

Российская академия наук

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Том 57 № 1 2021

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.Л. Макаров

Редакционная коллегия:

А.А. Афанасьев, С.А. Афонцев, А.Р. Бахтизин (зам. главн. ред.),
В.А. Волконский, Н.А. Волчкова, Ю.Н. Гаврилец, В.Г. Гребенников,
В.Е. Дементьев (зам. главн. ред.), 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.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 57, номер 1, 2021

Теоретические и методологические проблемы

- Устюжанина Е.В., Дементьев В.Е., Евсюков С.Г.** Транзакционные цифровые платформы: задача обеспечения эффективности 5
- Рамазанов Р.Р.** Агентное моделирование в исследовании и прогнозировании социально-экономических систем и процессов 19
- Драпкин И.М., Чукавина К.В., Грозных Р.И.** Влияние институциональных факторов на межстрановые потоки прямых иностранных инвестиций 33
- Варганов С.А.** Использование модели трехстороннего рынка в стратегировании медиаиндустрии 43

Народнохозяйственные проблемы

- Лунев Г.Г., Тарасова И.А.** Оценка экономической эффективности направлений развития отрасли по переработке вторичных строительных ресурсов 53
- Зиядуллаев Н.С., Тулупов А.С., Зиядуллаев У.С.** Оценка вклада банковского сектора в обеспечение экономической безопасности 63

Проблемы предприятий

- Письменная А.Б., Анфиногентов В.Г.** Организационная эффективность в условиях неопределенности внешней среды: количественный анализ 74

Математический анализ экономических моделей

- Хачатрян Н.К., Бекларян Л.А.** Исследование динамики потока в модели организации грузоперевозок по круговой цепочке станций 83
- Гаврилец Ю.Н., Тараканова И.В.** Модель изменения индивидуальных мнений в группе под влиянием межличностных контактов и внешних факторов 92
- Матвеев М.Г.** Информационные технологии формирования предложения на электронной торговой площадке с технологией «маркетплейс» 105
- Пивницкая Н.А., Теплова Т.В.** DCC-GARCH-модель для выявления долгосрочного и краткосрочного эффектов финансового заражения в ответ на обновление кредитного рейтинга 113

* * *

- В.Н. Лившицу** — 90 124

- М.Я. Лемешев** 125

- Пилясов А.Н.** Одна встреча — и на всю жизнь (памяти М.Я. Лемешева) 128
-
-

Russian Academy of Sciences

ECONOMICS AND MATHEMATICAL METHODS

VOLUME 57 No. 1 2021

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.L. Makarov

Editorial Board:

Afanasiev A.A., Afontsev S.A., Bakhtizin A.R. (Deputy Editor-in-Chief),
Dementiev V.E. (Deputy Editor-in-Chief), Egorov G.V.,
Enikolopov R.S., Gavrilets Yu.N., Grebennikov V.G.,
Izmalkov S.B. (Deputy Editor-in-Chief), Kleiner G.B.,
Kuboniwa M., Kvint V.L., Libman A.M., Livshits V.N., 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 57, No. 1, 2021

Theoretical and methodological problems

- Ustyuzhanina E.V., Dementiev V.E., Evsukov S.G.** Digital transaction platforms: Ensuring their efficiency 5
- Ramazanov R.R.** Agent modeling in research and forecasting of socio-economic systems and processes 19
- Drapkin I.M., Chukavina K.V., Groznikh R.I.** Institutional determinants of bilateral foreign direct investment flows 33
- Vartanov S.A.** The use of three-sided market models in media industry strategizing 43

Problems of national economy

- Lunev G.G., Tarasova I.A.** Assessment of economic efficiency of development directions of the industry on the use of secondary building resources 53
- Ziyadullaev N.S., Tulupov A.S., Ziyadullaev U.S.** Assessing the contribution of the banking sector to economic security 63

Enterprise problems

- Pismennaya A.B., Anfinogentov V.G.** Organizational efficiency in conditions of external uncertainty: A quantitative analysis 74

Mathematical analysis of economic models

- Khachatryan N.K., Beklaryan L.A.** Study of flow dynamics in the model of cargo transportation organization along a circular chain of stations 83
- Gavrilets Yu.N., Tarakanova I.V.** A model for changing individual opinions in a group under the influence of interpersonal contacts and external factors 92
- Matveev M.G.** Information technologies for supply creation on e-trading platform with marketplace technology 105
- Pivnitskaya N.A., Teplova T.V.** DCC-GARCH-model for identifying long-term and short-term effects of financial contagion in response to the credit rating updates 113

* * *

- Livshits V.N. — 90 124
- Lemeshev M.Ya. 125
- Pilyasov A.N.** One appointment — and for the life-long (in commemoration of Lemeshev M.Ya.) 128
-
-

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**

Транзакционные цифровые платформы: задача обеспечения эффективности

© 2021 г. Е.В. Устюжанина, В.Е. Дементьев, С.Г. Евсюков

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

В.Е. Дементьев,
ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: vedementev@rambler.ru

С.Г. Евсюков,
ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: sg-7777@yandex.ru

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-010-00216 А) «Выявление закономерностей сетевой динамики с целью формирования портфеля стратегий эффективного участия российских компаний в глобальных и региональных сетях создания стоимости в условиях цифровой революции».

Поступила в редакцию 10.08.2020

Аннотация. Объектом исследования являются транзакционные цифровые платформы. Цель работы — на основе анализа экономического содержания понятия «цифровая транзакционная платформа» выявить основные характеристики этого явления и исследовать условия, позволяющие обеспечивать экономическую эффективность деятельности данной модели организации бизнеса. В статье предлагаются авторская трактовка понятия «цифровая транзакционная платформа», таксономия видов транзакционных платформ, анализ соотношения сфер деятельности и способов распределения выгод и издержек. Построена экономико-математическая модель платформы с тремя группами агентов — поставщиками, посетителями (потенциальными покупателями) и рекламодателями. Особенности модели по сравнению с имеющимися аналогами: учет значительного числа взаимных зависимостей поведения трех групп агентов; переход от постановки задачи максимизации текущего дохода оператора платформы к постановке задачи окупаемости платформы как инвестиционного проекта; использование логистических функций для описания сетевого эффекта зависимости числа заключенных сделок от численности продавцов, числа продавцов от числа заключенных сделок (в предыдущем периоде) и цены рекламного места от числа пользователей. Результаты работы: выявлены основные принципы управления ценообразованием на услуги платформы; продемонстрировано, что возможность достижения окупаемости проекта существенным образом зависит от скорости наращивания и исчерпания сетевых эффектов, что свидетельствует об очень высоких рисках неправильного прогноза динамики развертывания сетевых эффектов.

Ключевые слова: цифровые платформы, транзакционные платформы, сетевые эффекты, двусторонние рынки, математическая модель, логистическая функция.

Классификация JEL: A10, C65, D47.

DOI: 10.31857/S042473880013023-4

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время цифровые платформы находятся в центре научного и публицистического обсуждения значительного числа исследователей. Во многом это объясняется бурным развитием данной модели организации бизнеса и ее влиянием на переформатирование экономических связей. Впечатляет тот факт, что в течение последних нескольких лет восемь из десяти крупнейших (по капитализации) компаний мира — компании, которые можно отнести к цифровым платформам — Microsoft, Apple, Amazon, Alphabet (Google), Facebook, Alibaba, Tencent.

Вместе с тем существует и обратная сторона медали. Огромное число компаний, которые пытались организовать свой бизнес в виде платформ, так и не смогли выйти на уровень окупаемости либо разорились. Согласно исследованиям (Йоффи, Гавер, Кусумано, 2019) средний срок жизни

платформы составляет менее пяти лет. Многие платформы прекращают деятельность в течение первых 2–3 лет после выхода на рынок.

Данный факт свидетельствует не только о чрезвычайно высоких рисках такой модели организации бизнеса (ее чувствительности ко множеству плохо предсказуемых характеристик внешней среды), но и о явных пробелах в методологии прогнозирования параметров развития платформы (численность различных групп участников, объемы поступлений из различных источников, время выхода на уровень насыщения (плато сетевого эффекта), время достижения текущей окупаемости, время достижения инвестиционной окупаемости). Во многом это связано с тем, что обеспечение окупаемости платформы как инвестиционного проекта до сих пор сдерживается дефицитом математических моделей, адекватно описывающих как процессы формирования сетей различных пользователей платформы, так и управление этими процессами с помощью механизмов ценообразования. Настоящая работа призвана восполнить этот пробел путем построения обобщенной модели, описывающей сетевые эффекты и их взаимное влияние на всем протяжении жизненного цикла платформы.

Для выявления условий эффективности платформ необходимо соотнести сферы их деятельности с источниками обеспечения их ресурсами. Такое соотнесение предполагает учет специфики отдельных типов платформ и их классификацию. Последующее изложение содержит краткое обсуждение платформы как формы организации бизнеса, анализ особенностей цифровых платформ-посредников. Приводится обзор литературы по моделированию деятельности платформ. Дается описание авторской модели цифровой платформы с тремя группами агентов — поставщиками, посетителями (потенциальными покупателями) и рекламодателями. Представлены численные расчеты по этой модели и обсуждение их результатов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В течение последних 20 лет в научной литературе ведется оживленная дискуссия о роли цифровых платформ в современной экономике, истоках происхождения данного явления и его экономической сущности. При этом взгляды исследователей кардинально различаются. Если одни авторы трактуют платформы как революционное изменение экономических отношений (Geoffrey, Marshall, Sangeet, 2016), то другие воспринимают современные цифровые платформы как очередной этап в развитии капитализма (Срничек, 2019).

Во многом данное разночтение связано со множественностью определения понятия «платформа», диапазон трактовок которого простирается от понятия «двусторонние рынки» до «программный продукт».

В данной статье мы будем опираться на базовую классификацию цифровых платформ, предложенную в работе (Йоффи, Гавер, Кусумано, 2019), авторы которой выделяют инновационные и транзакционные платформы. *Инновационные* (точнее — программные) платформы позволяют своим контрагентам добавлять дополнительные продукты и услуги в основной программный продукт или технологию. Это прежде всего — операционные системы Java, SAP HANA, Android OS, iOS, Amazon Web Services, а также системы управления контентом — 1С, Moodle, Wix. *Транзакционные* платформы обеспечивают осуществление транзакций, в том числе обмен информацией, продуктами или услугами между пользователями платформы.

Объектом исследования настоящей статьи являются транзакционные цифровые платформы. Цель работы — на основе анализа экономического содержания понятия «цифровая транзакционная платформа» выявить основные характеристики этого явления (феномена) и исследовать условия, позволяющие обеспечивать экономическую эффективность деятельности данной модели организации бизнеса.

ФЕНОМЕН «ТРАНЗАКЦИОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ»

Под транзакционными платформами можно понимать два рода явлений. В узком смысле слова — это форма организации бизнеса компании — оператора платформы (например, Amazon, Alibaba или Facebook) (Яблонский, 2013; Cachon, Daniels, Lobel, 2017). В широком смысле — способ организации взаимодействия множества агентов (Rochet, Tirole, 2003). Нас будут интересовать

оба вида, поскольку без понимания второго нельзя выявить особенности экономических характеристик первого.

В качестве базового термина для определения транзакционных платформ, в широком смысле, чаще всего используется понятие «двусторонние рынки». В (Баландина, Баскакова, 2016) предлагается следующее определение: «Под двусторонним рынком с участием платформы следует понимать рынок, где фирма-посредник реализует разные товары/услуги двум группам потребителей, каждая из которых приобретает свой товар/услугу. При этом потребление хотя бы одной из групп оказывает внешний эффект на вторую группу». Определение, данное в (Rochet, Tirole, 2006), выглядит по-другому: «Рынок можно рассматривать в качестве двухстороннего, если платформа способна влиять на объем сделок, повышая цену на одной стороне рынка и снижая ее на другой — иными словами, важное значение на таком рынке имеет структура цен».

В (Шаститко, Паршина, 2016) выделяются следующие черты платформ: а) объединение двух групп пользователей; б) наличие перекрестных сетевых эффектов; в) возможность привлечения пользователей с помощью изменения уровня и структуры цен.

Мы считаем, что приведенные определения представляются одновременно и слишком широкими, и слишком узкими. Избыточность этих определений состоит в том, что они позволяют называть платформой любое поле взаимодействия экономических агентов, порождающее перекрестные сетевые эффекты, начиная со средневековой рыночной площади и заканчивая современными торгово-развлекательными центрами. А недостаточность — в исключении из сферы исследования платформ, которые порождают прямые сетевые эффекты на основе объединения однородных пользователей (мессенджеры, электронная почта, платформы взаимопомощи) или предоставления продуктов совместного использования (компьютерные игры).

Как отмечалось ранее, в данной работе будут рассматриваться только транзакционные цифровые платформы. При этом в качестве родового мы предлагаем использовать понятие «поле взаимодействия», под которым понимается система организации коммуникации между экономическими агентами (Флигстин, 2013). Традиционно в экономической литературе противопоставляются два поля взаимодействий — фирмы и рынки. В последнее время становится все более очевидно, что в число таких полей входят *сети* — устойчивые системы связи между формально независимыми агентами (Дементьев, Евсюков, Устюжанина, 2017).

Мы даем следующее определение объекта исследования: *транзакционная цифровая платформа* (ТЦП) — это поле взаимодействия экономических агентов, организованное центральным агентом (оператором платформы) на основе использования информационно-коммуникационных технологий, которое порождает сетевые эффекты и влияет на объем коммуникаций посредством установления уровня и структуры цен.

Исходя из определения, отличительными признаками ТЦП являются:

1) наличие центрального агента — *оператора платформы* (речь идет о платформе, в узком смысле слова, — агенте, который организует взаимодействие других агентов — пользователей);

2) поле взаимодействия — платформы могут существовать в двух ипостасях: *платформы-рынки* (взаимодействие экономических агентов на них носит эпизодический характер разовых сделок) и *платформы-сети* (предполагают устойчивые связи между пользователями на основе возможностей платформы);

3) использование информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и вытекающие из этого возможности: а) удаленного взаимодействия, б) масштабирования. *Удаленное взаимодействие* — это возможность коммуникации между агентами, находящимися на любом расстоянии друг от друга. *Масштабирование* — теоретическое отсутствие ограничений для расширения поля взаимодействия (числа пользователей);

4) наличие сетевого эффекта — прямого или перекрестного и положительного хотя бы для одной группы пользователей. Под *прямым сетевым эффектом* понимается взаимное воздействие пользователей одного вида друг на друга (спрос порождает спрос). Под *перекрестным сетевым эффектом* понимается воздействие численности одного вида пользователей на число пользователей другого вида (спрос порождает предложение, и наоборот). При этом не исключаются и *отрицательные сетевые эффекты*: размер аудитории конкретного СМИ порождает положительный сетевой эффект для рекламодателей, а количество рекламы — отрицательный сетевой эффект для аудитории;

Таблица 1. Классификация ТЦП по области коммуникаций

Область коммуникаций	Примеры
Прямые коммуникации	WhatsApp, Weber, Facebook, Одноклассники
Поисковые системы	Yandex Search, Google Search
Прямые посредники	Booking, Uber, Airbnb, Avito
Организаторы пространства для размещения контента	Amazon, Alibaba, YouTube, Coursera
Альтернативные средства массовой информации	Instagram, Яндекс-Дзен
Организаторы online-общения в режиме реального времени	Zoom, Skype, Вебинар
Организаторы краудсорсинга	Википедия, Torrent, Добровольные вычисления, eBird
Платежные системы	Visa, MasterCard, PayPal, Мир
Смешанные — работают в разных областях коммуникаций	Alphabet, Tencent, Telegram, Microsoft Team

Источник: составлено авторами.

5) возможность ТЦП влиять на объем коммуникаций через уровень и структуру цен. Этот признак совпадает с наиболее распространенными определениями платформ, сформулированными в (Rochet, Tirol, 2006), и означает возможность перераспределять издержки с одной (субсидируемой) стороны на другую (дискриминируемую) сторону.

Как мы отмечали ранее, наиболее общим является деление платформ на две категории — инновационные (программные) и транзакционные.

В (Evans, 2011; Шаститко, Паршина, 2016) предлагается следующая классификация платформ: 1) для осуществления экономического обмена между покупателями и продавцами; 2) объединяющие рекламодателей и СМИ; 3) устройства для осуществления транзакций (платежные системы); 4) программные — объединяющие разработчиков программ и их приложений.

С нашей точки зрения, наиболее очевидными видами таксономии транзакционных цифровых платформ будут классификации по полю взаимодействия, области коммуникаций и предлагаемому непосредственным пользователям продукту.

Исходя из базовых характеристик поля взаимодействия, платформы можно разделить на многосторонние рынки и сети. К *многосторонним рынкам* относятся платформы, организующие торговые транзакции и доступ к информации. К *сетям* — социальные сети, мессенджеры, в том числе электронную почту, и платформы, способствующие организации транзакций взаимности (Поляны, 2002).

По области коммуникаций ТЦП можно разделить на девять классов (табл. 1).

По предлагаемому непосредственным пользователям продукту ТЦП можно разделить на платформы, которые обеспечивают:

- доступ к информации (электронные СМИ и их аналоги, МООС, электронные энциклопедии);
- возможность коммуникации;
- электронные услуги (регистрация прав; запись на прием; онлайн-платежи и переводы, электронное голосование);
- цифровые блага — продукты, изначально созданные в цифровом формате, или цифровые копии обычных благ;
- посреднические услуги, осуществляемые с помощью управления цифровыми образами обычных благ (гостиницы и клиенты, транспортные компании и клиенты, купля-продажа благ и услуг);
- различные продукты.

Пользователей ТЦП можно разделить на две группы:

1) непосредственные — агенты, которые используют ТЦП для коммуникаций, в том числе общения (обмена информацией), транзакций рыночного обмена и транзакций взаимности;

2) косвенные — агенты, которые используют порождаемые платформой сетевые эффекты.

Для одноранговых (peer-to-peer) платформ, организующих торговые транзакции, непосредственными агентами являются поставщики — агенты, предоставляющие услуги и ресурсы,

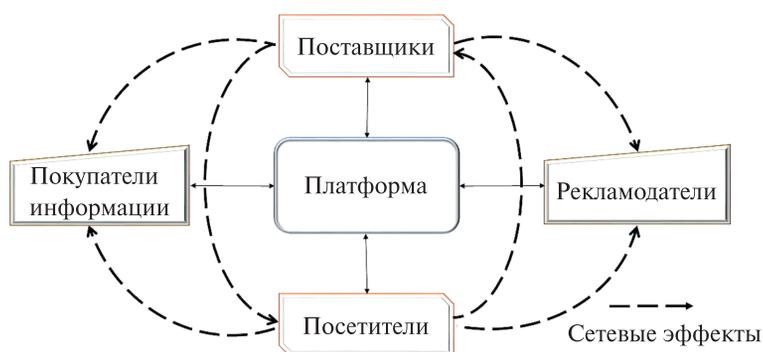


Рис. 1. Сетевые эффекты посреднической ТЦП
 Источник: авторская разработка.

и потребители — агенты, пользующиеся услугами и ресурсами поставщиков. К косвенным агентам относятся рекламодатели и сборщики информации (рис. 1).

Платформы обеспечивают следующие преимущества непосредственным пользователям:

- снижают транзакционные издержки взаимодействия;
- расширяют пространства коммуникаций до границ мира, в котором есть Интернет;
- расширяют клиентскую базу (поставщики);
- обеспечивают рост доходов за счет включения в коммерческий оборот простаивающих ресурсов (поставщики);
- снижают накладные расходы ведения бизнеса (поставщики);
- уменьшают альтернативные издержки — время простоя имеющихся ресурсов — транспортных услуг, аренды помещений, работу на заказ (поставщики);
- увеличивают возможности выбора (потребители);
- предоставляют возможность дробного потребления (потребители);
- повышают уровни кастомизации товара/услуги (потребители).

Для косвенных пользователей — обеспечивают возможности получения выгоды путем размещения или сбора информации.

Платформы-посредники могут получать доход различными способами — за счет платы:

- 1) поставщиков (за вход, совершенные сделки или за право размещения контента);
- 2) пользователей (за доступ, за покупку, за временное пользование);
- 3) рекламодателей (за размещение контента, за ссылки на ресурсы);
- 4) потребителей информации (право допуска к первичной информации (интернет-роботы) или обработанная информация по запросу пользователя).

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЛАТФОРМ

Подавляющее число публикаций, связанных с анализом деятельности транзакционных платформ, посвящено трем основным темам — социально-экономические преимущества и общественные риски данной модели организации бизнеса (Lobel, 2017; Стрелец, 2019), трансформация экономических отношений, порождаемая платформами (Geoffrey, Marshall, Sangeet, 2016; Срничек, 2019), и особенности антимонопольного регулирования деятельности платформ (Shapiro, Varian, 1999; Armstrong, 2006; Шаститко, Паршина, 2016; White, Chapsal, Yeater, 2018).

Во многих работах, посвященных анализу данной формы организации бизнеса, также изучаются проблемы ценообразования на услуги платформы. Однако значительная часть этого анализа имеет характер теоретического обсуждения таких проблем, как применяемые способы ценовой дискриминации, методы интернализации внешних эффектов, выбор дискриминируемой и субсидируемой сторон и т.п.

Моделированию динамического ценообразования на услуги платформы посвящены работы (Nagiu, Nařaburda, 2011; Cachon, Daniels, Lobel, 2017; Баландина, Баскакова, 2016; Боровкова, 2019; Huukia, Svento, 2020; Martínez-de-Albéniz, Pinto, Amorim, 2020; и др.). В них объектами моделирования выступают как различные формы ценообразования (членские взносы, плата за транзакции, перекрестное субсидирование), так и изменение цен во времени, установление дифференцированных цен для различных групп потребителей и т.д. Однако бóльшая часть этих моделей посвящена вопросам текущего перераспределения выгод и издержек между различными группами пользователей в зависимости от изменения внешних условий, уровня асимметрии информации, размера сети, ожиданий и предпочтений участников. Иными словами, под динамическим ценообразованием авторы этих работ понимают политику гибких цен, реагирующих на те или иные изменения исходных параметров, в том числе число участников сети. В лучшем случае речь идет о динамической модели на основе марковской цепи, охватывающей несколько периодов (Doganoglu, 2003; Mitchell, Skrzypacz, 2006). Однако приходится констатировать дефицит работ, посвященных моделированию ценообразования на услуги оператора платформы на протяжении всего ее жизненного цикла — движения от момента появления платформы на рынке до достижения стабильного действия сетевого эффекта.

Таким образом, проблема обеспечения окупаемости платформы как инвестиционного проекта является объектом исследования многих работ, но на содержательном, а не на модельном уровне. Между тем, это — одна из основных проблем платформенного бизнеса. Как мы отмечали в начале статьи, многие операторы не могут преодолеть фазу стартапа. Но даже такие крупные рыночные игроки, как агрегаторы перевозок Uber и Lyft, по мнению рыночных аналитиков, еще не окупили сделанные в них инвестиции.

Другим общим недостатком бóльшей части работ, моделирующих ценообразование на услуги платформ, являются довольно примитивные способы отражения влияния на поведение потребителей уровня цен и размера сети (доли реальных пользователей в общем объеме потенциального спроса). Так, во многих моделях предполагается, что влияние цены на уровень полезности потребителя имеет характер обратной линейной зависимости (Veiga, 2014). Данный способ учета влияния цены на выбор потребителя представляется нам чрезмерно упрощенным.

Что касается сетевого эффекта, то для его отображения используются либо линейный (Lin et al., 2019), либо степенной (Huukia, Svento, 2020) вид функций зависимости того или иного параметра от значения аргумента (объема сети в абсолютном или относительном выражении). Однако и тот, и другой вид в зависимости плохо отражают реальную динамику действия сетевого эффекта: очень медленный рост вначале, последующее ускорение и замедление по мере выхода на плато насыщения. Исключением из этой тенденции являются работы авторов данной статьи (Дементьев, Евсюков, Устюжанина, 2020), использующие для описания сетевого эффекта логистическую функцию Ферхюльста.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Для анализа основных зависимостей и возможности достижения окупаемости проекта создания и раскручивания сети мы создали обобщенную экономико-математическую модель, описывающую взаимодействие платформы с тремя группами агентов: поставщики, посетители (потенциальные покупатели) и рекламодатели.

