only when some other agents choose the active strategy. In the event that not a single active agent appears, the entire collective falls into the trap of inefficient Nash equilibrium. We show that as the number of active agents grows, cumulate gains increase for all members of the collective. Maximum gains obtainable by a follower exceed the highest gain of an active agent, and are received only if the follower is the last agent remaining. It follows, therefore, that this maximum winner must be a risk-taking, egotistic optimist.

Keywords: collective action, Stackelberg leader, followers, Nash equilibrium, Pareto-preferable outcome, Pareto efficiency.

JEL Classification: C02, D23.

For reference: **Skarzhinskaya E.M., Tsurikov V.I.** (2022). The influence of the agents' personal qualities on the exogenous formation of Stackelberg leadership in a collective action model. *Economics and Mathematical Methods*, 58, 4, 113–122. DOI: 10.31857/S042473880023021-2

В.М. Полтеровичу — 85



27 декабря 2022 г. исполняется 85 лет нашему постоянному автору и члену Редколлегии, выдающемуся ученому — Виктору Мееровичу Полтеровичу.

Виктор Меерович родился в Москве. Первое высшее образование он получил в МИНХ и ГП им. Губкина по специальности «Автоматизация производственных процессов» (1962 г.), а в 1966 г. с отличием окончил вечернее отделение механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «Математика». Параллельно с учебой в МГУ Виктор Меерович работал во ВНИИ комплексной автоматизации нефтяной и газовой промышленности (1962–1966). После окончания МГУ он перешел на работу в ЦЭМИ, где прошел путь от старшего научного сотрудника до заведующего лабораторией математической экономики, руководителя научного направления «Математическая экономика». В 1971 г. Виктор Меерович стал кандидатом физико-математических наук, в 1991 г. — доктором экономических наук; в 2000 г. был избран членом-корреспондентом Российской академии наук, а в 2003 г. стал академиком РАН (Отделение общественных наук).

С 2004 по 2010 г. Виктор Меерович являлся проректором Российской экономической школы, работал приглашенным профессором в Пенсильванском университете. В настоящее время Виктор Меерович является заместителем директора Московской школы экономики МГУ, где читает курсы лекций «Теория экономических реформ», «Экономика общественного сектора II», «Современный математический инструментарий экономического анализа», «Экономическая теория».

Виктор Меерович — член Эконометрического общества (1989 г.) и Европейской академии (1992 г.); член редколлегии журналов «Journal of Mathematical Economics», «Вестник Российской академии наук» и «Общественные науки и современность», «Экономика и математические методы». Виктор Меерович входил в редколлегию журнала «Econometrica» (1989–1995 гг.), являлся членом исполкома Международной экономической ассоциации, избирался членом правления (2000–2004 гг.) Глобальной сети развития (Global Development Network). С 2010 г. Виктор Меерович входит в Комитет по политике развития Организации Объединенных Наций, является почетным президентом Новой экономической ассоциации и главным редактором «Журнала Новой экономической ассоциации».

В.М. Полтерович входит в состав ученых советов ряда ведущих исследовательских и образовательных учреждений, включая ЦЭМИ РАН, МШЭ МГУ, НИУ ВШЭ. Виктор Меерович — член международных комитетов советников РЭШ, EERC и Экономического факультета Европейского университета в Санкт-Петербурге.

В.М. Полтерович — лауреат премий Кондратьева (1992 г.) и Канторовича (1998 г.). Приказом Минобрнауки РФ от 7 июня 2021 г. В.М. Полтеровичу присвоено звание «Почетный работник науки и высоких технологий РФ».

Круг научных интересов В.М. Полтеровича очень широк. К основным научным направлениям его исследовательской деятельности относятся: математическая экономика, экономическое развитие и рост, институциональная экономика. Виктор Меерович — автор работ по теории экономического равновесия, теории реформ, институциональной экономике, экономической динамике, теории переходных экономик, теории экономического роста, экономике природных ресурсов и теории неравновесия.