Платформа-посредник соединяет продавцов и покупателей некоего товара (услуги). Платформа может получать плату из двух источников: число заключенных сделок (от продавцов) и объем размещенной рекламы (от рекламодателей).

Субсидируемой стороной в нашей модели выступают потребители, что, безусловно, не означает отсутствия реальной платы потребителей за услуги платформы — плата за пользование входит в цены на товары (услуги) поставщиков. Плата за вход, как и абонентская, не взимаются.

В целях упрощения анализа предполагается, что общее число рекламных мест (время-место) фиксировано. Таким образом, мы не рассматриваем эффекты влияния на число непосредственных

пользователей объема рекламы и зависимость стоимости единицы рекламного места от числа единиц размещенной рекламы. Также мы не исследуем важную связь между числом непосредственных пользователей и объемом средств, вкладываемых в продвижение платформы. Предполагается, что соответствующие издержки включены в инвестиционные и текущие (постоянные) затраты платформы.

Основные зависимости модели:

- число посетителей (потенциальных покупателей) зависит от числа представленных на платформе поставщиков;
- число поставщиков зависит от числа заключенных в предшествующий период сделок;
- число сделок зависит от числа поставщиков и посетителей, а также от ценовой политики платформы;
- стоимость единицы рекламного места зависит от числа посетителей.

Основные допущения модели:

- 1) существует верхний предел числа поставщиков, которые могут прийти на платформу;
- 2) существует верхний предел числа посетителей (потенциальных покупателей), которые могут прийти на платформу»
- 3) существуют рыночные цены конкурентов — стоимость рекламного места (место/время размещения) и комиссия за посредничество в сделке.

В начале работы платформы посетителей (потенциальных покупателей) и продавцов относительно мало, но по мере роста числа продавцов растет число посетителей—потенциальных покупателей. По мере роста числа заключенных в прошлом периоде сделок растет число продавцов, реализующих свои товары (услуги) через платформу.

Число заключенных сделок зависит от числа потенциальных покупателей и продавцов. Цена рекламного места зависит как от рыночных цен конкурентов (считаются заданными), так и от числа посетителей—потенциальных покупателей.

Платформа выбирает:

- период бесплатного предоставления услуги поставщикам (T_1);
- уровень дисконта в оплате по сравнению с другими платформами после достижения сетевого эффекта (выхода на плато насыщения) (α).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

T — общий период расчета (число периодов) — экзогенная величина. Продолжительность единичного периода t определяется временем, на которое заключается сделка. Предполагается, что каждый покупатель может заключать за период одну сделку. В нашем числовом эксперименте продолжительность периода 1 месяц.

Доход платформы от сделок в каждый период времени — это произведение числа сделок, заключенных в данный период, и платы за одну сделку (плата взимается с продавца):

$$R(t) = P(t)Q(t), \quad (1)$$

где $R(t)$ — доход платформы от сделок в период t ; $P(t)$ — плата, взимаемая платформой с поставщиков за каждую заключенную сделку в период t ; $Q(t)$ — число сделок, заключенных в период t .

Число заключенных сделок зависит от значения «воронки продаж» (доли покупателей от числа посетителей), которая предполагается неизменной; числа посетителей; числа продавцов (когда продавцов становится много — платформа выходит на плато насыщения и конкретное значение данного показателя становится несущественным):

$$Q(t) = AB(t) / (1 + de^{-\mu S(t)}), \quad (2)$$

где A — коэффициент воронки продаж ($0 < A < 1$); $B(t)$ — число посетителей—потенциальных покупателей в период t ; $S(t)$ — число продавцов в период t ; d — параметр, задающий стартовую долю числа сделок; μ — параметр, задающий скорость исчерпания потенциала влияния числа продавцов на количество сделок.

Плата за сделку (для поставщика) зависит от цен конкурентов и ценовой политики платформы:

$$\text{для } t \in \{0, \dots, T_1\} \quad P(t) = 0; \quad (3)$$

$$\text{для } t \in \{T_1 + 1, \dots, T\} \quad P(t) = \alpha P, \quad (4)$$

где P — верхний предел цены (цены конкурентов); α — дисконт, характеризующий ценовую политику платформы ($0 < \alpha \leq 1$).

Число посетителей—потенциальных покупателей зависит от числа продавцов:

$$B(t) = H + (B - H)(S(t)/S)^\eta, \quad (5)$$

где B — максимальное число потенциальных посетителей; H — начальное число посетителей; η — коэффициент эластичности функции.

Число продавцов зависит от числа сделок, заключенных в предыдущий период ($Q(t-1)$), и размера платы за услуги платформы в текущем периоде (параметра α):

$$S(t) = Y \left[S / (1 + l e^{-\gamma Q(t-1)}) \right], \quad (6)$$

где S — максимально возможное число продавцов; l — параметр, задающий стартовую долю числа продавцов; γ — параметр, задающий скорость исчерпания потенциала роста числа продавцов в зависимости от числа сделок предыдущего периода; Y — параметр, описывающий влияние платы за услуги платформы на число продавцов:

$$Y = 2 - (\alpha + 1)^{1/2}. \quad (7)$$

Влияние платы на число поставщиков, представленных на платформе, объясняется возможностью выбора поставщика. Предполагается, что он может работать вообще без посредников или через другие платформы.

Доход от рекламы зависит от цены единицы рекламного места и числа рекламных мест:

$$W(t) = G(t)M, \quad (8)$$

где $W(t)$ — доход от рекламы в период t ; $G(t)$ — цена рекламного места в период t ; M — общее число рекламных мест, измеряемое в пространственно-временных единицах (объем-время демонстрации), предполагается заданным.

Цена единицы рекламного места зависит от числа посетителей (покупателей):

$$G(t) = G / (1 + f e^{-\beta B(t)}), \quad (9)$$

где G — максимальная стоимость рекламы у конкурентов; f — параметр, задающий стартовую долю значения цены рекламы; β — параметр, задающий скорость исчерпания потенциала роста цены рекламы в зависимости от числа посетителей.

Доход платформы за период складывается из платы поставщиков и дохода от рекламы:

$$E(t) = R(t) + W(t), \quad (10)$$

где $E(t)$ — доход платформы в период t .

Расходы платформы за период зависят от числа посетителей, но их значительную долю составляют постоянные затраты (FC):

$$TC(t) = FC + VC \times B(t), \quad (11)$$

где $TC(t)$ — общие текущие затраты периода t ; VC — удельные переменные затраты.

Чистый денежный поток за период:

$$CF(t) = E(t) - TC(t), \quad (12)$$

где $CF(t)$ — чистый денежный поток периода t .

Накопленный дисконтируемый денежный поток определяется с учетом стоимости денег во времени:

$$PV = \sum_{t=1}^T CF(t) \times (1+r)^{-t}, \quad (13)$$

где r — ставка дисконтирования за период.

Чистый накопленный денежный поток:

$$NPV = \sum_{t=1}^T CF(t)(1+r)^{-t} - I, \quad (14)$$

где I — величина первоначальных вложений

ЧИСЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ

Шаг — продолжительность периода t — равняется 1 месяцу. Числовые параметры модели приведены в табл. 2. Выбор значений опирается на реальные цифры из практики отдельных платформ.

Таблица 2. Числовые параметры модели

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Базовые показатели		
Горизонт расчета, месяц	T	24
Ставка дисконтирования, %	r	0,5%
Максимальное число продавцов, ед.	S	2000
Начальное число посетителей, ед.	H	100
Максимальное число посетителей, ед.	B	1 000 000
Значение коэффициента воронки продаж	A	0,05
Верхний предел цены сделки, руб.	P	1 000
Число рекламных мест, ед.	M	90
Предел цены рекламного места, руб./сутки	G	150 000
Текущие постоянные затраты, руб./период	FC	8 000 000
Удельные переменные затраты, руб./ед.	VC	5
Объем инвестиций, тыс. руб.	I	100 000
Коэффициенты		
Параметр, задающий стартовую долю числа сделок	d	20 000
Скорость исчерпания потенциала влияния числа продавцов на число сделок	μ	0,05
Параметр, задающий стартовую долю числа продавцов	l	244
Скорость исчерпания потенциала роста числа продавцов (от числа сделок)	γ	0,008
Параметр, задающий стартовую долю значения цены рекламы	f	99 000
Скорость исчерпания потенциала роста цены рекламы (от числа покупателей)	β	0,005
Параметр зависимости числа посетителей от числа продавцов	η	1,25

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследование проводилось на основе компьютерного эксперимента посредством последовательного изменения отдельных числовых параметров модели и управляемых переменных — T_1 и α .

При заданных значениях параметров модели (см. табл. 2) время выхода платформы на плато насыщения (2 тыс. продавцов и 1 млн посетителей) составит 12 месяцев. Если в этот момент ввести плату для продавцов за каждую совершаемую с помощью платформы сделку, то при отсутствии дисконта в цене ($\alpha = 1$) число продавцов уменьшится с максимума (2000) до 1172. Число посетителей, которое зависит от числа продавцов, уменьшится с 1 млн до 512 525 человек. Снизится и число заключаемых сделок. Зато за счет введения платы с продавцов резко увеличатся доходы платформы — до 39 126 274 руб. в месяц (рис. 2).

На рис. 3 представлена динамика двух показателей — текущего чистого денежного потока и чистой приведенной стоимости проекта нарастающим итогом. Выход на окупаемость проекта (дисконтируемый период окупаемости) достигается в периоде 17, а чистая приведенная стоимость проекта к концу второго года становится равной 214 млн руб.

На рис. 4 представлены данные о доходах компании за счет рекламы. Стабильность дохода от рекламы после периода 9, даже при уменьшении числа посетителей после введения платы за услуги

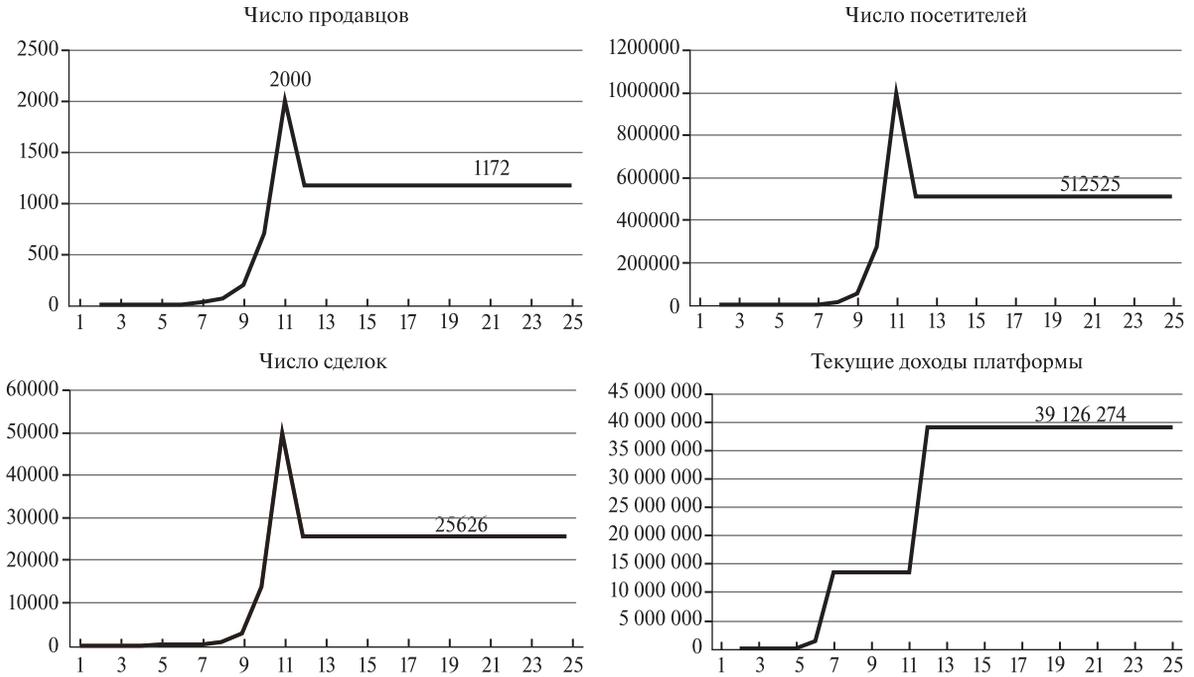


Рис. 2. Динамика числа продавцов, посетителей, заключенных сделок и текущих доходов платформы
 Источник: расчеты авторов.

для продавцов, объясняется тем, что для рекламодателей достаточным является преодоление порога в 100 тыс. посетителей.

Если сравнить доходы от рекламы за месяц (13 500 000 руб.) с ежемесячными расходами после стабилизации числа сделок (10 562 627 руб.), мы увидим, что поступления от рекламы окупают текущие расходы.

Исследование вопроса о том, когда именно целесообразно начинать взимать плату за посреднические услуги (с поставщиков), показывает, что оптимальным является время достижения числа поставщиков, сопоставимого с числом поставщиков после введения платы. В нашей модели это период 11. Если начать взимать плату ранее, число поставщиков, а следовательно, число потенциальных покупателей и число сделок будут существенно ниже оптимального. Однако чем позже будет введена плата, тем меньше будут суммарные доходы компании-оператора.

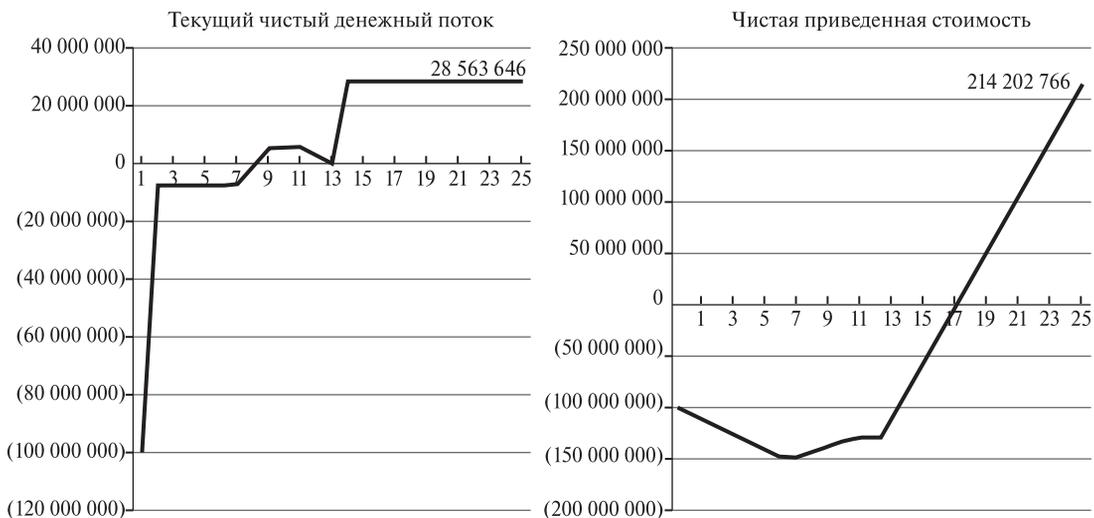


Рис. 3. Динамика текущего чистого денежного потока и чистой приведенной стоимости
 Источник: расчеты авторов.

Теперь попробуем ответить на вопрос, выгодно ли платформе после начала взимания платы с поставщиков снижать ее размеры по сравнению с рыночными ценами конкурентов. На рис. 5 приведены графики динамики числа сделок и величины чистого денежного потока при отсутствии ($\alpha = 1$) и наличии ($\alpha = 0,7$) скидок.

При снижении платы число сделок в месяц увеличивается с 25 626 (при $\alpha = 1$) до 31 797 (при $\alpha = 0,7$). Однако за счет снижения цены чистый денежный поток уменьшается с 28 563 646 руб. до 24 577 966 руб. Это объясняется высокой эластичностью числа сделок по цене. Иными словами, невыгодно увеличивать число сделок за счет снижения платы поставщиков по сравнению с рыночными ценами конкурентов в условиях высокой эластичности соответствующей функции ($\eta > 1$).

Рассмотрим чувствительность модели к скорости исчерпания потенциала влияния числа сделок на число продавцов — γ . В табл. 3 представлены данные, характеризующие чувствительность основных результатов модели к изменению параметра γ при неизменности всех остальных условий.

В первоначальной модели параметр $\gamma = 0,008$.

Если $\gamma = 0,007$, время выхода на плато составит уже не 12, а 17 месяцев. Период достижения окупаемости увеличится с 17 до 22 месяцев. Чистая приведенная стоимость проекта составит 55 885 667 руб. против 214 202 766 руб. в первом варианте.

Если $\gamma = 0,0065$, время выхода на плато увеличится до 21 месяца, период окупаемости выйдет за горизонт планирования и составит 27 месяцев, а по окончании двух лет (24 месяца) чистая приведенная стоимость проекта будет отрицательной (−71 367 683 руб.).

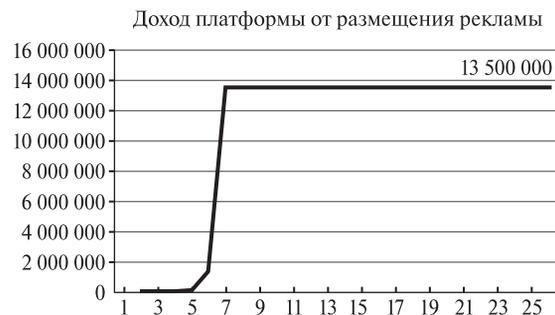


Рис. 4. Ежемесячные доходы платформы от размещения рекламы

Источник: расчеты авторов.

Таблица 3. Влияние значения параметра γ на результаты численного эксперимента

γ	Время выхода на плато числа сделок	Дисконтированный период окупаемости DPB	$NPV(T = 24)$
0,008	12	17	214 202 766
0,007	17	22	55 885 667
0,0065	21	27	−71 367 683

Источник: расчеты авторов.

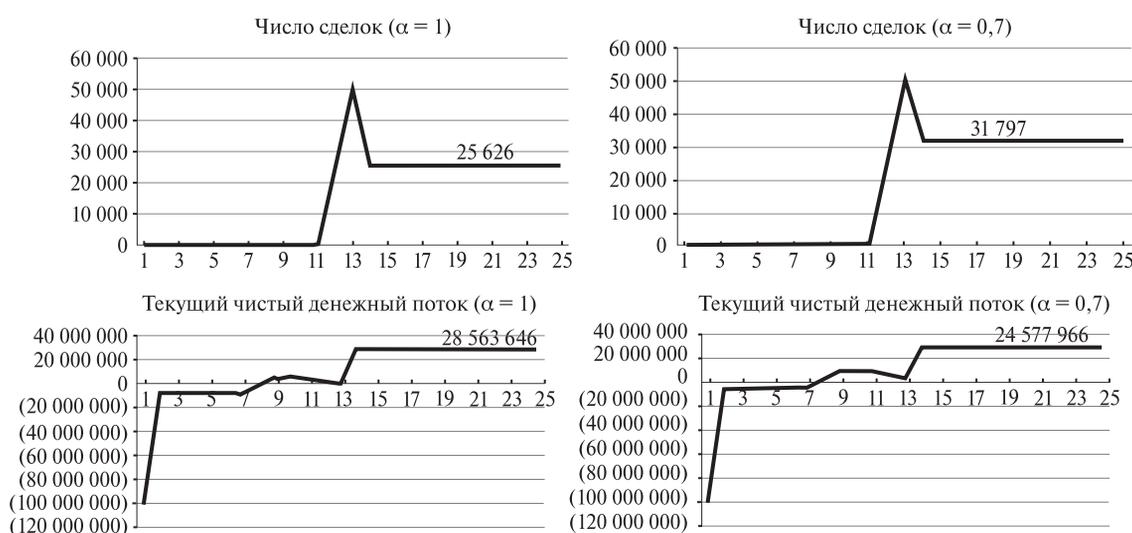


Рис. 5. Сравнение динамики числа продавцов, посетителей, числа заключенных сделок и текущего чистого денежного потока платформы при разных ценовых политиках

Источник: расчеты авторов.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что риск недостижения окупаемости проекта в связи с неправильным прогнозом скорости роста числа пользователей (продавцов) чрезвычайно велик. В то же время необходимо отметить, что изменение параметра скорости исчерпания потенциала роста числа сделок в зависимости от числа продавцов несущественно влияет на показатели модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное нами исследование позволило получить следующие результаты.

1. Разработанная авторами экономико-математическая модель функционирования платформы как бизнеса позволяет оценить возможность и риски достижения окупаемости данного проекта для компании-оператора.

2. Выявлено, что логистический класс функций позволяет наиболее адекватно описывать развертывание сетевого эффекта во времени в зависимости от изменения базовых параметров взаимодействия.

3. На основе числового компьютерного эксперимента показано, что взимание платы за услуги платформы, оказываемые поставщикам, целесообразно начинать после достижения порогового значения числа поставщиков, сопоставимого с прогнозом числа поставщиков после введения платы.

4. Установлено, что целесообразность снижения платы за услуги платформы, которые она оказывает поставщикам, по сравнению с ценами конкурентов зависит от эластичности числа поставщиков от цены сделки.

5. Показано, что косвенные доходы (в конкретном случае — от рекламы) могут являться значимым источником денежных поступлений, за счет которых платформа может выйти на уровень покрытия текущих расходов.

6. Продемонстрировано, что при благоприятном стечении обстоятельств окупаемость проекта может быть достигнута в относительно короткие сроки.

7. Показано, что возможность достижения окупаемости проекта существенным образом зависит от скорости наращивания и исчерпания сетевых эффектов. Это означает, что риски неправильного прогноза динамики развертывания сетевых эффектов чрезвычайно высоки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Баландина М.С., Баскакова И.В.** (2016). Двусторонние рынки: определение понятия, ключевые характеристики и инструменты оценки // *Известия Уральского государственного экономического университета*. № 2 (64). С. 12–20. [**Balandina M.S., Baskakova I.V.** (2016). Two-sided markets: Definition, key elements and instruments for assessment. *Journal of the Ural State University of Economics*, 64, 3, 12–20 (in Russian).]
- Боровкова А.Е.** (2019). Поведение фирмы-посредника на двустороннем рынке при дифференциации продукта в условиях асимметрии информации // *Экономика и математические методы*. Т. 55. № 2. С. 104–117. [**Borovkova A.E.** (2019). Product differentiation in two-sided market with uncertainty in product quality value. *Economics and Mathematical Methods*, 55, 2, 104–117 (in Russian).]
- Дементьев В.Е., Евсюков С.Г., Устюжанина Е.В.** (2017). Гибридные формы организации бизнеса: к вопросу об анализе межфирменных взаимодействий // *Российский журнал менеджмента*, Т. 15. № 1. С. 89–122. [**Dement'ev V.E., Ustyuzhanina E.V., Evsukov S.G.** (2017). Hybrid forms of business organization: The interfirm cooperation perspective. *Russian Management Journal*, 1, 89–122 (in Russian).]
- Дементьев В.Е., Евсюков С.Г., Устюжанина Е.В.** (2020). О важности стратегического подхода при ценообразовании на рынках сетевых благ // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 2 (46). С. 57–71. [**Dement'ev V.E., Ustyuzhanina E.V., Evsukov S.G.** (2020). The importance of a strategic approach to pricing in markets for network goods. *The Journal of the New Economic Association*, 2 (46), 57–71 (in Russian).]
- Йоффи Д., Гавер А., Кусумано М.** (2019) Почему умирают цифровые платформы // *Ведомости*. 21.12.2019. [**Joffe D., Gaver A., Cusumano M.** (2019). Why digital platforms are dying. *Vedomosti*, 21.12.2019 (in Russian).]
- Поланыи К.** (2002). Экономика как институционально оформленный процесс // *Экономическая социология*. № 3 (2). С. 62–73. [**Polanyi K.** (2002). Economics as an institutionalized process. *Journal of Economic Sociology*, 3, 2, 62–73 (in Russian).]

- Срничек Н.** (2019). Капитализм платформ. М.: Изд. дом Высшей школы экономики. [Srnicek N. (2019). *Platform capitalism*. Moscow: National Research University «Higher School of Economics» (in Russian).]
- Стрелец И.А.** (2019). Особенности двусторонних рынков сетевых благ // *Экономические отношения*. Т. 9. № 1. С. 383–392. [Strelets I.A. (2019). Features of bilateral markets network benefits. *Journal of International Economic Affairs*, 9, 1, 383–392 (in Russian).]
- Флигстин Н.** (2013). Архитектура рынков: экономическая социология капиталистических обществ XXI века. М.: Изд. дом Высшей школы экономики. [Fligstein N. (2013). *The architecture of markets: An economic sociology of twenty-first-century capitalist societies*. Moscow: National Research University «Higher School of Economics» (in Russian).]
- Шашитко А.Е., Паршина Е.Н.** (2016). Рынки с двусторонними сетевыми эффектами: спецификация предметной области // *Современная конкуренция*. Т. 10. № 1 (55). С. 5–18. [Shastitko A., Parshina E. (2016). Two-sided markets: The subject matter specification. *Journal of Modern Competition*, 10, 1, 5–18 (in Russian).]
- Яблонский С.А.** (2013) Многосторонние платформы и рынки: основные подходы, концепции и практики // *Российский журнал менеджмента*. Т. 11. № 4. С. 57–78. [Yablonsky S.A. (2013). Multidimensional platforms and markets: Main approaches, concepts and practices. *Russian Management Journal*, 11, 4, 57–87 (in Russian).]
- Armstrong M.** (2006). Competition in two-sided markets. *Rand Journal of Economics*, 37, 3, 668–691.
- Cachon G., Daniels K., Lobel R.** (2017). The role of surge pricing on a service platform with self-scheduling capacity. *Manufacturing & Service Operations Management*, 19, 3, 337–507.
- Doganoglu T.** (2003). Dynamic price competition with consumption externalities. *Netnomics*, 5, 43–69.
- Evans D.S., Schmalensee R.L., Noel M.D., Chang H.H., Garcia-Swartz D.D.** (2011). Platform economics: Essays on multi-sided businesses. *Competition Policy International*. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1974020>
- Geoffrey G., Marshall W., Sangeet P.** (2016). *Platform revolution: How networked markets are transforming the economy and how to make them work for you*. Nova Littera SIA.
- Hagiu A., Hałaburda H.** (2011). Expectations, network effects and platform pricing. *Harvard Business School Working Papers 12–045*. December.
- Huukia H., Svento R.** (2020). Unobserved preferences and dynamic platform pricing under positive network externality. *Econometrics: Econometric & Statistical Methods — Special Topics eJournal*. Available at: SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3549246>
- Lin X., Chen C., Lin Z., Zhou Y.** (2019). Pricing and service strategies for two-sided platforms. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 28, 3, 299–316.
- Lobel O.** (2017). Coase & the platform economy. *Research Paper No. 17–3182017*. University of San-Diego.
- Martínez-de-Albéniz V., Pinto C., Amorim P.** (2020). *Driving supply to marketplaces: Optimal platform pricing when suppliers share inventory*. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3643261>
- Mitchell M., Skrzypacz A.** (2006). Network externalities and long-run market share. *Economic Theory*, 29, 621–648.
- Rochet J.C., Tirole J.** (2003). Platform competition in two-sided markets. *Journal of the European Economic Association*, 1, 4, 990–1029.
- Rochet J.C., Tirole J.** (2006). Two-sided markets: A progress report. *The RAND Journal of Economics*, 37, 3, 645–667.
- Shapiro C., Varian H.** (1999). *Information rules: A strategic guide to the network economy*. Boston: Harvard Business School Press.
- Veiga A.** (2014). Dynamic platform design. *NET Institute Working Paper*. No. 14–15.
- White J., Chapsal A., Yeater A.** (2018). European Union — *Two-Sided Markets, Platforms and Network Effects*. *E-Commerce Competition Enforcement Guide*. 7 December.

Digital transaction platforms: Ensuring their efficiency

© 2021 E.V. Ustyuzhanina, V.E. Dementiev, S.G. Evsukov

E.V. Ustyuzhanina,*Central Economics and Mathematics Institute of RAS, Moscow, Russia; e-mail: dba-guu@yandex.ru***V.E. Dementiev,***Central Economics and Mathematics Institute of RAS, Moscow, Russia; e-mail: vedementev@rambler.ru***S.G. Evsukov,***Central Economics and Mathematics Institute of RAS, Moscow, Russia; e-mail: sg-7777@yandex.ru*

Received 10.08.2020

This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 18-010-00216A).

Abstract. The objects of study are digital transaction platforms. The aim of the research is to analyze the economic phenomenon of digital transaction platforms, to reveal its main features and explore the environment that ensures the economic efficiency of this business model. The authors offer their own definition of a digital transaction platform, the taxonomy of its types as well as the analysis of correlation between business areas and methods of cost-benefit distribution. The paper presents a new mathematical economic model of a platform with three groups of agents — suppliers, visitors (potential customers) and advertisers. Unlike its predecessors, the model considers a large number of interconnections in the behavior of suppliers, customers and advertisers, focuses on calculation of the payback period of a platform instead of maximizing the current income of the platform operator. It applies logistic functions for describing the network effect of the relationships between the number of transactions and the number of sellers, the number of sellers and the number of transactions in the previous period, the price of advertising space and the number of users. The authors reveal the main principles of pricing management for platform services and show that the payback opportunity largely depends on the pace (velocity) of accumulation and exhaustion of network effects — thus, the forecast of expansion of network effects is very likely to be wrong.

Keywords: digital platforms, transaction platforms, network effect, bilateral markets, mathematical model, logistic function.

JEL Classification: A10, C65, D47.

DOI: 10.31857/S042473880013023-4

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Агентное моделирование в исследовании и прогнозировании социально-экономических систем и процессов

© 2021 г. Р.Р. Рамазанов

Р.Р. Рамазанов,

Центр стратегических и междисциплинарных исследований (ЦСМИ) Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (УФИЦ РАН), Уфа; e-mail: ruslan4729@mail.ru

Поступила в редакцию 17.07.2020

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 19-110-50165).

Аннотация. Всепроникающая дигитализация, представляющая собой процесс оцифровки не только количественных, но и качественных сторон объектов реального мира, создает для человечества новые вызовы и новые возможности. Воплощением таких возможностей, в частности, становится использование растущего объема данных в науке. И речь здесь идет не только о классических статистических методах, но и о сложных нейросетевых и имитационных подходах, многие из которых успешно применяются уже сегодня. Настоящая работа посвящена исследованию опыта применения одного из таких подходов — агент-ориентированного моделирования. Данная методология является универсальной и позволяет воспроизводить социально-экономические системы и процессы разной степени сложности. Ограничениями при ее применении могут выступать лишь теоретические познания исследователя и/или вычислительные мощности платформы реализации имитационных моделей. Во введении обсуждаются концептуальные основы методологии агент-ориентированного подхода и отдельные аспекты его преимуществ в исследовании общественных процессов. Представлен подход к классификации агентных моделей по шкалам агрегация-атомизация и абстрагирование-конкретизирование. Вторая часть посвящена анализу опыта применения агентного моделирования в сфере социально-экономических отношений. В обзор вошли работы зарубежных и российских авторов. В заключение обсуждаются тенденции развития агентного моделирования и его перспективы. На основе анализа динамики численности и тематической структуры исследований, проведенных с применением методологии агентного моделирования, сделан вывод о растущей экспансии последней на предметные области гуманитарных наук.

Ключевые слова: агент-ориентированный подход, имитационное моделирование, социально-экономические системы и процессы, компьютерные технологии, информационные технологии, когнитивные технологии.

Классификация JEL: B23, B41, C60, C63.

DOI: 10.31857/S042473880010550-4

ВВЕДЕНИЕ

Агентный подход, являющийся одним из трех основных направлений имитационного моделирования, предполагает репрезентацию сложных объектов снизу-вверх, когда глобальная динамика моделируемых систем и процессов описывается через действия и взаимодействия составляющих их элементарных субъектов (агентов). Находясь на стыке информационных, био- и когнитивных технологий, агентное моделирование естественным образом сочетает ряд уникальных качеств. Каждый агент наделяется квазиинтеллектом и способностью действовать неинерционно — в этом состоит биоориентированность методологии. Специфика конкретной модели может предполагать для агентов необходимость совершать выбор. Обладание агентами элементами интеллекта обуславливает когнитивную составляющую агент-ориентированного подхода.

Таким образом, суть агентного моделирования заключается в представлении феноменов реального мира в виде совокупностей элементарных субъектов, обладающих индивидуальной целевой функцией и определенной степенью рациональности. Каждый агент стремится оптимизировать

свою целевую функцию через взаимодействие с окружающей средой и/или другими агентами. Из локальных взаимодействий агентов рождается глобальная динамика системы, представляющая особый интерес для исследования.

В истории научной мысли одной из первых попыток вывести возникающее поведение в сфере общественных отношений снизу вверх является аналитическая концепция Т. Гоббса, представленная в его знаменитом трактате «Левиафан». Рассматривая ее сквозь призму агентного подхода, отметим, что в качестве агентов в ней выступают подчиняющиеся «универсальным законам природы индивиды», целевую функцию каждого из которых, по Гоббсу, определяют естественные «желания» и «отвращения». Стремясь к максимизации целевой функции и осознавая свои потери от «войны всех против всех», агенты естественным образом приходят к заключению договора о создании государства — Левиафана, карающего нарушителей общепринятых правил. Безусловно, Гоббс в своих построениях не использовал категорий агентного моделирования, и тем не менее его описательный подход хорошо укладывается в его рамки.

Гоббс является одним из основоположников мировоззрения механицизма, отдельные элементы которого имеют концептуальные пересечения с элементами агент-ориентированного подхода. Механицизм рассматривает мир как совокупность элементарных объектов, детерминированных универсальными законами динамики. В основе агентного подхода лежат схожие принципы — моделируемые системы представляются в виде совокупности атомов (агентов), состояние которых детерминировано определенными правилами. Аналитический принцип выведения макропроявлений снизу вверх, составляющий основу агент-ориентированного подхода, сформировался в недрах естественно-научного анализа, а именно в статистической механике, объясняющей феномены материи, проявляющиеся на макроуровне, через свойства и законы взаимодействия ее элементов (молекул, атомов).

1. АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Экстенсивное развитие социологической науки, основанное на накоплении новых статистических закономерностей, отодвигало кризис позитивистской программы до середины XX в., кульминацией которого стал знаменитый спор о позитивизме (нем.: *Positivismusstreit*) в 1961 г. между критическими рационалистами и представителями Франкфуртской школы (Strubenhoff, 2017). Наибольший интерес для нас представляют аргументы Т. Адорно и К. Поппера, касающиеся позитивистского подхода к социологическим исследованиям. Последний, в частности, выражал критическое отношение к бессистемной аккумуляции статистических фактов, настаивая на том, что социальная наука не должна сводиться к коллекционированию корреляционных связей.

Т. Адорно отмечал невозможность построения в социологии столь же элегантных математических теорий, как и в естествознании. В другом своем тезисе ученый выражал скепсис относительно дедуктивного подхода в социологии: «Без предвосхищения структурного момента — целого, которое вряд ли можно перевести в отдельные наблюдения, ни одно единичное наблюдение не может обрести своего места» (Adorno, 1970, 127 (цит. по (Полякова, 2012, 36))). Адорно полагал, что общество и индивиды могут быть познаны только во взаимосвязи.

Лауреат Нобелевской премии по экономике Г. Саймон обосновывал сложность социальных наук невозможностью редукции — разложения социальных процессов на подпроцессы (экономические, демографические, культурные, пространственные), которые можно было бы подвергнуть сепаратному анализу, не упустив из виду эмерджентные эффекты (Simon, 1987). Таким образом, стала ясно ощущаться потребность социологической науки в интегральном подходе, позволяющем вскрывать связи между миром индивидуальных наклонностей и феноменами общественной динамики.

В 1996 г. на страницах трактата «Выращивание искусственных обществ» Д. Эпштейн и Р. Акстелл выдвигают новую исследовательскую программу, основанную на агент-ориентированном моделировании. Безусловно, они были не первыми, кто использовал агентный подход при исследовании социально-экономических феноменов. Первые осмысленные попытки его применения можно отметить в работах (Schelling, 1971, 1978; Albin, Foley, 1990; Axelrod, Bennett, 1993; Axelrod, 1997; Danielson, 1992, 1996) и др. Однако Эпштейн и Акстелл оказались первыми, кому удалось в явной форме обозначить контуры новой методологии. «Наша широкая цель состоит в том, чтобы начать развитие единой социальной науки, в которой эволюционные процессы встраивались бы

в вычислительную среду, имитирующую социальные и экономические явления. Однажды люди, задавая вопрос о возможности объяснения чего-либо, будут подразумевать способность вырастить это *in silico* (в пробирке), демонстрируя, каким образом ограниченный набор микрофакторов генерирует макрофеномены. Развитие IT-технологий открывает для нас перспективу взглянуть на мир социальных феноменов сквозь призму новой науки» (Epstein, Axtell, 1996, 20).

2. ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К ИССЛЕДОВАНИЮ СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

2.1. Демаркация агентных моделей

Перспективу преодоления проблемы субъективной составляющей общественных процессов исследовательская программа искусственных обществ видит в развитии вычислительных технологий и методологии агент-ориентированного моделирования. Виртуальные аналоги проектируемых систем позволяют проводить имитационные эксперименты, генерировать и осуществлять верификацию сложных гипотез. За последние десятилетия появилось большое число работ, заявляющих в качестве своей методологической основы агент-ориентированный подход. В академической литературе существуют отдельные исследования, посвященные вопросам демаркации имитационных моделей, в частности отделению агент-ориентированного подхода от дискретно-событийного моделирования, системной динамики и моделирования динамических систем (Борщев, 2004). Такое же условное разделение можно провести внутри самой практики агентного моделирования.

Несмотря на обладание общими фундаментальными чертами — наличие нескольких автономно действующих субъектов, стремящихся максимизировать имманентную целевую функцию, — агентные модели могут значительно различаться по степени абстрактности и детализации анализируемых процессов (рис. 1). В одной модели в качестве агентов могут выступать элементарные субъекты социально-экономических отношений — индивиды (покупатели, продавцы, избиратели, участники дорожного трафика) или агрегированные субъекты, действующие от лица нескольких индивидов (юридические лица, публично-правовые образования, союзы, коалиции). Различия в уровне абстракции агентных моделей определяются конкретностью репрезентируемых субъектов, качеством содержания их целевых функций и способов их взаимодействия.

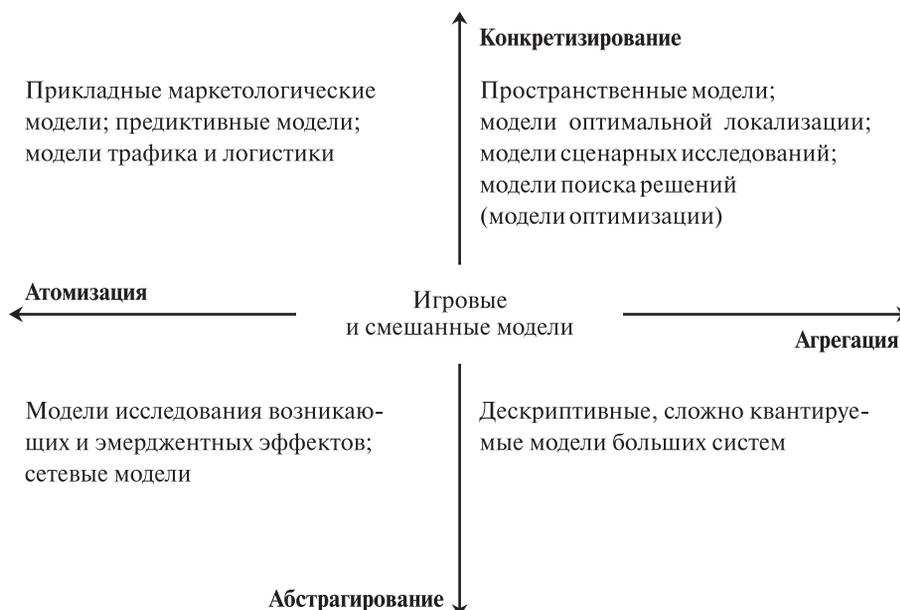


Рис. 1. Демаркация агент-ориентированных моделей

2.2. Мультиагентные модели высокого уровня абстракции

Модели, представленные большим количеством агентов, механизмы и цели взаимодействия которых носят абстрактный характер, отличаются сложностью параметризации и ориентированы на исследование возникающего поведения и/или эмерджентных эффектов. Сведения о способах взаимодействия отдельных субъектов позволяют формулировать и исследовать гипотезы о глобальной динамике систем — выращивать возникающее снизу вверх поведение *in silico*. Однако обладание информацией о глобальной динамике сложной системы позволяет формулировать и проверять гипотезы о правилах функционирования составляющих ее агентов.

Высокоабстрактное мультиагентное моделирование, как правило, применяется в исследованиях объектов, отличающихся высокой субъективной составляющей. Примером такого объекта может послужить брачный рынок, участники которого, одновременно являясь товаром и потребителями, осуществляют свой выбор, основываясь на ряде субъективных критериев, таких как возраст, уровень образования и достатка, цвет кожи, этническая принадлежность партнера и др. (Kalick, Hamilton, 1986; Todd, Billari, 2003; Hills, 2008; Walker, Davis, 2013).

Широту и аналитическую мощь агентного подхода при анализе абстрактных предметов отражают примеры его применения в исследованиях феноменов расовой сегрегации (Schelling, 1978), закономерностей жизненного цикла фирм (Axtell, 2006); феноменов динамики фондовых рынков (Souissi, Bensaid, Ellaia, 2018); культурной конвергенции (Axelrod, 1997); электоральных процедур (Hahn, Sydow, Merdes, 2019; Bernardes, Stauffer, Kertesz, 2002) и др.

От классических статистических и эконометрических подходов, ориентированных на простое вычисление коэффициентов, определяющих связи результирующих переменных с предполагаемыми регрессорами, агентное моделирование отличается нацеленностью на вскрытие черного ящика исследуемого явления. Именно это преимущество делает его безальтернативным при исследовании структурных эффектов.

Для примера рассмотрим работу (Medina, Quesada, Lozano, 2014), посвященную исследованию влияния конфигурации социальных сетей и уровня взаимодоверия в обществе на процесс принятия коллективных решений относительно производства общественных благ. На рис. 2 представлен пример социальной сети.

Принимая решение, агенты обладают информацией 1) о численности субъектов социальной сети, 2) о величине индивидуального пожертвования, 3) о числе принявших решение соседей и 4) о величине собранных на текущий момент средств.

В момент выбора каждый агент может попасть в одну из шести взаимоисключающих ситуаций (условия принятия решения).

Ситуация 1. Необходимая сумма уже собрана. Агент не будет вносить плату.

Ситуация 2. Вклад агента может оказаться решающим. Решение об участии агента будет зависеть от его убежденности в том, что никто, кроме него, не внесет необходимую сумму.

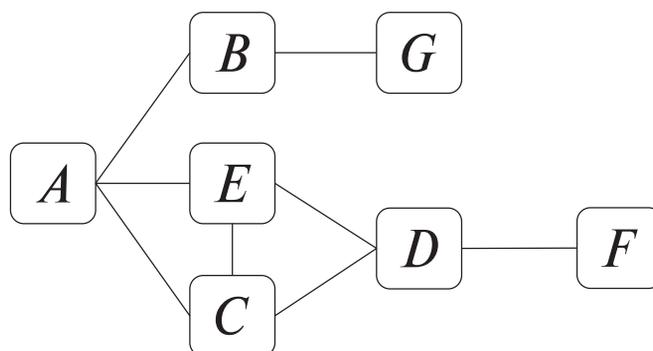


Рис. 2. Пример социальной сети в модели Медины–Кесадаба–Лозанока

Примечание. Агент *A* может общаться с агентами *B*, *E* и *C*; агент *E* — с *A*, *C* — *D*; агент *G* — только с *B*, и т.д.



Рис. 3. Условия трех типов задач: матрица

Примечание. Символ «x» обозначает влияние элемента j на элемент i . Например, в матрице влияния малого мира (рис. 3в) на элемент решения 3 оказывают влияние элементы 2, 5, 6, 9. Число других элементов, на которое влияет тот или иной элемент, определяет его условную значимость. Например, в матрице на рис. 3в элемент 6 влияет на 5 элементов: 3, 4, 5, 7, 10. Матрица локального влияния (рис. 3а) является наиболее простой и исходной для формирования двух других, более сложных матриц.

Ситуация 3. Вклада агента может быть недостаточно, но оставшиеся агенты способны собрать необходимую сумму. Агент принимает решение на основе оценки численности неопределившихся соседей и общей численность членов социальной сети.

Ситуация 4. Вклад агента является критическим, только если он добавлен ко вкладам всех без исключения оставшихся агентов, о которых у него нет информации.

Ситуация 5. Агент сталкивается с ситуацией, когда необходимая сумма априори недостижима. Агент не будет вносить платы.

Ситуация 6. Решение агента является определяющим. Если полезность от получаемого блага окажется выше полезности совершаемого пожертвования, рациональный агент примет финансовое участие в производстве блага.

Результаты моделирования говорят о том, что успеху кооперации способствует ощущение ответственности и умеренные ожидания агентов относительно склонности своих соседей к сотрудничеству. Если агент не верит в сотрудничество других агентов, то не станет вносить плату в производство услуги. Точно так же агент склонен приуменьшать свой выигрыш в случае принятия решения о сотрудничестве, если существует гипотетическая возможность переложить ответственность за успех кооперации на других членов социальной сети. Полученные результаты, в частности, вносят вклад в объяснение неэффективности функционирования некоторых социальных институтов.

Другим примером является работа (Yang, Liu, Zhang, 2018), в которой моделирование используется для исследования проблем эффективности краудсорсинг-кампаний, различающихся характером поставленных задач и типом привлекаемых к их решению добровольцев. Сложность задачи в модели определяет систематичность расположения элементов в матрице задачи; рациональность агентов определяет их способность идентифицировать эти элементы (рис. 3).

Агенты в модели не знают, сколько решений есть у задачи (в матрицах на рис. 3 их 12). Интеллектуальные способности агентов определяют две эндогенные характеристики: так называемый уровень и уклон ограниченной рациональности. От уровня рациональности агента зависит число видимых им решений. Так, при уровне 0,5 агент видит только 6 ($0,5 \times 12$) направлений решения. От уклона рациональности зависит способность индивида определять значимость тех или иных решений. Таким образом, интеллектуальная эффективность агента определяется числом и качеством выявленных им решений.

На основе имитационных экспериментов авторы демонстрируют влияние сложности задач и уровня компетенции привлекаемых добровольцев на эффективность проведения краудсорсинг-кампаний. Практические рекомендации, вытекающие из результатов анализа экспериментов, говорят о целесообразности дифференцирования стратегии проведения краудсорсинг-кампаний.

Так, для решения задач традиционных отраслей целесообразно обращаться к широкому кругу лиц. Решение сверхсложных задач требует обращения к подготовленной аудитории. Ограниченная рациональность обывателей, как правило, не позволяет им приходиться к качественным решениям нетривиальных задач.