Научные результаты Виктора Мееровича получили мировое признание. Наиболее значимые из них — синтез классических теорий экономического равновесия и оптимального роста; теория неравновесия, объяснившая ряд особенностей плановых систем; дифференциально-разностный аналог уравнения Бюргерса для описания отраслевой динамики (совместно с Г.М. Хенкиным); теория институциональных ловушек; первое систематическое изложение теории экономических реформ; теория трансплантации институтов; гипотеза об инновационной паузе, объясняющая кризис 2007 г.

Виктор Меерович активно участвует в научно-организационной деятельности. В 2009 г. вместе с группой единомышленников он организовал Новую экономическую ассоциацию. В ее рамках проводятся различные научные дебаты, круглые столы и конференции. Продолжением этого проекта стал «Журнал Новой экономической ассоциации» (основан в 2009 г.).

Юбиляр внес значительный вклад в объединение двух крупнейших разделов математической экономики — классической теории экономического равновесия и теории оптимального экономического роста. В.М. Полтерович создал новое направление в экономике, в рамках которого нашли объяснение факты дифференциации ставок налога с оборота и отраслевых норм эффективности, предложил методы количественной оценки приоритетности отраслей и интенсивности дефицита ресурсов.

Виктор Меерович сформулировал и исследовал модель смешанной экономики, совмещающей плановые и рыночные механизмы распределения благ, послужившую основой для разработки ряда предложений о путях постепенного перехода к рынку, направленных в правительственные органы. Совместно с д.ф.-м.н. Г.М. Хенкиным Виктор Меерович предложил и детально изучил принципиально новую модель экономического роста.

На фоне индивидуалистических установок, оборачивающихся конфликтами на разных уровнях, особую значимость обретает развиваемая Виктором Мееровичем концепция коллаборативной организации общественной жизни, производственной и научной деятельности.

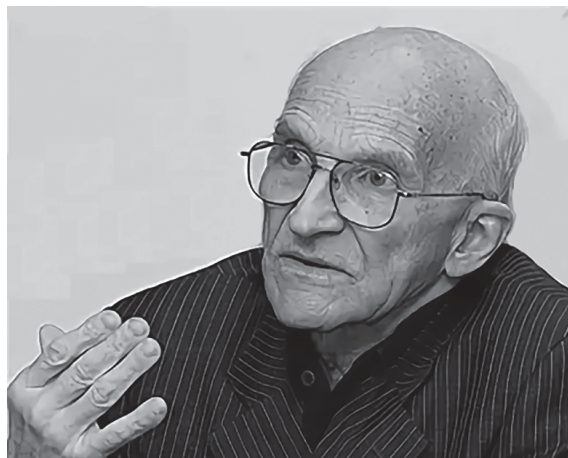
Виктор Меерович — автор более 300 научных публикаций. Для нашего журнала В.М. Полтерович писал статьи, начиная с 1970 г. В журнале «Экономика и математические методы» были опубликованы такие его работы, как «Об одной модели перераспределения ресурсов» (1970), «Институциональные ловушки и экономические реформы» (1999), «Стратегии институциональных реформ. Перспективные траектории» (2006), «Стратегии институциональных реформ. Китай и Россия» (2006), «Концентрация доходов, нестабильность демократии и экономический рост» (совместно с В. Поповым и А. Тонисом, 2009), «Проблема формирования национальной инновационной системы» (2009), «Факторы коррупции» (2017) и др.

Виктора Мееровича отличают подлинная интеллигентность, доброта, мудрость и обаяние, тонкое чувство юмора и образность мышления. Особого упоминания заслуживает заботливое отношение Виктора Мееровича к своим ученикам, студентам, аспирантам и сотрудникам.

Виктор Меерович является лучшим образцом того, какими качествами должен обладать настоящий ученый. Олицетворением высокой духовности, научной и гражданской честности, человеческой порядочности. Быть в числе его соратников — большая честь для любого ученого.

Дорогой Виктор Меерович! Желаем Вам долгих лет жизни, плодотворной работы и новых творческих свершений!