2.3. Мультиагентные модели низкого уровня абстракции

Мультиагентные модели низкого уровня абстракции, как правило, имеют прикладной характер. Субъекты в них определяются на уровне индивидов, взятых в конкретных системах отношений. Относительная простота количественной параметризации и низкий разброс вариации результатов при одинаковых вводных делает такие модели удобными и надежными инструментами прогнозирования. Влияние вариации отдельных элементов на глобальную динамику моделируемых систем может быть интуитивно предсказуемо. Однако включение в анализ большого числа факторов и типов взаимодействующих субъектов значительно снижает качество умозрительных прогнозов. Как раз здесь проявляется прикладная значимость моделей данного типа, широко применяемых в демографических исследованиях (Макаров и др., 2017, 2019б), исследованиях потребительского выбора, моделях эвакуации (Helbing, Vicsek, 2000), оптимизации транспортного (Nagel, Schreckenberg, 1992; Nagel, Paczuski, 1995; Макаров и др., 2019а) и пешеходного движения (Helbing, Mulnar, 1995) и др.

В качестве примера прикладного использования агентного подхода как прогнозного инструментария приведем модель конкуренции на рынке телекоммуникационных услуг, представляющую собой экспертную систему, позволяющую осуществлять прогнозирование изменения доли рынка условного провайдера в ответ на изменение его тарифного плана и/или тарифных планов его конкурентов.

Помимо провайдеров в качестве агентов в рассматриваемой модели выступают индивиды — потребители телекоммуникационных услуг (Каталевский, Солодов, Кравченко, 2012). Основными факторами выбора провайдера для них является цена и скорость передачи данных; второстепенными факторами — качество соединения и специальные коммерческие предложения; к прочим факторам, определяющим конкурентные преимущества провайдеров, относятся надежность, качество технической поддержки и удобство подключения.

Авторами также был выделен ряд латентных поведенческих факторов, неочевидно детерминирующих потребительский выбор. Первый поведенческий фактор — так называемая инерция перехода, обуславливающая липкость потребительских предпочтений. Агенты готовы изменять тарифный план только при существовании значительно лучшей альтернативы. Второй поведенческий фактор обуславливает ориентированность агентов на внутренние переходы. Прежде чем перейти к другому провайдеру, предлагающему более привлекательный тарифный план, индивид проконсультируется со своим текущим поставщиком на предмет аналогичного предложения. Третий поведенческий фактор фиксируется в нацеленности некоторых индивидов на возможность извлечения выгод из мимолетных маркетинговых акций. Такие агенты отличаются чрезвычайно низкой потребительской лояльностью. Формула перехода агентов от одного провайдера к другому интегрирует все перечисленные факторы:

$$P_i n_j + S_j m_j > (P_{j+1} n_j + S_{j+1} m_j)(1 + k_j), \quad (1)$$

где P — привлекательность цены; S — привлекательность скорости; k — коэффициент лояльности; i — текущий тариф; $i + 1$ — предлагаемый новый тариф; j — социальная группа пользователя; n , m — веса параметров.

Рассмотренная модель является коммерческой разработкой и создавалась авторами в сотрудничестве с маркетинговым отделом компании заказчика. Калибровка весов формулы осуществлялась на основе экспертных оценок и реальной статистики. Таким образом, при наличии большого числа участников рынка и сложности их конкурирующих стратегий имитационное моделирование оказывается чрезвычайно полезным инструментом поддержки управленческих решений.

2.4. Агрегативные агентные модели

Агрегативные агентные модели репрезентируются комплексными субъектами — фирмами, союзами, кооперативами, городами, публично-правовыми образованиями. Проводя их внутреннюю демаркацию, можно условно выделить дескриптивные, квазивычислимые модели и модели оптимальной локализации. Дескриптивные модели ориентированы на абстрактно-объектное описание сложных неквантируемых феноменов. Например, в работах (Makarov, Bakhtizin, 2009; Зулькарнай, 2014) исследуются

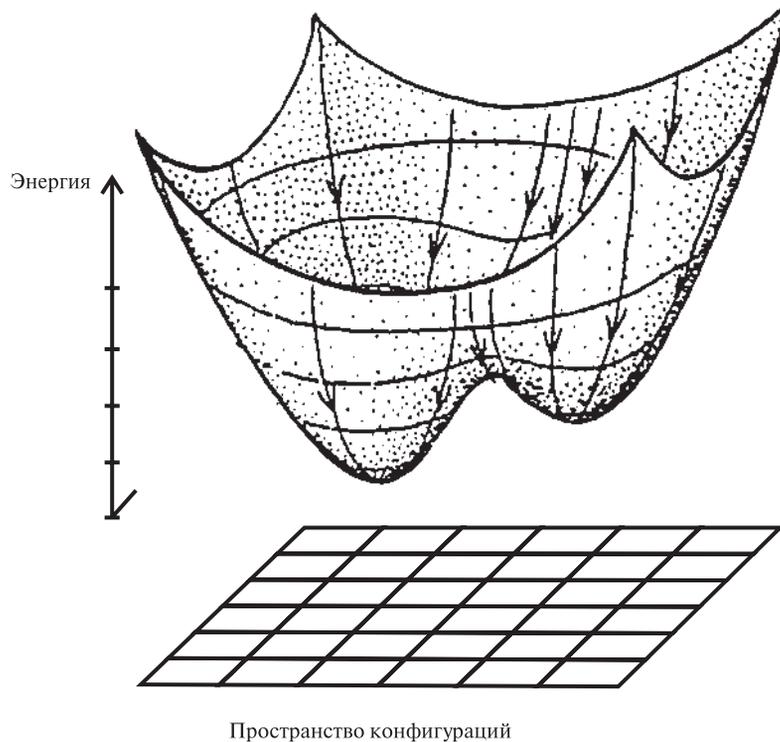


Рис. 4. Энергетический ландшафт решений моделей Аксельрода

феномены возникновения государственных структур снизу вверх; в (Saama, Kerberb, 2013) — гипотеза Хайека об инновационных преимуществах федеративных государств.

В квазивычислимых моделях процесс параметризации усложняет агрегативный и абстрактный характер субъектов и предметов их отношений друг с другом и с окружающей средой. Так, агентами в (Berger, 2001) являются фермерские хозяйства, а модель ориентирована на исследование феномена распространения инноваций. Модели оптимальной локализации позволяют определять эффективное расположение моделируемых объектов. Например, в (Зулькарнай, 2019) решается задача определения эффективного расположения системообразующих вузов.

Междисциплинарный потенциал агентного подхода в полной мере раскрывается в модели прогнозирования военных альянсов (Axelrod, Bennett, 1993), с помощью которой авторам удалось воспроизвести конфигурацию двух противоборствующих лагерей времен Второй мировой войны. Задача, включавшая 17 независимых европейских государств, имела 65 536 решений.

Инфографика реализации модели представляется с помощью схемы энергетического ландшафта (рис. 4). Нижняя плоскость, образуемая осями длины (x) и ширины (y), разбивается на множество равных клеток, каждой из которых соответствует одно из возможных решений модели. По оси высоты (z) откладывается их потенциальная энергия. Совокупность описывающих решение точек образует своеобразное покрывало решений. Места наибольших изгибов соответствуют наиболее вероятным решениям.

Потенциальная энергия существования коалиции рассчитывается по формуле

$$E(X) = \sum s_i s_j p_{ij}, \quad (2)$$

где i, j — индексы государств, принадлежащих к одному альянсу; s_i — вес государства i , зависящий от его экономических и демографических характеристик; p_{ij} — коэффициент взаимной склонности к сотрудничеству государств i и j , определяемый культурой и историей их взаимоотношений. Чем больше E , тем менее органично существование условного альянса. В экспериментах Аксельрода решение, обладавшее наименьшей потенциальной энергией, почти полностью повторило эмпирический сценарий, неверно было определено только место Польши и Португалии.

Аналитическая концепция энергетического ландшафта также была применена автором для построения предиктивной модели слияний и поглощений на американском рынке IT-технологий

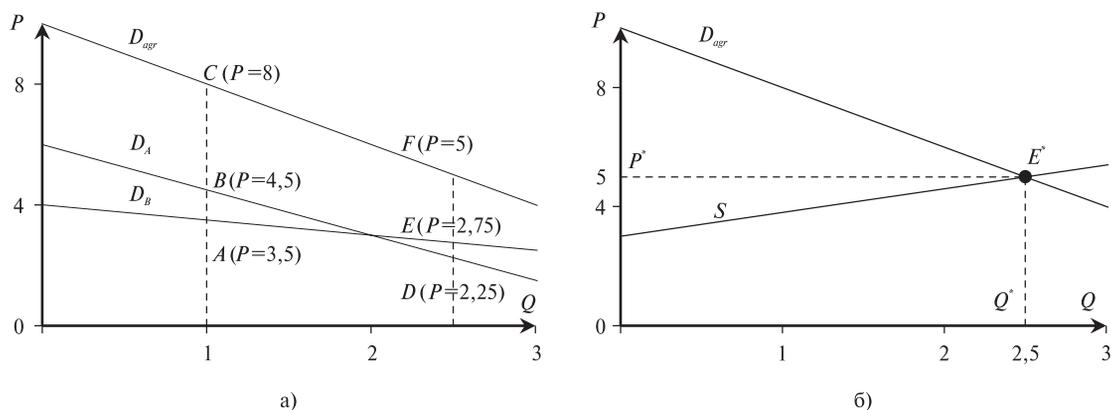


Рис. 5. Расчет цены и объема производства блага

Примечание. Кривая спроса условного региона D_{agr} определяется путем сложения ординат кривых спроса его жителей — индивидов D_A и D_B (рис. 5а). Объем производства и цена блага в регионе находится на пересечении кривой его предложения и агрегированного спроса его респондентов (рис. 5б).

(Axelrod, Mitchell, 1995). Агентами в ней выступили фирмы двух специализаций: первые занимались производством компьютерной техники; вторые — производством программного обеспечения. Анализируя фундаментальную динамику рынка, Аксельрод исходил из предположения о неизбежности формирования на рынке двух кластеров. Свою задачу он видел в построении инструментария оценки вероятности тех или иных конфигураций поглощения. С помощью модели автору удалось успешно воспроизвести эмпирическую конфигурацию поглощений.

Отдельного внимания заслуживают смешанные модели, отличающиеся агентной неоднородностью и неклассифицируемостью по признакам абстрактности и агрегативности. Так, в качестве агентов в модели аукционных интервенций (Huang, Liu, Shi, 2016) одновременно фигурируют правительство и два вида предприятий — оптовой и розничной торговли. Особенность смешанных моделей часто состоит в акценте не на самих агентах, а на факторах, формирующих среду их функционирования. Например, в работе (Ghazi, Dugdale, Khadir, 2016), посвященной проблеме загрязнения городского воздуха, вся калькуляционная мощь сосредоточена на нейросетевом модуле, имитирующем движение воздушных масс.

Другим примером здесь является авторская модель исследования эффектов децентрализации расходных полномочий между публично-правовыми образованиями в обеспечении населения локальными общественными благами (Рамазанов, 2019а). В качестве агентов в ней выступают индивиды, одновременно являющиеся налогоплательщиками и потребителями локальных общественных благ, и регионы, осуществляющие их производство за счет средств своих резидентов. Каждый потребитель в модели обладает индивидуальной функцией спроса на благо; регион — функцией предложения. Цена и объем производства блага в регионе лежит на пересечении кривой его предложения и кривой агрегированного спроса его резидентов (рис. 5).

Результаты моделирования говорят о положительной связи между общественной полезностью и децентрализацией бюджетных полномочий (когда потребители локальных общественных благ сами платят за их производство). Внутренняя миграция, изменяя параметры кривых агрегированного спроса, приводит к кластеризации населения по признаку совпадения экономических предпочтений. Возможность свободно выбирать регион проживания с подходящим соотношением режимов налогообложения и обеспечения локальными общественными благами позволяет индивидам максимально приближаться к параметрам своих индивидуальных предпочтений.

В другой авторской модели (Рамазанов, 2019б), посвященной исследованию эффектов распределения бюджетных полномочий между уровнями государственного управления, в качестве агентов выступают индивиды, являющиеся налогоплательщиками и потребителями локальных общественных благ, а также осуществляющие производство этих благ уровни публично-правовых образований: муниципальный, региональный и федеральный. Индивиды способны дифференцировать полезность благ в зависимости от уровня их предоставления. Каждый уровень обладает индивидуальной функцией предложения, определяющей связь между объемом блага и величиной налогообложения, необходимого для его производства (рис. 6).

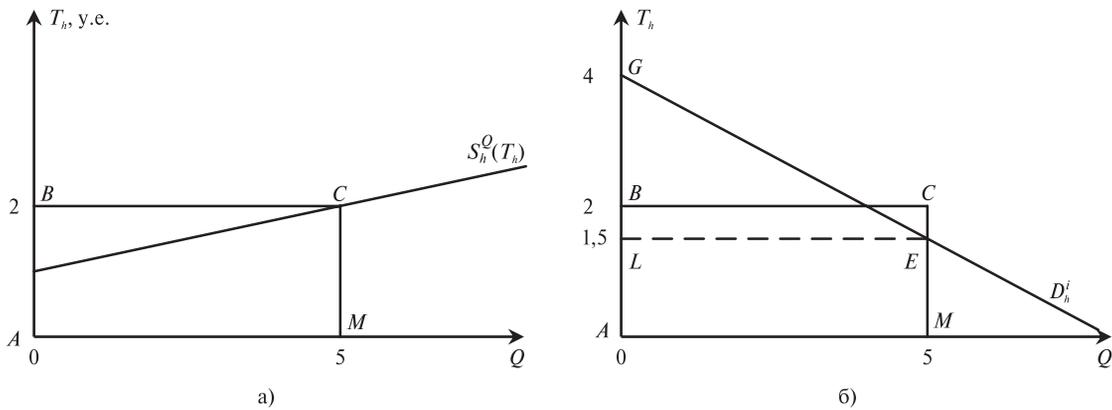
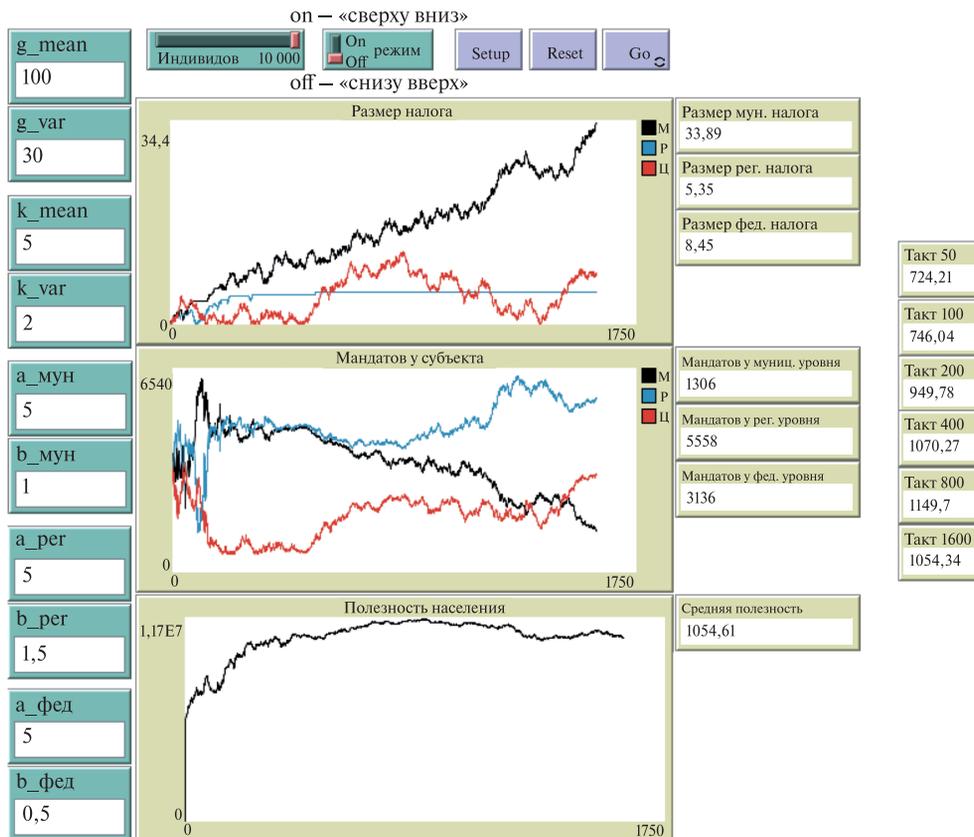


Рис. 6. Концепция расчета полезности агента

Примечание. Кривая предложения (S_h^Q) условного уровня государственного управления описывает его возможности обеспечения населения общественным благом h при том или ином размере налога. Так, согласно примеру, размеру налога в 2 у.е. соответствует объем регионального производства в 5 ед. (рис. 6а). D_i — кривая спроса индивида i , вынужденного потреблять 5 ед. по цене 2 у.е., при том, что субъективная цена блага для него эквивалентна 15 у.е. Таким образом, полезность индивида эквивалентна разности площади трапеции $AGEM$ и прямоугольника $ABCM$ (рис. 6б).



м — муниципальный уровень; р — региональный; ц — центральный (федеральный).

Рис. 7. Интерфейс модели, реализованной в программной среде NetLogo

Примечание. Показатель мандатов отражает численность индивидов, делегировавших ответственность за обеспечение услугой тому или иному уровню государственного управления. Бегунок индивидов задает число индивидов, генерируемых программой на старте реализации, переключатель режима — эмуляция модели. Кнопка «setup» инициирует принятие стартовых установок; «reset» — сбрасывает результаты предыдущей эмуляции. Кнопка «go» запускает процесс эмуляции. На экранах в правой части интерфейса фиксируются результаты вычисления модели в контрольных точках, соответствующие тактам 50, 100, 200, 400, 800 и 1600.

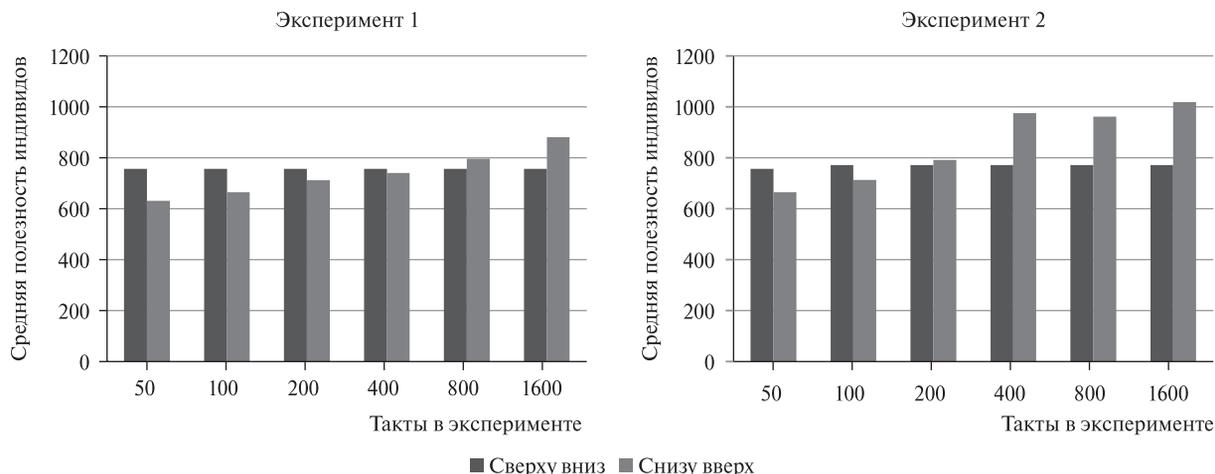


Рис. 8. Результаты двух случайных имитационных экспериментов с моделью

С помощью модели было исследовано два подхода. Первый подход — сверху вниз предполагал делегирование ответственности за обеспечение населения благом в пользу уровня, способного его производить с минимальными издержками; второй — снизу вверх — возможность для каждого индивида осуществлять самостоятельный выбор уровня в зависимости от своих индивидуальных предпочтений (рис. 7). При втором подходе динамика модели реализуется в ходе вертикальной конкуренции юрисдикций за налогоплательщиков путем варьирования налоговых ставок и, соответственно, объемов производства блага.

Результаты имитационного моделирования продемонстрировали большую краткосрочную эффективность подхода обеспечения населения общественными благами сверху вниз (рис. 8). Однако в долгосрочной перспективе большую эффективность демонстрирует демократический подход снизу вверх, при котором уровни управления в ходе конкуренции за налоговых резидентов приходят к максимально эффективному соотношению налоговых ставок и объемов производства общественных благ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Критически высказываясь о методологии агентного моделирования, американский антрополог С. Хельмрайх отмечает, что выращивание структур искусственных обществ является формализацией исследовательских предрассудков (Helmreich, 1998). Данное замечание не лишено оснований. Однако, несмотря на уязвимость агентного подхода к подобной критике, нельзя отрицать его прочных научных оснований — любые получаемые с его помощью выводы принципиально фальсифицируемы (в попперовском смысле), а значит, открыты для эмпирической верификации.

На сегодняшний день методология агент-ориентированного подхода продолжает активно развиваться. В литературе появляется все больше публикаций, посвященных критическому анализу практики ее применения (Ligmann-Zielinska, Kramer, 2014; Troitzsch, 2014; Broekea, Voorna, Ligtenberg, 2016). Высокий междисциплинарный потенциал методологии препятствует выработке универсальных критериев валидности агентных моделей. Активно обсуждаются проблемы требований к условиям имитационных экспериментов. В частности, обсуждается проблема устойчивости (робастности) результатов и рамок количественной достаточности эмуляционных прогонов (Lee et al., 2015).

Тенденция роста обращений к агентному моделированию при исследовании абстрактных объектов позволяет прогнозировать его интервенцию в предметную область гуманитарных наук — в проблемы философии, психологии и творчества (рис. 9). В ближайшем будущем агентный подход будет испытывать на себе трансформирующее влияние со стороны активно развивающейся сферы искусственного интеллекта. Появляются возможности для построения сверхсложных симуляторов на основе высокоинтеллектуальных агентов (Friedenberg, 2008; Guillermo, 2012; Vallacher, 2017). Следует ожидать реконструкции старых моделей на основе более совершенных алгоритмов функционирования. Актуальная повестка позволяет прогнозировать рост применения агентного

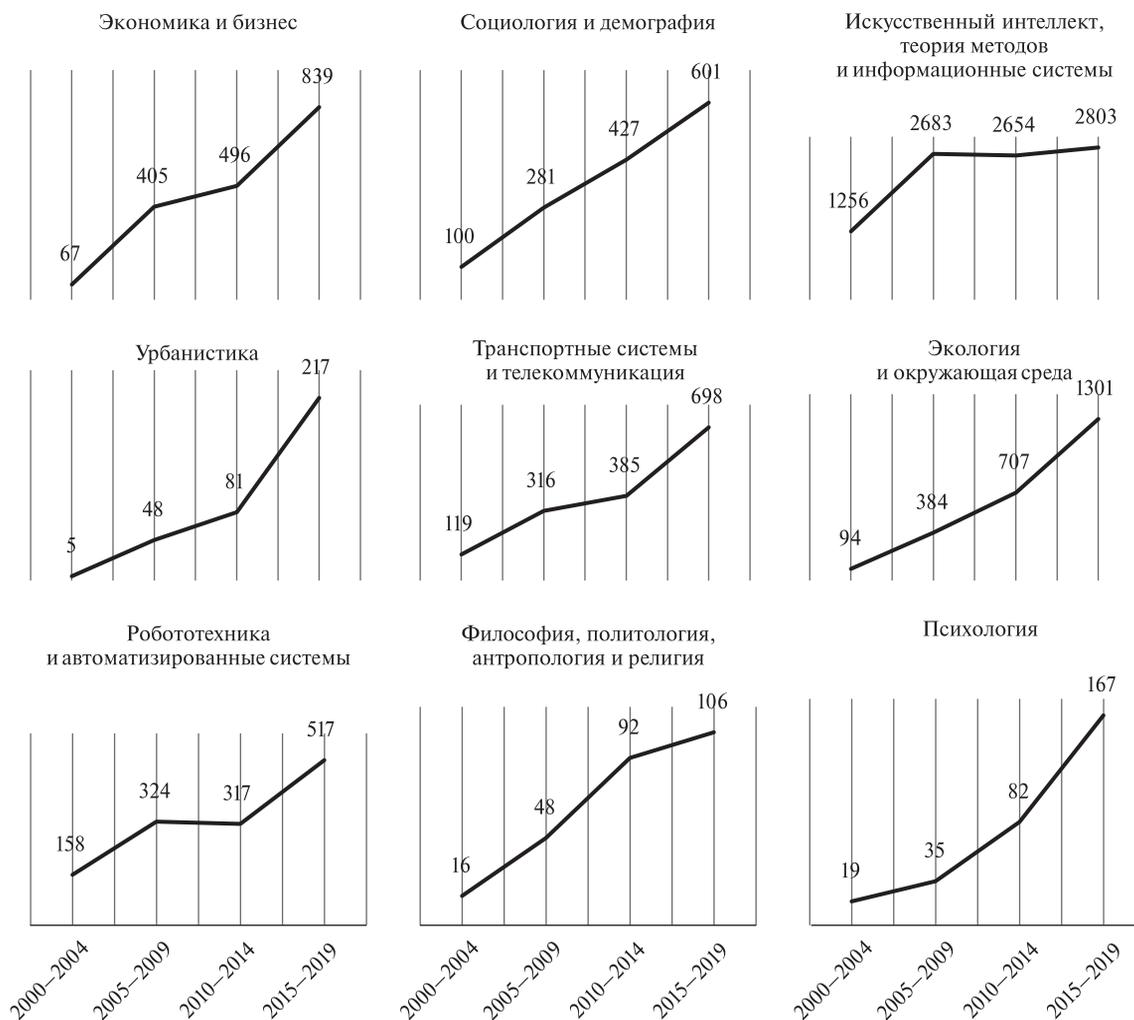


Рис. 9. Динамика числа и тематическая структура публикаций, проиндексированных базой Web of Science по ключевым словам «agent», «based», «modeling»

подхода при анализе проблем эпидемий и последствий иных внешнеэкономических шоков (Yang, Liu, Zhang, 2018; Mao, 2015; Zhang, Verbraeck, Meng, 2019; Teruhiko, Sanmay, Krishnamoorthya, 2012).

Развитие цифровых технологий привело к качественному изменению утилитарных свойств вычислительной техники. Программная адаптация сложных когнитивных схем превратила компьютер в инновационный инструмент решения творческих задач. Увеличение вычислительных мощностей современных компьютеров, развитие новых когнитивных технологий и агент-ориентированного подхода в частности, приближает человечество к возможностям разрешения задач неограниченной степени сложности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

Борщев А.В. (2004). От системной динамики и традиционного ИМ — к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты. XJ Technologies, СПбПУ. [**Borshchev A.** (2004). *From system dynamics and discrete event to practical agent Based modeling: Reasons, techniques, and tools*. XJ Technologies, SPbSTU (in Russian).]

Зулькарнай И.У. (2014). Задача агент-ориентированного моделирования распределения функций по вертикали в асимметричной федерации // *Вестник Башкирского университета*. Т. 19. № 4. С. 1249–1255. [**Zulkarnay I.U.** (2014). A task of agent-base modeling for allocation of functions on vertical in asymmetric. *Bulletin of Bashkir University*, 19, 4, 1249–1255 (in Russian).]

- Зулькарнай И.У.** (2019). Имитационное моделирование в исследовании вопросов оптимального размещения системообразующих вузов по территории страны // *Искусственные общества*. Т. 14. № 4. С. 9. [Zulkarnay I.U. (2019). Simulation modeling in the study of the optimal placement of systemically important universities across the country. *Artificial Societies*, 14, 4, 9 (in Russian).]
- Каталевский Д.Ю., Солодов В.В., Кравченко К.К.** (2012). Моделирование поведения потребителей // *Искусственные общества*. Т. 7. № 1–4. С. 3. [Katalevsky D., Solodov V., Kravchenko K. (2012). Modeling of consumer behavior. *Artificial Societies*, 7, 1–4, 3 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С.** (2019а). Имитационное моделирование системы «умный город»: концепция, методы и примеры // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. Т. 15. № 2 (371). С. 200–224. [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2019a). Simulation modeling of the smart city system: The concept, methods, and cases. *National Interests: Priorities and Security*, 15, 2 (371), 200–224 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф.** (2017). Искусственное общество и реальные демографические процессы // *Экономика и математические методы*. Т. 53. № 1. С. 3–18. [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Ageeva A.F. (2017). Artificial society and real demographic processes. *Economics and Mathematical Methods*, 53, 1, 3–18 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б.** (2019б). Агент-ориентированная суперкомпьютерная демографическая модель России: анализ апробации // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. Т. 12. № 6. С. 74–90. [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Sushko G.B. (2019b). Agent-based supercomputer demographic model of Russia: Approbation analysis. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 12, 6, 74–90 (in Russian).]
- Полякова Н.Л.** (2012). Методологическая саморефлексия социологии в конце 60-х — начале 70-х гг. XX в.: спор о позитивизме // *Вестник Московского университета. Социология и политология*. № 4. С. 24–52. [Polyakova N.L. (2012). Methodological self-reflection of sociology of the end of 1960–1970's: A dispute about positivism. *Moscow State University Bulletin. Series 18. Sociology and Political Science*, 4, 24–52 (in Russian).]
- Рамазанов Р.Р.** (2019а). Моделирование межрегиональной миграции при дифференциации характеристик одной локальной общественной услуги // *Искусственные общества*. Т. 14. № 1. С. 7. [Ramazanov R.R. (2019a). Modeling interregional migration in differentiating the characteristics of one local public service. *Artificial Societies*, 14, 1, 7 (in Russian).]
- Рамазанов Р.Р.** (2019б). Агентное моделирование распределения полномочий между уровнями государства // *Искусственные общества*. Т. 14. № 3. С. 10. [Ramazanov R.R. (2019b). Agent-based modeling the distribution of authorities between the levels of the state. *Artificial Societies*, 14, 3, 10 (in Russian).]
- Adorno Th.** (1970). Zur Logik der Sozialwissenschaften. *Der Posotivismusstreit in der deutschen Soziologie*, 125–144.
- Albin P., Foley K.** (1990). Decentralized, dispersed exchange without an auctioneer: A simulation study. *JEBO*, 18 (1), 27–51.
- Axelrod R.** (1997). The dissemination of culture: A model with local convergence and global polarization. *J. Conflict Resolute*, 41, 203–226.
- Axelrod R., Bennett D.** (1993). A landscape theory of aggregation. *British Journal of Political Science*, 23 (2), 211–233.
- Axelrod R., Mitchell W.** (1995). Coalition formation in standard-setting alliances. *Management Science*, 41 (9), 1493–1508.
- Axtell R.** (2006). Firm sizes: Facts, formulae and fantasies. *CSED Working Paper*, no 4.
- Berger T.** (2001). Agent-based spatial models applied to agriculture: A simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis. *Agricultural Economics*, 25 (2–3), 245–260.
- Bernardes A., Stauffer D., Kertesz J.** (2002). Election results and the Sznajd model on Barabasi network. *Eur. Phys. J.*, 25, 123–127.
- Broeke G., Voorna G., Ligtenberg A.** (2016). Which sensitivity analysis method should I use for my agent-based model? *JASSS*, 19 (1), 5.
- Danielson P.** (1992). *Artificial morality: Virtuous robots for virtual games*. N.Y.: Routledge.
- Danielson P.** (1996). *Modelling rationality, morality and evolution*. N.Y.: Oxford UP.
- Epstein J.M., Axtell R.** (1996). *Growing artificial societies: Social science from the bottom up*. Brookings Institution Press, 224.
- Friedenberg J.** (2008). *Artificial psychology: The quest for what it means to be human*. Taylor & Francis: Basingstoke.
- Ghazi S., Dugdale J., Khadir T.** (2016). Modelling air pollution crises using multi-agent simulation. *49th Hawaii International Conference on System Sciences*, 1530–1605.
- Guillermo M.** (2012). Using artificial societies to understand the impact of teacher student match on academic performance: The case of same race effects. *JASSS*, 15 (4), 8.

- Hahn U., Sydow M., Merdes C.** (2019). How communication can make voters choose less well. *Topics in Cognitive Science*, 11 (1), 194–206.
- Helbing D., Vicsek T.** (2000). Simulating dynamical features of escape panic. *Nature*, 407 (28), 487–490.
- Helbing D., Mulnar P.** (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Phys. Rev.*, 51, 4282–4286.
- Helmreich S.** (1998). Silicon second nature: Culturing artificial life in a digital world. *Artificial Life*, 7 (4), 425–428.
- Hills T., Todd P.** (2008). Population heterogeneity and individual differences in an assortative agent-based Marriage and Divorce Model (MADAM) using search with relaxing expectations. *JASSS*, 11 (4), 5.
- Huang J., Liu L., Shi L.** (2016). Auction policy analysis: An agent-based simulation optimization model of grain market. *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*, 3417–3428.
- Kalick S.M., Hamilton T.E.** (1986). The matching hypothesis reexamined. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51 (4), 673–682.
- Leea Ju-Sung, Filatovaa T., Ligmann-Zielinskab A, Hassani-Mahmoeic B., Stonedahld F., Lorscheide I, Voinova A., Polhill G., Sung Z., Parkerh P.** (2015). The complexities of agent-based modeling output analysis. *JASSS*, 18 (4), 4.
- Ligmann-Zielinska A., Kramer D.B.** (2014). Using uncertainty and sensitivity analyses in socioecological abm to improve their analytical performance and policy relevance. *PloS one*, 9 (10), 235–247.
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R.** (2009). *The 6th Conference of the European Social Simulation Association*. 14th-18th September, University of Surrey. Guildford. UK.
- Medina F., Quesada F., Lozano V.** (2014). The production of step-level public goods in structured social networks: An agent-based simulation. *JASSS*, 17 (1), 4.
- Nagel K., Paczuski M.** (1995). Emergent Traffic Jams. *Physical Review E*, 51, 2909–2918.
- Nagel K., Schreckenberg M.** (1992). A cellular automaton model for freeway traffic. *Journal de Physique I*, 2 (12), 2221.
- Saama N., Kerberb W.** (2013). Policy innovation, decentralized experimentation, and laboratory federalism. *JASSS*, 16 (1), 7.
- Schelling T.** (1978). *Micromotives and macrobehavior*. N.Y.: W.W. Norton & Company, 252.
- Schelling T.C.** (1971). Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1, 143–86.
- Simon H.** (1987). *Giving the soft sciences a hard sell*. Boston: Boston Globe.
- Souissi M.A., Bensaid Kh., Ellaia R.** (2018). Multi-agent modeling and simulation of a stock market. *IMFI*, 15(4), 123–134.
- Strubenhoff M.** (2017). The positivism dispute in German sociology, 1954–1970. *History of European Ideas* 44 (2), 260–276.
- Teruhiko Y., Sanmay D., Krishnamoorthya M.A.** (2012). Hybrid Model for Disease Spread and an Application to the SARS Pandemic. *JASSS*, 15 (1), 5.
- Todd P.M., Billari F.C.** (2003). Population-wide marriage patterns produced by individual mate-search heuristics. *Contributions to Economics*, 117–137.
- Troitzsch K.G.** (2014). Simulation experiments and significance tests. In: *Artificial economics and self-organization. 669 of lecture notes in economics and mathematical systems*. Heidelberg, N.Y.: Springer, 669, 17–28.
- Vallacher R.** (2017). *Computational social psychology*. London: Routledge.
- Walker L., Davis P.** (2013). Modelling “marriage markets”: A population-scale implementation and parameter test. *JASSS*, 16 (1), 6.
- Yang J., Liu R., Zhang G.** (2018). Task structure, individual bounded rationality and crowdsourcing performance: An agent-based simulation approach. *JASSS*, 21 (4), 12.
- Zhang M., Verbraeck, A., Meng R.** (2019). Modeling spatial contacts for epidemic prediction in a large-scale artificial city. *JASSS*, 19 (4), 3.

Agent modeling in research and forecasting of socio-economic systems and processes

© 2021 R.R. Ramazanov

R.R. Ramazanov,

Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia; e-mail: ruslan4729@mail.ru

Received 17.07.2020

This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 19-110-50165).

Abstract. All-pervading digitalization, which is a process of digitizing not only quantitative but also qualitative aspects of objects in the real world, creates new challenges and new opportunities for humanity. The embodiment of such opportunities, in particular, is the use of the growing volume of data in science. And here we are talking not only about classical statistical methods, but also about complex neural network and simulation approaches, many of which are successfully used today. This work is devoted to the study of the experience of using one of such approaches — agent-based modeling. This methodology is universal and allows you to reproduce socio-economic systems and processes of varying degrees of complexity. Its application may be limited only by the theoretical knowledge of the researcher and / or the computing power of the platform for the implementation of simulation models. The introductory part of the work discusses the conceptual foundations of the agent-based approach methodology and certain aspects of its advantages in the study of social processes. An approach to the classification of agent-based models according to the aggregation-atomization and abstraction-concretization scales is presented. The second part is devoted to the analysis of the experience of using agent-based modeling in the field of socio-economic relations. The review includes the works of foreign and Russian authors. In conclusion, the trends in the development of agent-based modeling and its prospects are discussed. Based on the analysis of the dynamics of the number and the thematic structure of studies carried out using the methodology of agent-based modeling, it is concluded that the latter is expanding into the subject areas of the humanities.

Keywords: agent-based approach, simulation, socio-economic systems and processes, computer technology, information technology, cognitive technology, cybernetics.

JEL Classification: B23, B41, 60, C63.

DOI: 10.31857/S042473880010550-4

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**

**Влияние институциональных факторов на межстрановые потоки
прямых иностранных инвестиций**

© 2021 г. И.М. Драпкин, К.В. Чукавина, Р.И. Грозных

И.М. Драпкин,

Уральский федеральный университет, Екатеринбург; e-mail: i.m.drapkin@mail.ru

К.В. Чукавина,

Уральский федеральный университет, Екатеринбург; e-mail: ch.chris@mail.ru

Р.И. Грозных,

Уральский федеральный университет, Екатеринбург; e-mail: rogneda.groznykh@urfu.ru

Поступила в редакцию 06.02.2020

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых докторов наук «Институциональные факторы привлечения прямых зарубежных инвестиций: страновой и региональный анализ» (проект МД-6402.2018.6).

Аннотация. В статье анализируется влияние уровня развития институтов в странах на величину потоков прямых иностранных инвестиций (ПИИ) между ними. С теоретической точки зрения рост качества институтов как в стране — импортере, так и в стране — экспортере ПИИ должен приводить к увеличению потоков ПИИ между ними. В то же время в известных эмпирических исследованиях зачастую получены противоречивые результаты. Для исследования используется база данных по 67 странам — импортерам и 109 странам — экспортерам ПИИ за период 2001–2016 гг., покрывающая порядка 80% ПИИ в мире за указанный период. В качестве характеристик уровня развития институтов стран использованы: индекс права голоса, индекс политической стабильности и отсутствия насилия, индекс качества государственного управления, индекс качества регулирования, индекс верховенства права и индекс контроля коррупции. Методом главных компонент данные показатели были объединены в один. В отличие от многих исследований на данную тему авторы концентрируются на проблеме эндогенности, которая должна быть решена для получения несмещенных и состоятельных оценок. Используя пуассоновский метод псевдомаксимального правдоподобия с инструментальными переменными, в противоположность многим эмпирическим исследованиям на данную тему, мы не находим подтверждения положительного влияния уровня институционального развития стран — инвестора и реципиента на притоки прямых иностранных инвестиций. Статистически значимого влияния институционального расстояния на межстрановые потоки ПИИ между странами также обнаружено не было.

Ключевые слова: гравитационная модель ПИИ, детерминанты ПИИ, институциональные факторы ПИИ, пуассоновский метод псевдомаксимального правдоподобия с инструментальными переменными, IV PPML, метод главных компонент.

Классификация JEL: F21.

DOI: 10.31857/S042473880007982-9

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время прямые иностранные инвестиции являются неотъемлемой частью открытой и эффективной международной экономической системы и одним из основных катализаторов устойчивого, качественного и сбалансированного экономического развития стран. Прямые иностранные инвестиции являются инструментом ускорения экономического и технического прогресса, обновления и модернизации производственных мощностей, освоения передовых методов организации производства, обеспечения занятости, а также подготовки кадров, отвечающих требованиям рыночной экономики. Привлечение прямых иностранных инвестиций особенно необходимо странам с развивающимися рынками, поскольку это позволяет им с относительно небольшими затратами включаться в международные цепочки добавленной стоимости, тем самым получая выгоды от интеграции в мировую экономику.

Выявление факторов, влияющих на приток прямых иностранных инвестиций в страну, является важной научной задачей, имеющей прикладное значение. В условиях ограниченности государственных ресурсов разработка системы мер для привлечения иностранных инвесторов должна опираться на эмпирически подтвержденные факторы, которые определяют выбор иностранными компаниями страны для осуществления инвестиций.

В центре внимания данной статьи — влияние институциональных факторов на приток ПИИ в страну. Теоретически влияние уровня развития институтов в стране на объем поступающих прямых иностранных инвестиций обосновывается следующим. Во-первых, слабые институты в стране ведут к дополнительным расходам инвесторов, а следовательно, их можно ассоциировать как дополнительный налог, с которым сталкивается иностранный инвестор. Во-вторых, слабый уровень институционального развития ведет к росту неопределенности, с которой сталкивается иностранный инвестор (Daude, Stein, 2007). В-третьих, низкий уровень развития институтов влияет на волатильность прямых иностранных инвестиций (Buchanan, Le, Rishi, 2012). Повышение качества институтов в стране — экспортере ПИИ снижает издержки ведения бизнеса в стране, что делает национальные компании более конкурентоспособными на международном рынке и, соответственно, приводит к росту исходящих потоков ПИИ¹.

Как показал анализ литературы, относящейся к рассматриваемой теме, многие исследования, вероятно, использовали смещенные оценки для интерпретации полученных результатов. Во-первых, наиболее адекватной базой для моделирования межстрановых потоков ПИИ является гравитационный подход. Отсутствие в оцениваемой модели переменных, отвечающих за расстояние между странами, а также за ВВП страны-инвестора ведет к пропуску значимых переменных в модели и, соответственно, получению смещенных оценок. Во-вторых, для оценивания модели межстрановых потоков ПИИ необходимо использовать специальные методы, которые дают несмещенные и состоятельные оценки при наличии гетероскедастичности и большого (до 70%) числа нулевых значений зависимой переменной. Наконец, при оценке влияния институтов на межстрановые потоки ПИИ необходимо решение проблемы эндогенности, которая возникает по причине одновременной (взаимного влияния) зависимости переменной и переменной, отвечающей за уровень развития институтов в стране.

Данное исследование направлено на устранение отмеченных методологических и эмпирических недостатков в существующей литературе.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Гравитационный подход распространен в эмпирической литературе для моделирования потоков прямых иностранных инвестиций. Используемый впервые Брейнардом (Brainard, 1997), он может быть представлен в следующем виде: $FDI_{ij} = M_i M_j / D_{ij}$, где FDI_{ij} — поток прямых иностранных инвестиций из страны j в страну i ; M_i и M_j — размеры (ВВП) стран i и j ; D_{ij} — расстояние между странами.

Кроме расстояния и размера стран, в эмпирической литературе выделяют также другие факторы, влияющие на приток ПИИ в страну. К первой группе факторов можно отнести различные экономические показатели: открытость экономики — импортера ПИИ (Kristjansdottir, 2004), темп инфляции (Liebrecht, Riedl, 2012), объем расходов государственного бюджета (Azeem, Hussain, Hussain, 2012), уровень затрат на труд (Liebrecht, Riedl, 2012), размер внешней торговли (Çevis, Çamurdan, 2007), налоги (Folfas, 2011), уровень инновационной активности в стране (Bormann, Jungnickel, Keller, 2005) и т.п. К другой группе можно отнести показатели, отражающие схожесть стран-партнеров: общий язык (Folfas, 2011), общая граница, наличие исторических связей (Africano, 2005) и т.п. К третьей группе факторов, причисляемых к детерминантам ПИИ, относятся характеристики институционального развития стран. Рассмотрим данную группу факторов более подробно.

Одна часть работ рассматривает влияние отдельных институциональных характеристик страны на притоки ПИИ. Показано, что страны с более развитым уровнем демократии привлекают больше ПИИ (Jensen, 2003). Уровень коррупции отрицательно влияет на решение ТНК организовывать

¹ Несмотря на то что термины «экспорт» и «импорт» чаще всего используются применительно к межстрановым торговым потокам, мы используем термины «экспорт ПИИ» и «импорт ПИИ», подразумевая межстрановое движение потоков капитала в мировой экономике.

производства в стране (Wei, 2000). Низкая коррупция и риск национализации, а также защищенность сделок ведет к росту потоков ПИИ (Gastanaga, Nugent, Pashamova, 1998). Неэффективные институты, в частности коррупция, слабое законодательное регулирование и политическая нестабильность ведут к сокращению потоков ПИИ в страну (Asiedu, 2006). Непредсказуемая государственная политика, избыточная административная нагрузка и невыполнение обязательств государством также снижает приток ПИИ (Daude, Stein, 2007). Повышение политической стабильности, качества регулирования и эффективности государственной власти стимулирует приток ПИИ в страну (Gani, 2007).

Во многих исследованиях в качестве детерминанта притоков ПИИ рассматриваются агрегированные показатели, включающие различные аспекты институционального развития страны. Глоberman и Шапиро, используя индекс, в который вошли показатели коррупции, верховенства права, качества регулирования и политической стабильности, показывают, что рост данного индекса ведет к росту притоков ПИИ в страну (Globerman, Shapiro, 2002). Бучанан и др. показывают, что индекс качества институтов положительно влияет на притоки ПИИ и отрицательно — на волатильность этих потоков (Buchanan et al., 2012).

В отдельную группу стоит выделить работы, оценивающие влияние уровня различий в развитии институтов стран-партнеров на объемы потоков ПИИ между ними. Было выявлено, что увеличение институционального расстояния (т.е. разницы между показателями институционального развития стран по модулю) приводит к сокращению движения инвестиций между странами (Ali, Fiess, Macdonald, 2010; Bénassy-Quere, Coupet, Mayer, 2007).

Наряду с исследованиями, выявившими положительное влияние уровня развития институтов на приток ПИИ в страну, существует значительная группа исследований, в которых получены иные выводы. Асиеду показывает, что ни политический риск, ни риск экспроприации не демонстрируют статистически значимого влияния на притоки ПИИ в страну (Asiedu, 2002). Нурбахш и др. не смогли выявить статистически значимой зависимости между демократией, политическим риском и притоком ПИИ (Noorbakhsh, Paloni, Youssef, 2001). Авторы (Harms, Ursprung, 2002; Kwang, Singh, 1996) обнаруживают неустойчивое влияние развития институтов на привлекательность страны для иностранного капитала. Ли и Ресник приходят к выводу, что уровень демократии в принимающей стране отрицательно влияет на потоки ПИИ (Li, Resnick, 2003). Уили и Моды, используя индекс развития институтов, куда вошли показатели коррупции, политической стабильности, бюрократии и эффективности законодательной системы, не смогли выявить связь индекса с решением ТНК инвестировать в страну (Wheeler, Mody, 1992).

ЭКОНОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

По мнению авторов, эмпирическая модель оценки факторов, влияющих на приток ПИИ в страну, должна основываться на гравитационном подходе, который имеет теоретическое обоснование² и эмпирическое подтверждение. Отступление от этого подхода (например, при рассмотрении в качестве зависимой переменной общего объема накопленных ПИИ в стране) ведет к игнорированию таких важнейших детерминантов ПИИ, как расстояние между странами и размер экономики страны-инвестора, а следовательно, — к получению смещенных результатов. Значительная часть упомянутых выше эмпирических исследований, связанных с оценкой институциональных детерминантов ПИИ, не основаны на гравитационном подходе (см., например, (Noorbakhsh et al., 2001; Li, Resnick, 2003; Jensen, 2003; Harms, Ursprung, 2002; Globerman, Shapiro, 2002; Gastanaga, 1998)).