В.А. Волконскому — 90



Профессор Виктор Александрович ВОЛКОНСКИЙ родился в г. Москве. В 1955 г. он с отличием окончил механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «математика». С 1955 по 1958 г. учился в аспирантуре при МГУ. Затем до 1960 г. работал во ВНИИ Комитета стандартов, мер и измерительных приборов.

В 1960 г. защитил кандидатскую диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. И в тот же год он перешел работать в лабораторию «Экономико-математические методы АН СССР» академика В.С. Немчинова. Виктор Александрович стал одним из первых специалистов-математиков, пришедших в экономическую науку. В 1963 г., после образования ЦЭМИ АН СССР на базе лаборатории Немчинова, Виктор Александрович стал заведующим лабораторией «Модели согласования экономических интересов хозяйственных объектов» ЦЭМИ и оставался им до 1989 г.

В 1967 г. В.А. Волконский защитил диссертацию на тему «Проблемы оптимального планирования» на соискание ученой степени доктора экономических наук, а в 1971 г. ему присвоено ученое звание профессора.

В годы работы в ЦЭМИ АН СССР областью научных интересов В.А. Волконского являлись математическое моделирование экономических процессов и разработка теории оптимального планирования и механизма управления народным хозяйством.

В первые десятилетия научной карьеры в центре внимания В.А. Волконского находились проблемы математического анализа экономики, оптимизации планирования народного хозяйства как на макроэкономическом, так и на отраслевом уровнях. В этот период он опубликовал ряд монографий (в том числе в соавторстве): «Модель оптимального планирования и взаимосвязи экономических показателей» (М.: «Наука», 1967 г.); «Оптимальный план отрасли» (М.: «Экономика», 1970 г., в соавторстве); «Принципы оптимального планирования» (М.: «Экономика», 1972 г.); «Система моделей оптимального планирования» (М.: «Наука», 1975 г., в соавторстве); «Проблемы совершенствования хозяйственного механизма» (М.: «Наука», 1981 г.).

С 1989 г. по настоящее время В.А. Волконский работает в Институте народно-хозяйственного прогнозирования (ИНП РАН) в должности заведующего лабораторией, а с 1998 г. — главным научным сотрудником. В этот период он занимается институциональными проблемами российской экономики; ценовыми и финансовыми проблемами топливно-энергетического комплекса, развития мирового хозяйства в современных условиях и способами оценки природной ренты.

В.А. Волконский активно изучал проблемы и механизмы развития народного хозяйства, активно участвовал в разработке программ реформирования отечественной экономики при ее переходе

к рынку, исследованиях процессов становления рыночных институтов в России и проблем инфляции и развития денежно-кредитной системы.

Широта научных интересов В.А. Волконского проявляется в разнообразии фундаментальных научных задач, в изучение которых он внес существенный вклад. По результатам исследований В.А. Волконский опубликовал монографии (в том числе в соавторстве): «Драма духовной истории: внеэкономические основания экономического кризиса» (М.: Наука, 2002 г.); «Природная рента в экономике России» (М.: ИНЭС, 2004 г.); «Современная многоярусная экономика и экономическая теория» (М.: ИНЭС, 2006 г.); «Ценовые и финансовые проблемы топливно-энергетического комплекса» (М.: Наука, 2008 г.).

Отрадно отметить, что, вступая в новое десятилетие своей научной карьеры, Виктор Александрович продолжает активные научные исследования, тематика которых находится на острие текущих изменений в мире и в России и охватывает не только экономические, но также исторические и духовно-идеологические вопросы. В последние годы он проводил глубокое изучение геополитических и геостратегических аспектов мирового развития, разработал концептуальные основы и подходы к изучению экономики многополярного мира, глобальных социально-экономических и общественных изменений в условиях активной трансформации мирового хозяйства первой четверти XXI в. В это время он написал три крупные монографии: «Многополярный мир. Идеология и экономика» (М.: Книжный мир, 2015 г.); «XXI век. Многополярный мир. Тренды и задачи истории» (М.: Книжный мир, 2017 г.); «Смысловые установки и роль государства в эпоху многополярного мира» (М.: Книжный мир, 2021 г.).