Описание зависимой и объясняющих переменных, используемых в эконометрической модели, источников данных, а также ожиданий о знаке влияния каждой переменной в модели представлено в табл. 1. Обратим здесь внимание на две контрольные переменные, используемые в модели: уровень налогообложения и величина заработной платы в стране — импортере ПИИ. С одной стороны, высокие налоги и заработная плата означают более высокие издержки для инвестора и мы вправе ожидать отрицательную зависимость между данными показателями и притоком ПИИ в страну. С другой стороны, более высокая заработная плата и налоги (самые высокие налоги в мире — в наиболее развитых странах) означают более высокую платежеспособность населения в стране, а следовательно, и большую емкость рынка и его привлекательность для инвестора.

² Обзор теоретических работ, которые могут служить обоснованием гравитационной модели ПИИ, см., например, в (Драпкин и др., 2015, с. 76–78).

Таблица 1. Зависимая и объясняющие переменные в модели

Переменная	Значение	Источник данных	Ожидаемое влияние на зависимую переменную
Зависимая переменная			
FDI_{ijt}	Поток прямых иностранных инвестиций из страны j в страну i в году t , млн долл. США	UNCTAD, World Bank	–
Гравитационные переменные			
gdp_{it}	ВВП страны — импортера ПИИ i в году t , млн долл. США	World Bank	+
gdp_{jt}	ВВП страны — экспортера ПИИ j в году t , млн долл. США	World Bank	+
$dist_cap_{ij}$	Расстояние между столицами импортера и экспортера ПИИ, км	www.distancefromto.net	–
Контрольные переменные			
$openness_{it}$	Торговая открытость страны — импортера ПИИ в году t , %	World Bank, расчеты авторов	+
$infl_{it}$	Величина инфляции в стране — импортере ПИИ в году t , %	World Bank	–
tax_{it}	Уровень налогообложения в стране — импортере ПИИ в году t , %	ICTD/UNU-WIDER	+ или –
$wage_{it}$	Размер заработной платы в стране — импортере ПИИ в году t , долл. США	ILO	+ или –
Институциональные переменные			
$inst_{it}$	Уровень развития институтов в стране — импортере ПИИ в году t	Worldwide Governance Indicators	+
$inst_{jt}$	Уровень развития институтов в стране — экспортере ПИИ в году t	Worldwide Governance Indicators	+
$inst_diff_{ijt}$	Разница в уровне развития институтов («институциональное расстояние») стран i и j в году t	Расчеты авторов	–

Источник: составлено авторами.

* Рассчитывается как (импорт + экспорт)/ВВП.

** Рассчитывается как общая доля налоговых поступлений в структуре доходов бюджета страны.

*** Как для страны—импортера, так и для страны—экспортера ПИИ использованы следующие институциональные характеристики: индекс права голоса, индекс политической стабильности и отсутствия насилия, индекс качества государственного управления, индекс качества регулирования, индекс верховенства права и индекс контроля коррупции.

**** Рассчитывается как модуль разницы показателей $inst_{it}$ и $inst_{jt}$.

В этой связи влияние данных показателей на размеры поступающих в страну ПИИ может быть как положительным, так и отрицательным.

Используемая для эконометрической оценки база данных составлена на основе открытых источников и включает 105 194 наблюдения над 109 странами — экспортерами и 67 странами — импортерами прямых иностранных инвестиций за период с 2001 по 2016 г.

В эмпирической литературе существует известная дискуссия относительно методов оценивания уравнений гравитационного типа³. Данная дискуссия связана с особенностями данных по межстрановым потокам прямых иностранных инвестиций. Во-первых, стандартно в такой базе данных число нулевых значений доходит до 70%. С одной стороны, логарифмирование гравитационного уравнения приводит к потере этих наблюдений. С другой стороны, использование стандартного метода наименьших квадратов даже при замене логарифма зависимой переменной $\ln(FDI)$ на незначительную по величине константу (например, $\ln(1+FDI)$) дает смещенные оценки (Vénassy-Quégé et al., 2007). Во-вторых, в оцениваемых моделях, как правило, присутствует гетероскедастичность и серийная автокорреляция. В-третьих, определенный подход должен быть выработан относительно присутствующих в базе отрицательных наблюдений зависимой переменной.

Несмотря на то что оценка гравитационных моделей методом наименьших квадратов (МНК) подвергается критике, его использование можно встретить в отдельных работах (Africano, 2005;

³ Обсуждение подходов к эмпирической оценке межстрановых потоков ПИИ в рамках гравитационных моделей представлено также в предыдущих работах авторов (см., например, (Драпкин и др., 2014, 2015; Mariev, Drapkin, Chukavina, 2016)).

Ledyeva, Linden, 2006). В то же время большинство исследователей используют более современные и продвинутое методы исследования: тобит-регрессия (Martin, Pham, 2008; Hattari, Rajan, 2009), двухшаговая процедура Хекмена (Martin, Pham, 2008; Hattari, Rajan, 2009), подход Хаусмана–Тейлора (Egger, Pfaffermayr 2004; Folfas, 2011) и т.п.

В настоящий момент считается, что одним из наиболее продвинутых методов, дающих несмещенные и состоятельные оценки в условиях большого числа нулевых значений зависимой переменной и гетероскедастичности является пуассоновский метод псевдомаксимального правдоподобия (PPML). Впервые для оценки межстрановых потоков ПИИ его применили в (Silva, Tenreiro, 2006), а затем использовали во многих работах (Tenreiro, 2007; Kleinert, Toubal, 2010; Mariev et al., 2016; и др.). PPML является интерпретацией обобщенного метода моментов из множества методов максимального правдоподобия, а обобщенный метод моментов зачастую используется для коррекции смещения, вызванного эндогенностью объясняющих переменных. PPML с инструментальными переменными (IV PPML) оценивает параметры пуассоновской регрессионной модели, в которой некоторые регрессоры эндогенны. Модель также известна как модель экспоненциального условного среднего, в которой некоторые регрессоры подвержены эндогенности (Tenreiro, 2007). В данном исследовании для интерпретации результатов мы используем коэффициенты, полученные при оценивании модели методом IV PPML.

Эмпирическая оценка влияния уровня институционального развития стран на потоки прямых иностранных инвестиций между ними требует решения проблемы эндогенности, связанной с одновременным влиянием уровня институционального развития страны на объем поступающих прямых иностранных инвестиций, а также влиянием объема работающего иностранного капитала в стране на уровень ее институционального развития. В данном исследовании для решения проблемы эндогенности и получения несмещенных оценок использован метод инструментальных переменных. В качестве инструментов мы используем четыре дамми-переменные, каждая из которых отражает принадлежность страны к одной из четырех систем права: германской, французской, англо-саксонской либо скандинавской. Логика использования таких инструментов заключается в том, что страны с давними традициями государственного регулирования и судопроизводства (например, в основе юридических систем которых лежит англо-саксонская система общего права, французский Гражданский кодекс и т.п.) имеют значительно более высокий уровень эффективности государственных органов власти и соответственно, — более высокий уровень институционального развития в целом (La Porta et al., 1999; Chong, Zanforlin, 2000).

В ситуации, когда у нас есть несколько переменных, отвечающих за уровень развития институтов, возникает необходимость включить их в регрессионное уравнение. В то же время включение всех показателей одновременно может привести к смещенным оценкам в результате мультиколлинеарности, а включение показателей по отдельностикратно увеличит число регрессий в исследовании и может создать сложности в интерпретации результатов в случае разных знаков перед разными институциональными переменными. В условиях отсутствия строгой математической модели расчета индекса институционального развития мы используем *метод главных компонент* для генерирования единого показателя уровня институционального развития импортера ПИИ и единого показателя уровня институционального развития экспортера ПИИ. Одним из преимуществ метода главных компонент является минимальная потеря информации при уменьшении размерности данных (Акрап, Salisu, Simplice, 2014; Choi, Lee, Amir, 2016).

Оцениваемое эконометрическое уравнение имеет вид:

$$\ln FDI_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 \ln gdp_{it} + \beta_2 \ln gdp_{jt} + \beta_3 \ln distcap_{ij} + \beta_4 openness_{it} + \beta_5 infl_{it} + \beta_6 tax_{it} + \beta_7 \ln wage_{it} + \beta_8 inst_{it} + \beta_9 inst_{jt} + \beta_{10} inst_diff_{ijt} + \varepsilon_{ijt},$$

где β_0 — константа, $\beta_1, \dots, \beta_{10}$ — коэффициенты при объясняющих переменных, ε_{ijt} — ошибка регрессии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭМПИРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

На первоначальном этапе мы оцениваем эконометрическое уравнение различными методами, чтобы убедиться в устойчивости получаемых оценок. В связи с высокой парной корреляцией переменных, отражающих уровень налогов и заработной платы в стране—импортере ПИИ, мы не

Таблица 2. Влияние уровня развития институтов на межстрановые потоки ПИИ (различные методы оценивания без инструментальных переменных)

Переменная	МНК	МНК, случайные эффекты	МНК, фиксирован- ные эффекты	МНК, случайные эффекты	PPML	PPML, случайные эффекты
	$\ln fdi$	$\ln fdi$	$\ln(1 + fdi)$	$\ln(1 + fdi)$	$fdi \geq 0^4$	$fdi \geq 0$
ВВП импортера (логарифм)	0,614*** (0,011)	0,678*** (0,021)	0,309*** (0,024)	0,228*** (0,007)	0,749*** (0,038)	0,591*** (0,122)
ВВП экспортера (логарифм)	0,628*** (0,012)	0,690*** (0,023)	0,053*** (0,020)	0,229*** (0,008)	0,621*** (0,048)	0,707*** (0,161)
Расстояние (логарифм)	-0,839*** (0,017)	-0,902*** (0,037)	(omitted)	-0,372*** (0,016)	-0,547*** (0,042)	-0,631*** (0,109)
Инфляция импортера	-0,011*** (0,004)	-0,032*** (0,004)	-0,009*** (0,001)	-0,009*** (0,001)	-0,057*** (0,014)	-0,120*** (0,016)
Открытость импортера	0,001 (0,001)	0,006*** (0,001)	0,004*** (0,001)	0,002*** (0,000)	0,008*** (0,002)	0,016*** (0,004)
Налоги импортера	3,723*** (0,421)	5,030*** (0,784)	-0,866* (0,483)	0,413* (0,245)	1,949** (0,987)	4,636 (3,657)
Институты импортера	0,025* (0,013)	-0,056** (0,022)	-0,093*** (0,015)	-0,043*** (0,007)	-0,007 (0,040)	0,029 (0,095)
Институты экспортера	0,502*** (0,010)	0,318*** (0,019)	-0,038** (0,016)	0,146*** (0,007)	0,392*** (0,037)	-0,165 (0,120)
Число наблюдений	22 821	22 821	95106	95 106	95106	95106
R^2	0,37	0,35	0,02	0,20	0,11	---

Примечание. В табл. 2–5 в скобках указаны стандартные ошибки: «***» — $p < 0,01$; «**» — $p < 0,05$; «*» — $p < 0,1$; значение константы не представлено.

Источник: расчеты авторов в компьютерном пакете Stata.

включаем их одновременно в модель во избежание проблемы мультиколлинеарности. В табл. 2 представлены результаты оценок при включении в модель уровня налогов; при включении переменной уровня заработной платы знаки и значимость коэффициентов при объясняющих переменных существенно не меняются. Во всех оценках гравитационные переменные значимы на 1%-ном уровне значимости, а коэффициенты при них имеют ожидаемые знаки. Величина инфляции в стране предсказуемо имеет статистически значимое отрицательное влияние на приток прямых инвестиций в страну, а торговая открытость страны — значимое положительное влияние. Уровень налогов в стране—импортере ПИИ влияет преимущественно положительно на приток ПИИ в страну, что интерпретируется нами как ориентированность потоков ПИИ на объем рынка принимающей страны. Обратим внимание здесь на нестабильность знаков и значимости при переменных, отражающих уровень институционального развития как страны—импортера, так и страны—экспортера прямых иностранных инвестиций, что не позволяет на данном этапе сделать какие-то выводы о характере влияния уровня развития институтов на межстрановые потоки прямых иностранных инвестиций.

В табл. 3 представлены результаты оценок регрессий методом IV PPML. Как видно из данных этой таблицы, статистически значимые переменные институционального развития экспортера и импортера ПИИ в модели без инструментов перестали быть значимыми в модели с инструментальными переменными. Таким образом, мы не находим свидетельств положительному влиянию развития институтов на межстрановые потоки ПИИ. Гравитационные переменные сохранили свои знаки и значимость, в то время как открытость экономики, уровень заработной платы и налогов в стране—импортере ПИИ являются незначимыми в модели.

Оцениваемая эконометрическая модель позволяет получить ответ на вопрос, значим ли уровень развития институтов в стране—импортере ПИИ для инвесторов из стран с различным уровнем развития. В качестве критерия для уровня развития стран используется величина заработной платы

⁴ Использование пуассоновского метода псевдомаксимального правдоподобия в статистическом пакете Stata 14.0 не позволяет работать с зависимыми переменными, лежащими в области отрицательных значений, хотя никаких теоретических ограничений на этот счет не существует. В то же время применение метода IV PPML не накладывает никаких ограничений на диапазон значений зависимой переменной.

Таблица 3. Влияние уровня развития институтов в принимающей экономике на межстрановые потоки ПИИ

Переменная	Спецификация 1 (вся выборка)	Спецификация 2 (вся выборка)	Спецификация 1 (зароботная плата импортера ПИИ ниже заработной платы экспортера ПИИ)	Спецификация 2 (налоги импортера ПИИ ниже налогов экспортера ПИИ)
1	2	3	4	5
ВВП импортера, логарифм	1,536*** (0,338)	2,163*** (0,431)	1,636*** (0,362)	1,523*** (0,298)
ВВП экспортера, логарифм	1,912*** (0,225)	1,242*** (0,224)	1,145*** (0,230)	0,786*** (0,199)
Расстояние, логарифм	-1,522*** (0,232)	-1,463*** (0,195)	-1,497*** (0,243)	-1,523*** (0,228)
Инфляция импортера	-0,937*** (0,179)	-1,490*** (0,283)	-0,947*** (0,199)	-1,373*** (0,324)
Открытость импортера	0,010 (0,008)	0,009 (0,013)	0,012 (0,009)	0,003 (0,013)
Зароботная плата импортера, логарифм	-0,959 (0,659)		-1,073 (0,611)	
Налоги импортера		11,090 (10,974)		-0,871 (26,461)
Институты импортера	0,547 (0,447)	-0,064 (0,454)	0,639 (0,415)	-0,436 (0,518)
Число наблюдений	52417	95062	40434	54726
Статистика Хансена	0,06	0,26	0,15	0,79

Источник: расчеты авторов в компьютерном пакете Stata.

и уровень налогообложения в стране. В столбцах 4–5 табл. 3 представлены оценки регрессий для случаев ПИИ, когда уровень заработной платы и налогообложения в стране—импортере ПИИ ниже, чем в стране—экспортере ПИИ. Результаты оценок не меняются по сравнению с оценками на выборке целиком: в случае, когда ПИИ направляются в страны с более низким уровнем заработной платы и налогами, уровень развития институтов также не влияет статистически значимо на инвестиционную привлекательность страны для иностранных инвестиций.

Далее мы тестируем значимость переменной, отражающей влияние уровня развития институтов страны-экспортера на потоки ПИИ. В табл. 4 представлены результаты оценок различных спецификаций модели, включающих переменные заработной платы импортера, налогов в стране-импортере, а также уровня развития институтов в стране—импортере ПИИ. Во всех спецификациях переменная, отражающая уровень развития институтов в стране—экспортере ПИИ, является незначимой. Также незначимым является и влияние институтов в стране—экспортере ПИИ для инвестиций из группы стран с более развитыми институтами (табл. 4, столбец 5).

Таблица 4. Влияние уровня развития институтов в стране-инвесторе на межстрановые потоки ПИИ

Переменная	Спецификация 1 (вся выборка)	Спецификация 2 (вся выборка)	Спецификация 3 (вся выборка)	Спецификация 3 (ПИИ из группы стран с более разви- тыми институтами)
1	2	3	4	5
ВВП импортера (логарифм)	1,062*** (0,245)	1,387*** (0,345)	1,653*** (0,367)	1,391*** (0,264)
ВВП экспортера (логарифм)	1,254*** (0,133)	1,109*** (0,230)	1,367*** (0,175)	1,129*** (0,204)
Расстояние (логарифм)	-1,239*** (0,209)	-1,166*** (0,188)	-1,511*** (0,269)	-1,148*** (0,176)
Инфляция импортера	-0,794*** (0,169)	-1,199*** (0,202)	-0,966*** (0,174)	-0,769*** (0,152)
Открытость импортера	0,003 (0,007)	0,001 (0,011)	0,011 (0,008)	0,011* (0,006)
Зароботная импортера (логарифм)	-0,027 (0,223)		-1,151 (0,733)	-1,012 (0,659)
Налоги импортера		-4,243 (13,273)		
Институты импортера		0,202 (0,457)	0,747 (0,501)	-0,548 (0,470)
Институты экспортера	0,228 (0,162)	0,406 (0,326)	0,166 (0,214)	-0,206 (0,278)
Число наблюдений	50781	92096	50781	24946
Статистика Хансена	0,49	0,20	0,18	0,17

Источник: расчеты авторов в пакете Stata.

Таблица 5. Влияние институционального расстояния на межстрановые потоки ПИИ

Переменная	Спецификация 1 (вся выборка)	Спецификация 2 (вся выборка)	Спецификация 1 (институты экспор- тера более разви- ты, чем институты импортера)	Спецификация 2 (институты экспор- тера более разви- ты, чем институты импортера)
ВВП импортера (логарифм)	1,484 ^{***} (0,450)	1,410 ^{***} (0,290)	0,939 ^{***} (0,211)	1,427 ^{***} (0,289)
ВВП экспортера (логарифм)	1,048 ^{***} (0,163)	1,352 ^{***} (0,228)	0,847 ^{***} (0,184)	1,111 ^{***} (0,195)
Расстояние (логарифм)	-1,095 ^{***} (0,212)	-1,358 ^{***} (0,189)	-0,849 ^{***} (0,212)	-1,412 ^{***} (0,369)
Инфляция импортера	-1,096 ^{***} (0,267)	-0,874 ^{***} (0,152)	-1,235 ^{***} (0,292)	-0,822 ^{***} (0,233)
Открытость импортера	0,004 (0,013)	0,007 (0,008)	-0,004 (0,009)	0,013 ^{**} (0,006)
Заработная плата импортера (логарифм)		-0,381 (0,335)		-1,109 ^{***} (0,328)
Налоги импортера	-2,513 (12,351)		-0,021 (6,644)	
Институциональное расстояние	-0,923 (2,459)	-0,606 (0,650)	-1,876 (1,872)	-2,056 (1,536)
Число наблюдений	92096	50781	44197	25595
Статистика Хансена	0,17	0,19	0,17	0,96

Источник: расчеты авторов в пакете Stata.

В табл. 5 представлены результаты проверки гипотезы о значимости институционального расстояния на межстрановые потоки ПИИ. В связи с тем, что институциональная дистанция может являться препятствием для инвесторов из развитых стран при инвестициях в развивающиеся страны и не являться препятствием при ПИИ из развивающихся стран в развитые, мы оцениваем модель также отдельно для случая, когда уровень развития институтов страны-инвестора выше, чем страны-реципиента. Оценка модели с инструментами делает данный показатель незначимым как на всей выборке стран, так и на рассматриваемой подвыборке стран. Таким образом, мы не смогли найти подтверждения гипотезе о том, что уменьшение институционального расстояния между странами способствует росту ПИИ между ними.

Подытожим полученные результаты. Используя метод IV PPML для получения несмещенных и состоятельных оценок, мы не обнаруживаем подтверждения результатов предыдущих исследований о статистическом значимом положительном влиянии уровня развития экспортера и импортера на межстрановые потоки ПИИ. Свидетельств в пользу негативного влияния институционального расстояния на потоки ПИИ между странами также не было обнаружено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В фокусе внимания данной статьи находится влияние уровня институционального развития стран на потоки прямых иностранных инвестиций между ними. С теоретической точки зрения уровень развития институтов как импортера, так и экспортера ПИИ, косвенно характеризуя уровень издержек ведения бизнеса в странах, должен положительно влиять на потоки ПИИ между странами.

Значительная часть эмпирических исследований свидетельствует о положительном влиянии уровня развития институтов на потоки ПИИ. В то же время во многих работах не учитываются важнейшие факторы, которые могут вести к получению смещенных оценок. В частности, к таким факторам относятся: невключение важнейших детерминантов ПИИ (например, расстояния между странами и размера страны-экспортера), использование неоптимального метода оценивания, а также игнорирование проблемы эндогенности в модели.

Используя гравитационный подход к моделированию межстрановых потоков ПИИ, метод псевдомаксимального правдоподобия Пуассона с инструментальными переменными, а также метод главных компонент для составления интегрального индекса институционального развития, мы не находим свидетельств о положительном влиянии развития институтов на потоки ПИИ между странами. Также не находит подтверждения гипотеза об отрицательном влиянии институционального расстояния на потоки ПИИ: в нашем случае данный фактор оказывается незначимым как на всей базе, так и на исследуемых подвыборках.

Основной вывод, полученный в рамках данного исследования, заключается в том, что влияние уровня развития институтов в странах на приток прямых иностранных инвестиций зачастую преувеличивается. С высокой долей вероятности можно утверждать, что для принятия иностранными компаниями решений об осуществлении прямых иностранных инвестиций более приоритетными являются другие факторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Драпкин И.М., Мариев О.С., Чукавина К.В.** (2014). Гравитационный подход к эмпирической оценке факторов прямых зарубежных инвестиций в российской экономике // *Вестник УрФУ. Серия экономика и управление*. № 6. С. 58–66. [Drapkin I.M., Mariev O.S., Chukavina K.V. (2014). Gravity approach to the empirical assessment of the foreign direct investment determinants in the Russian economy. *Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management*, 6, 58–66 (in Russian).]
- Драпкин И.М., Мариев О.С., Чукавина К.В.** (2015). Количественная оценка потенциала импорта и экспорта прямых зарубежных инвестиций в российской экономике на основе гравитационного подхода // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 4 (28). С. 75–95. [Drapkin I.M., Mariev O.S., Chukavina K.V. (2015). Inflow and outflow potentials of foreign direct investment in the Russian economy: Numerical estimation based on the gravity approach. *Journal of the New Economic Association*, 4 (28), 75–95 (in Russian).]
- Africano A.** (2005). FDI and Trade in Portugal: a gravity analysis. *Research Work in Progress*, 174, 1–24.
- Akpan U., Salisu I., Simplice A.** (2014). Determinants of foreign direct investment in fast-growing economies: A study of BRICS and MINT. *African Governance and Development Institute WP/14/002*.
- Ali F., Fiess N., Macdonald R.** (2010). Do institutions matter for foreign direct investment? *Open Economies Review*, 21, 2, 201–219.
- Asiedu E.** (2002). On the determinants of foreign direct investment to developing countries: Is Africa different? *World Development*, 30, 107–119.
- Asiedu E.** (2006). Foreign direct investment in Africa: The role of natural resources, market size, government policy, institutions and political instability. *The World Economy*, 29, 63–77.
- Azeem S., Hussain H., Hussain R.** (2012). The determinants of foreign investment in Pakistan: a gravity model analysis. Log Forum. *Scientific Journal of Logistics*, 8, 2, 81–97.
- Bénassy-Quéré A., Coupet M., Mayer T.** (2007). Institutional determinants of foreign direct investment. *The World Economy*, 30, 764–782.
- Bormann C., Jungnickel R., Keller D.** (2005). What gravity models can tell us about the position of German FDI in Central and Eastern Europe. *HWWA Discussion Paper*, 1–34.
- Brainard S.** (1997). An empirical assessment of the proximity-concentration trade-off between multinational sales and trade. *American Economic Review*, 87, 4, 520–544.
- Buchanan B., Le Q., Rishi M.** (2012). Foreign direct investment and institutional quality: Some empirical evidence. *International Review of Financial Analysis*, 21, 81–89.
- Çeviz I., Çamurdan B.** (2007). The economic determinants of foreign direct investment in developing countries and transition economies. *The Pakistan Development Review*, 46, 3, 13–47.
- Choi J., Lee S., Amir S.** (2016). The effects of institutional distance on FDI inflow: General environmental institutions (GEI) versus minority investor protection institutions (MIP). *International Business Review*, 25, 1, 114–123.
- Chong A., Zanforlin L.** (2000). Law tradition and institutional quality: Some empirical evidence. *Journal of International Development*, 12, 8, 1057–1068.
- Daude C., Stein E.** (2007). The quality of institutions and foreign direct investment. *Economics & Politics*, 19, 317–344.
- Egger P., Pfaffermayr M.** (2004). Distance, trade and FDI: A SUR Hausman-Taylor approach. *Journal of Applied Econometrics*, 19, 2, 227–246.
- Folfas P.** (2011). FDI between EU member states: Gravity model and taxes. *Proceedings of European Trade Study Group*, 1–16.
- Gani A.** (2007). Governance and foreign direct investment links: Evidence from panel data estimations. *Applied Economics Letters*, 14, 753–56.
- Gastanaga V., Nugent J., Pashamova B.** (1998). Host country reforms and FDI inflows: How much difference do they make? *World Development*, 26, 1299–1314.
- Globerman S., Shapiro D.** (2002). Global foreign direct investment flows: The role of governance infrastructure. *World Development*, 30, 1899–1919.
- Harms P., Ursprung H.** (2002). Do civil and political repression really boost foreign direct investments? *Economic Inquiry*, 40, 4, 651–663.
- Hattari R., Rajan R.** (2009). What explains Intra-Asian FDI flows: Do distance and trade matter? *Economic Bulletin*, 29, 122–128.
- Jensen N.** (2003). Democratic governance and multinational corporations: Political regimes and inflows of foreign direct investment. *International Organization*, 57, 587–616.
- Kleinert J., Toubal F.** (2010). Gravity for FDI. *Review of International Economics*, 18, 1, 1–13.
- Kristjansdottir H.** (2004). Determinants of exports and foreign direct investment in a small open economy. Ph.D. Dissertation. University of Iceland. Faculty of Business and Economics.

- Kwang J., Singh H.** (1996). The determinants of foreign direct investment in developing countries. *Transnational Corporations*, 5, 2, 67–105.
- La Porta R., Lopez de Silanes P., Shleifer A., Vishny R.** (1999). The quality of government. *Journal of Law, Economics, and Organization*, 15, 1, 222–279.
- Ledyeva S., Linden M.** (2006). Testing for foreign direct investment gravity model for Russian regions. Department of Business and Economics, University of Joensuu. *Working Paper No. 32*.
- Leibrecht M., Riedl A.** (2012). Modelling FDI based on a spatially augmented gravity model: Evidence for Central and Eastern European Countries. *Working Paper Series in Economics*, 239.
- Li Q., Resnick A.** (2003). Reversal of fortunes: Democratic institutions and foreign direct investment inflows to developing countries. *International Organization*, 57, 1, 175–211.
- Mariev O., Drapkin I., Chukavina K.** (2016). Is Russia successful in attracting foreign direct investment? Evidence based on gravity model estimation. *Review of Economic Perspectives — Národohospodárský obzor*, 16, 3, 245–267.
- Mariev O., Drapkin I., Chukavina K., Rachinger H.** (2016). Determinants of FDI inflows: The case of Russian regions. *Economy of Region*, 12, 4, 1244–1252.
- Martin W.; Pham C.** (2015). Estimating the Gravity Model When Zero Trade Flows are Frequent and Economically Determined. *Policy Research Working Paper*, 7308. Washington, World Bank.
- Noorbakhsh F., Paloni A., Youssef A.** (2001). Human capital and FDI inflows to developing countries: New empirical evidence. *World Development*, 29, 9, 1593–1610.
- Silva S., Tenreiro J.** (2006). The log of gravity. *The Review of Economics and Statistics*, 88, 4, 641–658.
- Tenreiro S.** (2007). On the trade impact of nominal exchange rate volatility. *Journal of Development Economics*, 82, 485–508.
- Wei Sh.** (2000). How taxing is corruption on international investors? *Review of Economics and Statistics*, 82, 1–11.
- Wheeler D., Mody A.** (1992). International investment location decisions: The case of U.S. firms. *Journal of International Economics*, 33, 1–2, 57–76.

Institutional determinants of bilateral foreign direct investment flows

© 2021 I.M. Drapkin, K.V. Chukavina, R.I. Groznykh

I.M. Drapkin,

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia; e-mail: i.m.drapkin@mail.ru

K.V. Chukavina,

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia; e-mail: ch.chris@mail.ru

R.I. Groznykh,

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia; e-mail: rogneda.groznykh@urfu.ru

Received 06.02.2020

This study was supported by the grant of the President of the Russian Federation on state support of young scientists “Institutional determinants of foreign direct investment in flows: Country and regional analysis” (project MD-6402.2018.6).

Abstract. The paper analyses the influence of institutional development level on bilateral foreign direct investment (FDI) flows. The theory suggests that more developed institutions in both home and host countries should increase FDI flows between countries. At the same time existing empirical research often have controversial results. We use the database on bilateral FDI flows for 67 recipient countries and 109 home countries for the years of 2001–2016, covering about 80% of FDI flows of the period. The following indicators of institutional development are considered: voting right, political stability, government efficiency, regulation quality, rule of law and corruption control. Using the principal component analysis, we construct an aggregate index of institutional development for each country in the respective year. In contrast to many related research we consider the endogeneity problem to get the unbiased estimates. Using Poisson pseudo maximum likelihood method with instrumental variables (IV PPML) and in opposition to many empirical researchers we do not find support to the positive influence of countries’ institutional development on FDI flows. We do not find proof for the hypothesis that increases in institutional distance between countries lead to bilateral FDI shrinking.

Keywords: FDI gravity model, FDI determinants, institutional determinants of FDI, Poisson pseudo maximum method with instrumental variables, IV PPML, principal component analysis.

JEL Classification: F21.

DOI: 10.31857/S042473880007982-9

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Использование модели трехстороннего рынка
в стратегировании медиаиндустрии

© 2021 г. С.А. Варганов

С.А. Варганов,

Московская школа экономики, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
e-mail: sergvar@gmail.com

Поступила в редакцию 14.09.2020

Исследование выполнено при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Математические методы анализа сложных систем».

Аннотация. Цифровизация и медиатизация экономики значительно усилили влияние на экономику глобального информационного контекста. Это влияние осуществляется преимущественно через информационный фон на менеджмент предприятий, а на потребителей — через рекламу, связывает воедино медиаиндустрию и другие отрасли и обуславливает неизбежность исследования такой связи при решении любых задач стратегирования. Предлагаемые в современной литературе модели рынков рекламы редко анализируют медиа как субъектов индустрии, имеющих собственные стратегические цели и задачи. А модели двусторонних рынков, рассматривающие медиа как платформы, связывающие потребителей с производителями, не учитывают одновременного характера потребления продукции промышленных фирм и контента аудиторий и производственного характера задач, решаемых промышленными фирмами. В настоящей работе предложена методология построения моделей рынка нового типа, включающая три типа участников — потребителей, медиафирмы и промышленные фирмы-производители. В соответствии с предложенной методологией построена модель простейшего трехстороннего рынка, для которой обсуждаются вопросы существования и свойства равновесия. Анализ предложенной модели представляет собой отдельный этап исследования межотраслевого взаимодействия в рамках решения задачи стратегирования в медиаиндустрии и связанных отраслях экономики. На уровне стратегирования отдельных медиапредприятий или холдингов предлагаемая модель позволяет прогнозировать долгосрочные стратегии конкурентов. На индустриальном уровне разработки стратегии наша модель позволяет построить на основе свойств равновесия на трехстороннем рынке (уровень благосостояния, объемы производства, фактическая структура подрынков) ключевые показатели, определяющие стратегические приоритеты развития медиаиндустрии.

Ключевые слова: медиастратегирование, медиаэкономика, теория стратегии, поведение потребителя, несовершенная конкуренция, медиарекламный рынок.

Классификация JEL: M37, C60, C70, D01, D11, D21, D60.

DOI: 10.31857/S042473880014077-3

ВВЕДЕНИЕ

При решении прикладных и теоретических задач стратегирования невозможно переоценить значимость глобального информационного контекста, в котором находятся все заинтересованные стороны: стратег, стратеглируемое предприятие или регион, его конкуренты, возможные выгодоприобретатели и клиенты. В широком смысле этот глобальный информационный контекст и есть *ноосфера Вернадского* — пространство мыслей и идей (Квинт, 2013). Однако в более узком смысле под информационным контекстом можно понимать принятие любых решений с помощью совокупности всей информации, получаемой лицом, принимающим решения, из медиа-источников. Глобальный информационный контекст является неотъемлемым измерением, в котором происходит процесс стратегического мышления. В определенном смысле его можно считать частью изменения Пространства как одной из Трех осей стратегического мышления (Kvint, 2015).

Широкое распространение медиакоммуникационных технологий, развитие платформ социальных медиа и становление нового поколения «цифровых аборигенов» (Dunas, Vartanov, 2020)

в совокупности привели к созданию *нового типа социального устройства — общества цифровой медиакультуры*. Есть несколько подходов к описанию механизмов порожденного ею влияния глобального информационного контекста на промышленность и финансовый сектор экономики.

1. *Менеджмент* промышленных компаний принимает стратегические решения, опираясь на известную ему информацию о рынке и на общий информационный фон, формируемый в том числе медиафирмами и лидерами мнений, чей контент он потребляет не только в процессе стратегирования, но и в быту. Ряд исследований подтверждает существование статистически значимого влияния эмоциональной окраски информационно-новостного фона на динамику фондовых рынков таких стран, как Китай (в том числе Тайвань) (Wei et al., 2017; Wu, Hou, Lin, 2018), США (Gupta, Vanerjee, 2018; Walker, 2016) и Россия (Федорова, Рогов, Ключников, 2018; Афанасьев и др., 2020), а также отдельных компаний и отраслей.

2. *Реклама*. Основным каналом доставки рекламы товаров и экономических благ до потребителя является медиаконтент, в который эта реклама встроена. Потребление этих благ и медийного контента происходит не только одновременно, но и с одними целями, связанными с удовлетворением базовых человеческих потребностей (Dunas, Vartanov, 2020), а выбор их объемов представляет единую задачу потребителя в современной цифровой экономике. В наибольшей мере это характерно для молодежи, однако и среди представителей других поколений это становится справедливым (пусть и в меньшей степени).

Таким образом, влияние глобального информационного контекста на экономику промышленности по двум основным направлениям — через информационный фон на менеджмент и принимаемые им решения и через внедренную в медиаконтент рекламу на потребителей — связывает воедино медиаиндустрию и промышленность, образуя своего рода треугольник, вершиной которого становятся конечные потребители. Данный треугольник представляет собой модель трехстороннего рынка, в котором стороны существенно влияют друг на друга и экономическим эффектом которого невозможно пренебречь (Вартанов, 2020б). Математической формализации и исследованию подобного рынка и обсуждению места этих моделей в задачах медиастратегирования посвящена настоящая работа.

1. МЕДИАФИРМЫ. ПОСРЕДНИКИ, ИЛИ ОСОБЫЙ ТИП ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Традиционно рассматриваемые производственные цепочки на рынках, включающих рекламное воздействие, маркетинговые каналы, включают производителей и продавцов-ритейлеров (Jørgensen, Zaccour, 2014). Однако на рекламном рынке существуют полноценные игроки, связанные с каналами доставки информации. Телеканалы, интернет-порталы и радиостанции являются участниками рынка, которые фактически продают свою аудиторию производителям. При моделировании их поведения в существующей литературе применяются модели двусторонних рынков (Rochet, Tirole, 2003), на которых продавец взаимодействует с покупателями, разделенными на две принципиально различные группы. Он предлагает каждой группе покупателей разные товары, удовлетворяющие принципиально различные потребности, однако спрос одной группы существенно зависит от спроса другой, и наоборот. Роль производителя на данном рынке — быть платформой, соединяющей две группы потребителей. На медиарынках платформой выступает медиа, которое объединяет две группы пользователей: аудиторию средств массовой коммуникации, покупающую контент у фирм-владельцев медиаканалов (медиафирм), и рекламодателей, покупающих у них же рекламные контакты с аудиторией (Anderson, Gabszewicz, 2006). Под контентом при этом понимается информационное наполнение данного медиа, и спрос потребителей двух типов на него взаимозависим. Спрос на размещение рекламы в медиа тем выше, чем большую аудиторию сможет привлечь к себе медиа. Однако зрители и слушатели медианосителя при изменении объема рекламы в СМИ могут изменять объем потребления этого носителя (Баландина, Баскакова, 2016). В подобной постановке проблемы экономическое воздействие рекламы описывается как возникающие в модели двустороннего рынка сетевые эффекты (Шаститко, Паршина, 2016).

Платформа-медиа принимает на себя трансакционные издержки по координации и мотивации двух групп потребителей, определяет структуру и уровень цен на рынке. Если на рынке действуют несколько медиафирм, распределение аудитории между принадлежащими им медиаканалами, как правило, полагается не зависящим от их стратегий. В качестве этих стратегий выступает выбор цен на рекламу (Anderson, Foros, Kind, 2017, 2019), а в случае двойного финансирования — еще и выбор меню предлагаемого потребителям контента (Godes et al., 2009). Прибыль складывается из выплат

от рекламодателей в рамках рекламных контрактов (Ambrus, Calvano, Reisinger, 2016; Bergemann, Bonatti, 2011), а если медиафирма производит и продает контент, то дополнительно и от его потребителей — за потребляемый ими контент (Crampes, Naritchabalet, Jullien, 2009; Godes, Ofek, Sarvary, 2009). Выплаты медиафирмам от рекламодателей определяются тем, какую долю аудитории среди потребителей им удастся охватить рекламными показами. Воздействие рекламы предполагается информирующим: потребитель, столкнувшийся с рекламой, лишь узнает о существовании товара, но не меняет своих предпочтений. Потребитель выбирает те медиаканалы, с которыми хотел бы контактировать. Его полезность определяется как разность двух показателей — собственно полезности от потребления контента медиа или коммуникативных возможностей социальных сетей (Godes et al., 2009) и негативного воздействия, связанного с раздражением потребителя от избытка рекламы (Reisinger, 2012).

Рекламодатели — особый тип потребителей, отличных от аудитории. Задача рекламодателя — выбрать оптимальный набор медиаканалов, в которых размещать свою рекламу, и объемы размещаемой в них рекламы. Критерием оптимальности $\psi(\bar{y})$ является полезность, определяемая как разность вида $\psi(\bar{y}) = A(\bar{y}) - G(\bar{y})$, где \bar{y} — вектор объемов рекламы в каждом из существующих медиа; $A(\cdot)$ — влияние такого рекламного воздействия на ожидаемую прибыль рекламодателя (фактически, на объем спроса на продукцию с учетом цены); $G(\cdot)$ — затраты на размещение рекламы.

2. ТРЕХСТОРОННЯЯ МОДЕЛЬ РЫНКА. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

2.1. Общий контекст постановки модели

Дальнейшей задачей в рамках исследования экономики рекламы является изучение единого метарынка, связывающего товарные рынки с медиарекламными рынками, на которых продаются контакты аудитории с рекламными сообщениями о продукции каждого производителя. Модель подобного рынка позволит ответить на ряд новых вопросов, ответ на которые не могут дать ни традиционные модели рынков с рекламой, ни двусторонние модели медиарынков, основанные на концепции средств массовой коммуникации как платформ. Например, «Какие цены установятся на рынке в результате взаимодействия медиафирм, производящих контент, фирм—производителей экономических благ, желающих использовать медиа для размещения своей рекламы, и аудитории, потребляющей как эти блага, так и контент?», «К каким изменениям в общественном благосостоянии это приводит по сравнению с уже исследованными моделями рынков?».

В трехсторонней модели потребители выступают одновременно в двух ролях — потребителей товара и потребителей медиаконтента. При этом потребление медиаконтента приносит им полезность, как и потребление обычных благ (Dunas, Vartanov, 2020). Особым типом контента является реклама, однако сравнимой с полноценным медиапотреблением полезности она не приносит, но она воздействует на выбор потребителем товарных и контентных благ. Потребление рекламы происходит параллельно с потреблением обычного контента, в который внедрена. На полезность контентного блага реклама преимущественно негативно воздействует из-за эффекта раздражения: чем больше доля рекламы в контенте, тем меньшую ценность он несет для потребителя.

Вторая сторона рынка — фирма-производитель. Ее поведение соответствует задаче максимизации прибыли за счет выбора общей стратегии, состоящей из рекламных и нерекламных компонент, и родственной задаче медиапланирования (см. разд. 1). В общем виде прибыль рекламирующей фирмы имеет вид

$$\pi_i(\mathbf{p}; \mathbf{A}; Z) = p_i D_i(\mathbf{p}; \mathbf{A}; Z) - C_i(D_i(\mathbf{p}; \mathbf{A}; Z)) - \varphi_i(A_i) \rightarrow \max_{p_i, A_i}, \quad (1)$$

где $\mathbf{p} = (p_i, p_{-i})$ — вектор цен на товары; p_i — управляемая фирмой цена на товар; p_{-i} — цены на товары конкурентов; $\mathbf{A} = (A_i, A_{-i})$ — совокупность рекламных стратегий производителей; A_i — стратегия фирмы; A_{-i} — стратегии конкурентов; $C_i(\cdot)$ — функция полных затрат фирмы i ; $\varphi_i(\cdot)$ — функция рекламных затрат в зависимости от выбранной стратегии A_i (если в качестве стратегии выступает объем расходов на рекламу, то $\varphi_i(x) \equiv x$); $D(\cdot)$ — функция спроса; Z — вектор параметров рынка, не подконтрольных фирмам.

Фирмы—владельцы СМИ — третья сторона рынка. Они создают контент, продавая его потребителям, и доводят до них рекламу производителей, продавая им свою аудиторию. Причем доходы этих фирм включают доходы как от продажи рекламы (Gal-Or, Dukes, 2003; Вартанов, 2020б), так и контента (Godes et al., 2009).

2.2. Постановка задачи и формализация

Приведем формулировку трехсторонней модели для практически значимого случая. Все фирмы на рынке (и производители, и медиа) являются на своих рынках олигополистами по Курно. Естественно, рынки могут быть устроены иначе. Например, медиарынок может быть организован как олигополия Курно, а рынок рекламируемых товаров — как монополистическая конкуренция по Дикситу–Стиглицу. Кроме того, товар и контент могут быть дифференцированы вертикально и/или горизонтально (Dukes, 2004; Вартанов, 2020б). Для таких рынков трехсторонняя модель формулируется аналогичным образом с учетом их особенностей. Принцип трехсторонности, на основе которого строится модель рынка, не зависит от дифференциации товаров и структуры множества фирм и состоит в том, чтобы учитывать при расчете равновесия взаимного влияния друг на друга всех сторон рынка — потребителей-аудитории, медиа и производителей.

Пусть потребитель обладает предпочтениями на множестве благ, элементы которого включают как товарные элементы \mathbf{q} , так и контентные \mathbf{c} . Потребитель принимает решение в условиях убеждающего рекламного воздействия, описываемого вектором \mathbf{a} , элементы a_{ij} которого представляют долю рекламы блага i в контенте типа j ($\forall j a_{1j} + \dots + a_{nj} \leq 1$). В общем виде задача, решаемая отдельным потребителем, имеет вид

$$u(\mathbf{q}, \mathbf{c}) \rightarrow \max_{(\mathbf{q}, \mathbf{c}) \in X},$$

где $X = \{(\mathbf{q}, \mathbf{c}) \mid \mathbf{p}^q \mathbf{q} + \mathbf{p}^c \mathbf{c} \leq R\}$ — бюджетное множество, ограничения которого касаются объемов как товарных, так и контентных благ; $\mathbf{p} = (\mathbf{p}^q, \mathbf{p}^c)$ — вектор цен на все блага (в том числе \mathbf{p}^q — товарные, \mathbf{p}^c — контентные); R — общий бюджет потребителя.

При построении бюджетного множества для такой задачи важно иметь в виду, что контентные блага имеют ненулевую цену. Цена определяется на основе того, во сколько потребителю обходится получение этого блага. Полезность потребителя имеет особый вид, связанный с тем, как внедренная в контент реклама влияет на ценность этого контента:

$$u(\mathbf{q}, \mathbf{c}) = \sum_{i=1}^n u_i(q_i) \left(1 + f_i\left(\sum_{k=1}^m a_{ik} c_k\right)\right) + \sum_{j=1}^m v_j(c_j) \left(1 - g_j\left(\sum_{l=1}^n a_{lj}\right)\right). \quad (2)$$

Здесь функции $u_i(q_i)$ и $v_j(c_j)$ характеризуют полезность потребителя от потребления q_i единиц товарного блага i и c_j единиц контентного блага j . Возрастающая функция $g_j(\lambda)$ представляет собой меру раздражения потребителя от того, что контентное благо i на долю $\lambda = \sum_{l=1}^n a_{lj}$ состоит из рекламы. При этом $g(0) = 0$, т.е. отсутствие рекламы в данном типе контента позволяет получить от него максимальную полезность. Однако если контент состоит только из рекламы, его полезность не обязательно равна нулю, так как от просмотра одной лишь рекламы также можно получить определенную пользу, или даже удовольствие, поэтому, вообще говоря, $g(1) \leq 1$.

Возрастающая функция $f_i(A)$ характеризует дополнительную полезность товара i , получаемую за счет убеждения рекламой в объеме A , который при заданных значениях \mathbf{c} и \mathbf{a} равен $\sum_{k=1}^m a_{ik} c_k$. Требование убывающей эффективности рекламы приводит к вогнутости функции $f(\cdot)$, кроме того, $f(0) = 0$, т.е. если потребитель не видел рекламы, то его полезность остается нетронутой.

Предположим, что при любом наборе цен \mathbf{p} и уровнях рекламы \mathbf{a} существует единственное решение задачи потребителя, построенной описанным образом. Изучение условий существования и единственности такого решения представляет отдельную задачу. В качестве примера достаточно условия может служить требование знакопеременности главных миноров блочной матрицы вида

$$H = \begin{pmatrix} H_{qq} & H_{cq} \\ H_{cq} & H_{cc} \end{pmatrix},$$

где

$$H_{qq} = \text{diag} \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial q_i^2} \left(1 + f_i\left(\sum_{k=1}^m a_{ik} c_k\right)\right), \quad i = 1, \dots, n \right) -$$

диагональная матрица прироста предельной полезности товарных благ;

$$H_{cc} = \left((1 - g_{j_1}(\lambda)) v_{j_1}'' \delta_{j_1 j_2} + \sum_{l=1}^n u_l(q_l) a_{lj_1} a_{lj_2} f_l'' \left(\sum_{k=1}^m a_{lk} c_k\right), \quad j_1, j_2 = 1, \dots, m \right) -$$

матрица внутритипового влияния потребления контентных благ на их предельную полезность;

$$H_{cq} = \left(u_i'(q_i) a_{ij} f_i' \left(\sum_{k=1}^m a_{ik} c_k\right), \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m \right) -$$

матрица кросстипового влияния благ на их предельную полезность; $\delta_{j_1 j_2}$ — дельта Кронекера

$$\delta_{j_1 j_2} = \begin{cases} 1, & j_1 = j_2; \\ 0, & j_1 \neq j_2. \end{cases}$$

Решение задачи потребителя при заданном наборе цен \mathbf{p} и уровнях рекламы \mathbf{a} порождает спрос двух типов: спрос $\mathbf{Q}(\mathbf{p}, \mathbf{a})$ на товары и $\mathbf{C}(\mathbf{p}, \mathbf{a})$ — на контент. Эти функции спроса известны производителям и медиафирмам. Так как в описываемой модели фирмы действуют аналогично олигополистам по Курно, то для формирования задач производителя и медиафирмы используются обратные функции спроса. Обозначим через $\tilde{\mathbf{p}}^q(\mathbf{q}, \mathbf{p}_c, \mathbf{a})$ обратную функцию спроса на товары, представляющую собой решение системы уравнений $\mathbf{q} = \mathbf{Q}(\mathbf{p}, \mathbf{a})$. Аналогично определяется обратная функция спроса на контент $\tilde{\mathbf{p}}^c(\mathbf{c}, \mathbf{p}_q, \mathbf{a})$, решение системы $\mathbf{c} = \mathbf{C}(\mathbf{p}, \mathbf{a})$.