В 1963 г. на базе лаборатории Немчинова был образован ЦЭМИ АН СССР и Виктор Александрович стал заведующим лабораторией «Модели согласования экономических интересов хозяйственных объектов» ЦЭМИ и оставался им до 1989 г. С 1989 г. по настоящее время В.А. Волконский работает в Институте народно-хозяйственного прогнозирования (ИНП РАН). Фундаментальное образование и работа в ведущих экономических научно-исследовательских институтах страны определила богатый результатами и достижениями путь юбиляра. Заслуги профессора В.А. Волконского высоко оценило научное сообщество. Виктор Александрович является лауреатом премии Международного научного фонда экономических исследований Н.П. Федоренко (2003 г.) в номинации «За выдающийся вклад в развитие экономической науки России».

В.А. Волконский — автор более 200 статей и монографий. Особенно хотелось бы отметить следующие его работы: «Драма духовной истории: внеэкономические основания экономического кризиса» (М.: Наука, 2002); «Природная рента в экономике России» (коллектив авторов; М.: ИНЭС, 2004); «Современная многоярусная экономика и экономическая теория» (в соавторстве с Т.И. Корягиной; М.: Институт экономических стратегий, 2006); «Ценовые и финансовые проблемы топливно-энергетического комплекса» (в соавторстве с А.И. Кузовкиным; М.: Наука, 2008); «Смысл жизни и история» (коллектив авторов; М., Казань: Алтай-ТАУ, 2008); «На уроке у финансового кризиса: задание на третье тысячелетие» (коллектив авторов, 2009).

В.А. Волконский периодически участвует в работе ученых советов и научных семинаров ряда научных институтов Отделения общественных наук РАН, выступает с оригинальными докладами, посвященными важным проблемам современной России и мировой экономики. Являясь членом Диссертационного совета ЦЭМИ РАН, Виктор Александрович всегда занимает активную позицию, четко формулируя свое понимание обсуждаемых проблем. Среди коллег и друзей Виктор Александрович пользуется большим авторитетом и уважением.

Редколлегия журнала сердечно поздравляет Виктора Александровича с юбилеем и желает ему здоровья и новых творческих успехов.

СОДЕРЖАНИЕ ЗА 2022 ГОД (ТОМ 58)

	№	Стр.
Теоретические и методологические проблемы		
Makarov V. L., Bakhtizin A. R., Epstein J. M. Agent-based modeling for a complex world. Part 1	1	5
Makarov V. L., Bakhtizin A. R., Epstein J. M. Agent-based modeling for a complex world. Part 2	2	7
Данилов В.И. К теории общего экономического равновесия	3	19
Егорова Н.Е., Горлов А.В. Исследование зависимости между уровнями общественного доверия и коррупции: топологическая модель и статистические методы	4	17
Клейнер Г.Б. Универсальная система факторов производства	2	22
Козырь Ю.В. Феномен ликвидности: суть, критерии, свойства и влияние на рыночную и инвестиционную стоимость активов	1	48
Микитчук М.Д. Факторы формирования альтруистического поведения	3	28
Некипелов А.Д. О пространственном измерении общего равновесия	3	5
Рудаков И.О., Устюжанина Е.В. Тенденции изменения содержания труда на разных этапах исторического развития	4	5
Скрыпник Д.В. Развитие экономического моделирования. Эконометрический аспект	2	32
Торопцев Е.Л., Мараховский А.С. Структурные инерционности экономических систем	1	38
Устюжанина Е.В. Сетевая экономика как социально-экономическая модель	1	27
Чанлинь Юй. Обзор подходов к трактовке «проблемы Джозефа Нидхэма»	2	43
Народнохозяйственные проблемы		
Алейникова Н.А., Матвеев М.Г. Цифровая технология организации централизованных закупок	1	70
Афанасьев М.Ю., Ильин Н.И. Новые ориентиры для выбора приоритетных направлений диверсификации экономики на базе системы ситуационных центров	4	29
Зойдов К.Х., Зиядуллаев Н.С., Медков А.А. Эволюция евроазиатских отношений в духе Великого шелкового пути: обзор научных материалов	1	61
Монгуш Б.С., Богданов А.И., Чупикова С.А. Логистический подход к организации этно-экономических промышленных кластеров (на примере Республики Тыва)	2	54
Прокопьев М.Г. Влияние внешнеторговой политики на продовольственную независимость по отдельным товарным группам: методические аспекты	4	45
Сластников А.Д. О некоторых парадоксальных эффектах механизма налоговых каникул	3	45
Региональные проблемы		
Гаврилец Ю.Н., Кудров В.А., Тараканова И.В. Статистический анализ и моделирование взаимосвязи региональной экономики и науки	4	56
Дудин М.Н., Шкодинский С.В., Усманов Д.И. Элементы корреляционного анализа в оценке цифрового неравенства отдельных регионов России	1	92
Шаталова О.М., Касаткина Е.В., Лившиц В.Н. Кластерный анализ и классификация промышленно ориентированных регионов РФ по экономической специализации	1	80
Шевченко Е.С. Оценка влияния демографических факторов на уровень инфляции в регионах России	4	71
Отраслевые проблемы		
Глазырина И.П., Лавлинский С.М., Яковлева Л.Л. Эколого-экономические модели в минерально-сырьевом секторе России: формирование инвестиционной политики на основе государственно-частного партнерства	3	57
Комарова И.П. Понятие и типы сетевого капитала (на примере авиастроения)	1	104
Косякина А.И. Анализ факторов банкротства российских застройщиков	4	
Красавцева А.Р., Городецкий А.Е. Логико-лингвистический метод оценки риска специализированного кредитования (на примере проектного финансирования)	4	83
Проблемы предприятий		
Пресняков В.Ф. Параметры и показатели мониторинга состояния предприятия	3	70

Шориков А.Ф. Методика оптимизации адаптивного управления выпуском продукции предприятия на основе динамической экономико-математической модели	4	102
---	---	-----

Математический анализ экономических моделей

Karmalita V.A. Predicting the trajectory of economic cycles	2	92
Kulikov A.V., Malykh N.O., Postevoy I.S. Calculation of the convexity adjustment to the forward rate in the Vasicek model for the forward exotic contracts	3	115
Акиншин А.А., Кузнецова О.И., Хачатрян Н.К., Борисова С.В. Агент-ориентированная модель «Интеллектуальная Россия»: конструкция модели и анализ начальной популяции	3	79
Кармалита В.А. Адаптация стохастической модели экономических циклов к эмпирическим данным	1	131
Коваленко А.Г., Злотов А.В. Математическое моделирование многопродуктового рассредоточенного рынка в системе мирового хозяйства	3	102
Кораблев Ю.А. Определение параметров процесса образования редких событий в экономике для их последующего прогнозирования	2	80
Лесик И.А., Перевозчиков А.Г. Статическая модель рынка разработки программного обеспечения на основе транспортной задачи с нефиксированными добавками по времени	2	97
Лесик И.А., Перевозчиков А.Г. Статическая модель рынка разработки программного обеспечения на основе транспортной задачи с квадратичными добавками по стоимости	3	94
Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В. Агентное моделирование социально-экономических последствий миграции при государственном регулировании занятости	1	113
Машкова А.Л., Духи Н., Каур Р., Неволин И.В. Прогнозирование динамики распространения анемии в регионах России на базе агент-ориентированной модели	2	64
Скаржинская Е.М., Цуриков В.И. Влияние личностных качеств агентов на экзогенное формирование лидерства по Штакельбергу в модели коллективных действий	4	113

Методы оптимизации

Добровольский В.М., Голембиовский Д.Ю. Оптимизация портфеля облигаций федерального займа и сделок РЕПО	3	129
Смоляк С.А. Доходный подход к задачам оптимизации ремонтной политики	2	112
Научная жизнь		
Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бурилина М.А., Хлунова Е.А. Шестая встреча Рабочей группы БРИКС по ИКТ и высокопроизводительным вычислительным системам	3	142

* * *

Академику В.Л. Макарову — 85	2	5
В.А. Волконскому — 90	4	125
М.Д. Ильменскому — 85	2	125
В.М. Полтеровичу — 85	4	123
Э.Ф. Баранов	1	143
В.Г. Гребенников	1	140
Ю.Е. Сцепинский	2	127



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АКАДЕМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ГУМАНИТАРНЫХ НАУК

НА БАЗЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
с 1994 года



Преподаватели – ведущие российские ученые

- более 30% – доктора наук
- более 45% – кандидаты наук



Стажировки в:

- ведущих научно-исследовательских организациях
- органах государственной власти
- крупнейших общественных организациях
- бизнес-структурах



Интеграция науки
и образования



Бюджетные
места



Насыщенная
студенческая жизнь



Отсрочка от армии

БАКАЛАВРИАТ

МАГИСТРАТУРА

АСПИРАНТУРА

НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ:

• История •

• Философия •

• Политология •

• Социология •

• Международные отношения •

• Зарубежное регионоведение •

• Востоковедение и африканистика •

• Психология •

• Культурология •

• Археология •

• Менеджмент •

• Юриспруденция •

• Экономика •

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ



Горячая линия: +7 (499) 238-04-12



facebook.com/gaugn



instagram.com/gaugn_/_



vk.com/gaugn



gaugn.ru



E-mail: info@gaugn.ru



Лицензия 90Л01 № 0009385 регистр. № 2323 от 9 августа 2016 г.
Свидетельство о государственной аккредитации № 3207 от 24 июля 2019 г.



ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

НА БАЗЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЭКОНОМИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА РАН



БАКАЛАВРИАТ

Экономика
Экономическая логистика
Менеджмент организации
Менеджмент в СМИ и рекламе



МАГИСТРАТУРА

Экономика и управление наукой,
технологиями и инновациями
Общий и стратегический
менеджмент



АСПИРАНТУРА

Экономика

ЦЭМИ РАН — крупнейший центр отечественной и мировой экономической науки, собравший под своей эгидой целое созвездие блестящих ученых с мировыми именами. Теоретические дисциплины преподают ведущие ученые, а практические занятия — специалисты бизнес-школ и консультанты по управлению, маркетингу и финансам.

Студенты факультета с первых дней могут проходить стажировки в ведущих научных институтах, принимать участие в различных проектах, международных симпозиумах и конференциях.

Выпускники факультета получают фундаментальную экономическую подготовку, умение квалифицированно разбираться во всех разделах и современных течениях экономической и управленческой науки, что дает им дополнительные преимущества для трудоустройства в органах государственного управления, коммерческих и консалтинговых компаниях, исследовательских центрах, рекламных и информационных агентствах, а также в сфере науки и высшего образования.

5 ПРИЧИН ПОСТУПИТЬ В ГАУГН



ВЫДАЮЩИЕСЯ ПРЕПОДАВАТЕЛИ

Ученые из научно-исследовательских институтов РАН, включая академиков, членов-корреспондентов, докторов и кандидатов наук.



ВОСТРЕБОВАННОСТЬ ВЫПУСКНИКОВ

Выпускники востребованы на рынке труда. Контакты с будущими работодателями устанавливаются во время практики.



МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Некоторые лекции читают приглашенные специалисты из других стран. Большое внимание уделяется языковой подготовке.



УДОБСТВО

Факультеты находятся в Москве в непосредственной близости от метро. Обучение в магистратуре и аспирантуре в основном проходит в вечернее время. Подать документы можно онлайн.



СТУДЕНЧЕСКАЯ ЖИЗНЬ

Студенты ГАУГН могут участвовать в многочисленных студенческих клубах [«Что? Где? Когда?», Клуб политического анализа, Китайский разговорный клуб и др.].