Производители максимизируют прибыль при известном им спросе потребителей, выбирая объемы производства. Обозначим через \mathbf{q}_i вектор выпусков фирмы i ; \mathbf{a}_i — вектор, составленный из связанных с ними компонентов вектора рекламных воздействий \mathbf{a} ; $c_k(\mathbf{q}, \mathbf{p}_c, \mathbf{a})$ — спрос на контент типа k , если объем потребления товаров фиксирован на уровнях \mathbf{q} ; цены на контент равны \mathbf{p}_c , а доли рекламы в нем определяются вектором \mathbf{a} . Задача максимизации прибыли фирмы i (1) приобретает вид

$$\max_{\mathbf{q}_i, \mathbf{a}_i} \pi_i^p(\mathbf{q}_i, \mathbf{a}_i) = \max_{\mathbf{q}_i, \mathbf{a}_i} \left[\sum_{j \in J_i} \left(\tilde{\mathbf{p}}_j^q(\mathbf{q}, \mathbf{p}_c, \mathbf{a}) q_j - \sum_{k \in K_j} \varphi_{jk}(a_{jk} c_k(\mathbf{q}, \mathbf{p}_c, \mathbf{a}), p_k^a) \right) - C_i(\mathbf{q}_i) \right], \quad (3)$$

где $\tilde{\mathbf{p}}_i^q$ — составленная из элементов вектор-функции $\tilde{\mathbf{p}}^q(\mathbf{q}, \mathbf{a})$, обратная функция спроса на товары только фирмы i ; J_i — множество номеров этих товаров; $\mathbf{q} = (\mathbf{q}_i, i = 1, 2, \dots)$ вектор выпусков товаров всех фирм; K_j — множество типов контента, в которых фирма размещает рекламу товара j ; функция $\varphi_{jk}(a_{jk} c_k, p_k^a)$ определяется схемой оплаты за размещение рекламы в контенте типа k . Стоимость размещения рекламы зависит от выбранной медиафирмой базовой цены p_k^a за единицу рекламной части контента, а также от общего объема рекламы товара в контенте, равной $a_{jk} c_k$. Например, если все рекламные контакты для фирмы стоят одинаково, то схема оплаты линейная и $\varphi_{jk}(a_{jk} c_k, p_k^a) = p_k^a a_{jk} c_k$, если каждый дополнительный контакт должен обходиться дороже предыдущего, то $\varphi_{jk}(a_{jk} c_k, p_k^a) = p_k^a \psi(a_{jk} c_k)$, где $\psi(\cdot)$ — выпуклая функция, и т.д. При фиксированных ценах на рекламу и контент равновесные объемы производства товара $\mathbf{q}_i^*(\mathbf{p}_a, \mathbf{p}_c)$ и спрос на рекламу $\mathbf{a}_i^*(\mathbf{p}_a, \mathbf{p}_c)$ определяются из равновесия Нэша в игре, возникающей между производителями, где выигрышем каждой фирмы служит ее прибыль. Из условия баланса $\mathbf{a} = \mathbf{a}^*(\mathbf{p}_a, \mathbf{p}_c)$ решение относительно \mathbf{p}_a определяется как обратная функция спроса на рекламу $\hat{\mathbf{p}}^a(\mathbf{a}, \mathbf{p}_c)$, подставляя в которую на место цен контента \mathbf{p}_c обратную функцию спроса $\tilde{\mathbf{p}}^c(\mathbf{c}, \mathbf{a})$, окончательно получим обратную функцию спроса $\tilde{\mathbf{p}}^a(\mathbf{c}, \mathbf{a}) = \hat{\mathbf{p}}^a(\mathbf{a}, \tilde{\mathbf{p}}^c(\mathbf{c}, \mathbf{a}))$ — уровень цен, по которым в равновесии закупают рекламу производители, если им доступны доли \mathbf{a} в контенте объемов \mathbf{c} .

Стратегией медиафирмы является объем производства контента каждого типа и выделяемая в нем общая доля под рекламу. Прибыль π_j^m медиафирмы j определяется размером выплат за размещение рекламы, полученных от производителей, совокупной аудиторией произведенного ими медиаконтента и затратами на производство контента. Медиафирма выбирает объем контента, который предлагается аудитории, и выделяет долю своего контента для размещения в ней рекламы производителей. Задача медиафирмы имеет вид

$$\max_{a_j, c_j} \pi_j^m = \max_{a_j, c_j} \sum_{l \in L_j} \left[\tilde{\mathbf{p}}_l^c(\mathbf{c}, \mathbf{a}) c_l + \sum_{i=1}^n \varphi_{il}(a_{il} c_l, \tilde{\mathbf{p}}_i^a(\mathbf{c}, \mathbf{a})) - C_l(c_l) \right], \quad (4)$$

где L_j — множество типов контента, производимого фирмой j ; $\tilde{\mathbf{p}}_i^c(\mathbf{c}, \mathbf{a})$ — обратная функция спроса на контентное благо l со стороны аудитории; $\tilde{\mathbf{p}}_i^a(\mathbf{c}, \mathbf{a})$ — обратная функция спроса на рекламу в этом типе контента; a_{il} — доля рекламы товара i в нем; c_l — объем производимого контента типа l ; $C_l(c_l)$ — полные затраты на его производство. В качестве равновесных значений объема контента и долей рекламы в нем рассматриваются равновесные по Нэшу стратегии медиафирм в соответствующей игре.

В равновесии объемы контента каждого типа и доли рекламы являются решением задачи медиафирмы, объем товаров и доли рекламы каждого из них в разных типах контента — задачи производителя, а спрос на контент и товары — задачи потребителя. С точки зрения теоретико-игровой постановки сформулированная модель имеет позиционный характер: потребитель подстраивается под предлагаемые ему медиафирмой и производителем цены на контент и товары. Производители, в свою очередь, выбирают стратегии, зная предлагаемые медиафирмами расценки на рекламу. Медиафирмы ведут себя как игроки-лидеры, первыми определяя объемы рекламы и контента, реагируя на которые выбирают свои стратегии производители и потребители-аудитория. Равновесию на рынке соответствует совершенное по подыграм равновесие в возникающей многошаговой игре.

3. ПРИМЕР ТРЕХСТОРОННЕЙ МОДЕЛИ: ДВОЙНАЯ МОНОПОЛИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ И МЕДИАФИРМЫ

Пусть рынок состоит из одной фирмы-производителя, одной медиафирмы и репрезентативного потребителя с квазилинейной трансферабельной полезностью. Потребитель решает задачу максимизации полезности вида

$$u(y, c, q) = y + 2\sqrt{1+ac}\sqrt{q} + 2(1-a/5)\sqrt{c} \rightarrow \max_{(y,c,q)} \text{ s.t. } y + p_c c + p_q q \leq R,$$

где p_c и p_q — цены на контент и экономическое благо соответственно; R — доход потребителя; c , q и y — объемы потребления медиаконтента, продукции производителя и квазилинейного numeraire-блага (денег) соответственно; a — доля рекламы экономического блага в медиаконтенте. С учетом замены $y = R - p_c c - p_q q$ задача принимает эквивалентный вид

$$\max_{c,q} \left(2\sqrt{1+ac}\sqrt{q} + 2(1-a/5)\sqrt{c} - p_c c - p_q q \right) \text{ s.t. } c \in [0, R/p_c], q \in [0, R/p_q].$$

Данная задача имеет внутреннее решение (с ненулевыми объемами потребления и блага, и контента) при достаточно большом значении дохода R . Внутреннее решение дает следующие значения для функций спроса на контент и товар соответственно:

$$c(a, p_c, p_q) = (1-a/5)^2 p_q^2 / (p_c p_q - a)^2, \quad (5)$$

$$q(a, p_c, p_q) = 1/p_q^2 + a(1-a/5)^2 / (p_c p_q - a)^2. \quad (6)$$

Пусть функция оплаты рекламы линейна, т.е. $\varphi(A) = A$. Технологии производства и товара, и контента обладают постоянной отдачей от масштаба с единичными предельными издержками. Тогда задача фирмы-производителя примет вид

$$\max_{q \geq 0, a \in [0,1]} \pi_p = \max_{q \geq 0, a \in [0,1]} \left\{ (\tilde{p}_q(q, a, p_c) - 1)q - p^a c(a, p_c, \tilde{p}_q(q, a, p_c)) \right\}.$$

Здесь $\tilde{p}_q(q, a, p_c)$ — обратная функция спроса, определяемая из решения (6) относительно p_q . Данную задачу можно упростить и записать в виде задачи максимизации относительно не объема товара, а цены на него —

$$\max_{q \geq 0, a \in [0,1]} \pi_p = \max_{p_q \geq 0, a \in [0,1]} \left\{ (p_q - 1)q(a, p_c, p_q) - p^a c(a, p_c, p_q) \right\}.$$

Рассмотрим функцию реакции производителя на уровни цен p^a , p_c на рекламу и контент соответственно. Оптимальные значения цены $p_q^*(p^a, p_c)$ на товар и спрос $a^*(p^a, p_c)$ на рекламу в контенте определяются как координаты точки максимума функции

$$\pi_p(p_q, a) = (p_q - 1) \left(\frac{1}{p_q^2} + \frac{a(1-a/5)^2}{(p_c p_q - a)^2} \right) - p^a \frac{a(1-a/5)^2}{(p_c p_q - a)^2} p_q^2.$$

Функция $\pi_p(p_q, a)$ является однопиковой по каждому аргументу при фиксированном значении другого аргумента. Тем не менее, система уравнений, соответствующая условиям первого порядка для максимума этой функции, нелинейна, а ее решение, хотя и может быть выражено через радикалы, но имеет весьма громоздкий вид.

Задача медиафирмы, согласно (4), имеет вид $\max_{a,c} \pi^m = \max_{a,c} [\tilde{p}_q(a, c)c + \tilde{p}^a(a, c)ac - c]$. Запишем задачу максимизации прибыли медиафирмы относительно цен на рекламу и контент, считая, что выполняются равенства (5) и (6), а $a = a^*(p^a, p_c)$ есть оптимальный ответ фирмы-производителя на них:

$$\max_{p_c \geq 0, p^a \geq 0} \left\{ (p_c - 1)c(a^*(p^a, p_c), p_c, p_q^*(p^a, p_c)) + p^a a^*(p^a, p_c)c(a, p_c, p_q^*(p^a, p_c)) \right\}.$$

Ее решение аналитически также крайне громоздкое и затруднительное. Для поиска решения в численном виде можно использовать любой подходящий пакет прикладных программ. Согласно проведенным численным расчетам для медиафирмы, равновесной по Штакельбергу, является стратегия $p^a \approx 0,0005$, $p_c = 1$. Наилучшим ответом на нее производителя служит пара $p_q \approx 1,001$, $a = 1$.

Приведенный пример соответствует аудитории, терпимой к рекламе: даже когда каждая единица контента носит рекламный характер, аудитория получает от него 80% исходной,

нерекламной полезности. Такое отношение позволяет медиафирме встроить рекламу в каждую единицу контента ($a = 1$), за счет чего снизить цену на контент до себестоимости. Почти по себестоимости продавать товар сможет и производитель товара (p_q очень близко к 1), при этом реклама обходится ему очень недорого ($p^a \approx 0,0005$) — также за счет высокой толерантности к ней аудитории. При этом за счет низких цен на контент и товары объемы их потребления достаточно высоки, чтобы обеспечить обеим фирмам положительную прибыль ($p_m \approx 320$, $p_p \approx 319$).

4. МОДЕЛИ ТРЕХСТОРОННЕГО РЫНКА И МЕДИАСТРАТЕГИРОВАНИЕ

Основной задачей медиастратегирования является построение долгосрочных стратегий развития субъектов медиасистемы на всех уровнях пирамиды стратегий (Kvint, 2015). На национальном уровне объектом стратегирования предполагается медиасистема в целом — сложная многоуровневая среда, образованная медиаинститутами в их взаимодействии между собой и обществом; системой предприятий медиарынка, включающего как традиционные и новые медиа, так и производящие компании (инфраструктурные предприятия); а также профессиональные сообщества и виды деятельности, связанные с созданием, производством и распространением медиапродуктов и медиауслуг. Уровнем ниже идут медиахолдинги и медиасистемы отдельных регионов, на самом нижнем уровне — редакции отдельных медиа. На том же нижнем уровне находятся и индивидуальные блоги, каналы и медиапроекты лидеров мнений, обладающих достаточным влиянием на аудиторию. Для каждого из уровней медиастратегирования использование моделей трехсторонних рынков является оправданным и обогащает существующий инструментарий стратега.

Трехсторонний рынок представляет собой простейшую микроэкономическую модель межотраслевых связей, затрагивающих медиа и производство. При решении задач медиастратегирования исследование межотраслевых связей стратегизируемого объекта необходимо проводить в несколько этапов (Kvint, 2015). Например, в рамках анализа трендов и закономерностей развития национальной медиасистемы как совокупности всех медиакомпаний модель трехстороннего рынка позволяет определить характеристики и свойства долгосрочного равновесия. Так, совершенное по подыграм равновесие Нэша в рассмотренной выше модели описывает подобное долгосрочное равновесие и по его свойствам можно судить о стратегических особенностях рынка в целом. Значимость подобного равновесия для математических моделей поиска оптимальной стратегии сложно переоценить, поскольку оно является стационарным состоянием для динамической модификации модели трехстороннего рынка. Согласно общепринятому в посвященной экономике рекламы литературе подходу математической моделью задачи поиска долгосрочной рекламной стратегии является задача оптимального управления (либо дифференциальная игра, если рынок предполагает активное участие конкурентов стратегизируемого объекта). И в этой парадигме равновесие на трехстороннем рынке как совокупность оптимальных стратегий производителей, медиакомпаний и потребителей представляет состояние, которое является особой точкой для динамики рынка в долгосрочной перспективе. Например, при условии адаптивно-подражательного поведения субъектов медиасистемы равновесие Нэша на трехстороннем рынке соответствует особым точкам возникающей динамической системы (Васин, 2009). Свойства равновесия трехстороннего рынка — общественное благосостояние, объемы производства товаров и медиаконтента, фактическая структура подрынков товара и контента, потребительский излишек — для стратега, работающего на уровне всей медиасистемы, служат ключевыми показателями разрабатываемых им стратегий.

При решении задач медиастратегирования на уровне отдельных медиапредприятий или их конгломератов модель трехстороннего рынка позволяет прогнозировать долгосрочные стратегии компаний-соперников и партнеров из производственного сектора, а также реакцию потребителей на избранные стратегии. В терминологии моделей трехсторонних рынков стратегизируемым медиапредприятиям и их конкурентам соответствует сторона медиафирм, потенциальным партнерам и клиентам стратегизируемых предприятий из производственного сектора — сторона производства, а их аудитории — сторона потребителей. Эти аргументы позволяют считать модели трехсторонних рынков одним из перспективных направлений в формирующемся корпусе математических методов теории стратегии, в настоящее время оформившейся в качестве отдельной науки (Квент, 2018).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе описаны предпосылки к построению трехсторонних моделей рынков с участием производителей, потребителей и медиафирм, выступающих не только как посредники-платформы, но и как производители товара особого типа (контента, коммуникационных услуг). Для того чтобы учесть наличие трех сторон рынка, в настоящей работе была предложена методология построения моделей нового типа (трехсторонних моделей рынка). Социально-философской основой построения подобной модели является существование глобального информационного контента, который серьезно влияет на всех экономически активных индивидов. В более узком смысле принцип трех сторон рынка состоит в том, чтобы учитывать при расчете рыночного равновесия и решении более широких задач стратегирования взаимовлияния всех сторон рынка — и потребителей-аудитории, и медиа, и промышленных производителей. В работе показано, что исследование моделей трехстороннего рынка находит применение при решении задач медиастратегирования любого уровня — от разработки стратегий развития национальных медиасистем до стратегирования редакций отдельных медиа.

Дальнейшее развитие моделей трехсторонних рынков может проходить по множеству направлений. Во-первых, перед исследователем стоит вопрос об условиях существования в ней равновесий и их числа (как мы видели в приведенном примере, ситуация отсутствия равновесия для некоторых функций полезности и стоимости рекламы более чем вероятна). Во-вторых, требуют полноценного анализа модификации трехсторонней модели для рынков несовершенной конкуренции (монополия, олигополия на медийной и производственной сторонах рынка) с различными типами дифференциации товара (вертикальной, горизонтальной). В-третьих, исследование задач сравнительной статики для описания реакции равновесных цен на шоки параметров модели (например, на изменение характера реакции потребителя на рекламу). Кроме того, складывается отдельная группа вопросов, связанных с анализом трехсторонних рынков в долгосрочном периоде, включающих как определение структуры рынка при условии свободного входа на него фирм каждого типа (медиа и производственных), так и анализ динамики рынка с фиксированной структурой (устойчивость равновесий, (не)сходимость при времени, стремящемся к бесконечности, и т.д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Афанасьев Д.О., Демин И.С., Рогов О.Ю., Федорова Е.А.** (2020). О влиянии зарубежных СМИ на российский фондовый рынок: текстовый анализ // *Экономика и математические методы*. Т. 56. № 2. С. 77–89. [Afanasyev D.O., Demin I.S., Rogov O.Yu., Fedorova E.A. (2020). On the influence of foreign media on the Russian stock market: Text analysis. *Economics and Mathematical Methods*, 56 (2), 77–89 (in Russian).]
- Баландина М.С., Баскакова И.В.** (2016). Двусторонние рынки: определение понятия, ключевые характеристики и инструменты оценки // *Известия Уральского государственного экономического университета*. № 2 (64). С. 12–20. [Balandina M.S., Baskakova I.V. (2016). Two-sided markets: Definition, key elements and instruments for assessment. *Journal of the Ural State University of Economics*, 2 (64), 12–20 (in Russian).]
- Васин А.А.** (2009). Эволюционная теория игр и экономика. Часть I. «Принципы оптимальности и модели динамики поведения» // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 3–4. С. 10–27. [Vasin A.A. (2009). Evolutionary game theory and economics. Part I. “Optimality principles and models of behavior dynamics”. *The Journal of the New Economic Association*, 3–4, 10–27 (in Russian).]
- Вартанов С.А.** (2020б). Математическое моделирование трехстороннего рынка: медиа, производство и потребители // *Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление*. № 1 (93). С. 22–37. [Vartanov S.A. (2020b). Mathematical modeling of the three-sided market: Media, production and consumers. *The Bulletin of the Far Eastern Federal University. Economics and Management*, 1 (93), 22–37(in Russian).]
- Квинт В.Л.** (2013). Идея ноосферы Вернадского и закономерности, предопределяющие формирование глобального ноосферного миропорядка XXI в. // *Управленческое консультирование*. № 5. С. 13–19. [Kvint V.L. (2013). The idea of a noosphere of Vernadsky and the regularities predetermining formation of a global noosphere world order of the XXI century. *Administrative Consulting*, 5, 13–19 (in Russian).]
- Квинт В.Л.** (2018). К анализу формирования стратегии как науки // *Вестник ЦЭМИ РАН*. Вып. 1. Режим доступа: <https://cemi.jes.su/s11111110000121-6-1> DOI: 10.33276/S0000121-6-1 [Kvint V. (2018). To the analysis of the formation of a strategy as a science. *Herald of CEMI*, 1. Available at: <https://cemi.jes.su/s11111110000121-6-1/> DOI: 10.33276/S0000121-6-1 (in Russian).]

- Федорова Е.А., Рогов О.Ю., Ключников В.А.** (2018). Влияние новостей на индекс нефтегазовой отрасли ММВБ: текстовый анализ // *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*. № 4. С. 79–99. [Fedorova E.A., Rogov O.Yu., Klyuchnikov V.A. (2018). The impact of news on the MICEX oil & gas index: Textual analysis. *Moscow University Economics Bulletin*, 4, 79–99 (in Russian).]
- Шаститко А.Е., Паршина Е.Н.** (2016). Рынки с двусторонними сетевыми эффектами: спецификация предметной области // *Современная конкуренция*. Т. 10 (1). С. 5–18. [Shastitko A., Parshina E. (2016). Two-sided markets: The subject matter specification. *Journal of Modern Competition*, 10, 1, 5–18 (in Russian).]
- Ambrus A., Calvano E., Reisinger M.** (2016). Either or both competition: A “two-sided” theory of advertising with overlapping viewerships. *American Economic Journal: Microeconomics*, 8 (3), 189–222.
- Anderson S.P., Foros Ø., Kind H.J.** (2017). Competition for advertisers and for viewers in media markets. *The Economic Journal*, 128 (608), 34–54.
- Anderson S.P., Foros Ø., Kind H.J.** (2019). The importance of consumer multihoming (joint purchases) for market performance: Mergers and entry in media markets. *Journal of Economics & Management Strategy*, 28 (1), 125–137.
- Anderson S.P., Gabszewicz J.J.** (2006). The media and advertising: A tale of two-sided markets. *Handbook of the Economics of Art and Culture*, 1, 567–614.
- Bergemann D., Bonatti A.** (2011). Targeting in advertising markets: Implications for offline versus online media. *The RAND Journal of Economics*, 42 (3), 417–443.
- Crampes C., Haritchabalet C., Jullien B.** (2009). Advertising, competition and entry in media industries. *The Journal of Industrial Economics*. Vol. 57 (1), 7–31.
- Dukes A.** (2004). The advertising market in a product oligopoly. *The Journal of Industrial Economics*, 52 (3), 327–348.
- Dunas D.V., Vartanov S.A.** (2020). Emerging digital media culture in Russia: modeling the media consumption of generation Z. *Journal of Multicultural Discourses*, 15 (2), 186–203. DOI: 10.1080/17447143.2020.1751648
- Godes D., Ofek E., Sarvary M.** (2009). Content vs. advertising: The impact of competition on media firm strategy. *Marketing Science*, 28 (1), 20–35.
- Gal-Or E., Dukes A.** (2003). Minimum differentiation in commercial media markets. *Journal of Economics & Management Strategy*, 12 (3), 291–325.
- Gupta K., Banerjee R.** (2018). Does OPEC news sentiment influence stock returns of energy firms in the United States? *Energy Economics*, 77, С. 34–45.
- Jørgensen S., Zaccour G.** (2014). A survey of game-theoretic models of cooperative advertising. *European Journal of Operational Research*, 237 (1), 1–14.
- Kvint V.** (2015). *Strategy for the Global Market: Theory and practical applications*. London, Sydney: Routledge.
- Reisinger M.** (2012). Platform competition for advertisers and users in media markets. *International Journal of Industrial Organization*, 30 (2), 243–252.
- Rochet J.C., Tirole J.** (2003). Platform competition in two-sided markets. *Journal of the European economic association*, 1 (4), 990–1029.
- Walker C.B.** (2016). The direction of media influence: Real-estate news and the stock market. *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, 10, 20–31.
- Wei Y.C., Lu Y.C., Chen J.N., Hsu Y.J.** (2017). Informativeness of the market news sentiment in the Taiwan stock market. *The North American Journal of Economics and Finance*, 39, 158–181.
- Wu G.G.R., Hou T.C.T., Lin J.L.** (2019). Can economic news predict Taiwan stock market returns? *Asia Pacific Management Review*, 24 (1), 54–59.

The use of three-sided market models in media industry strategizing

© 2021 S.A. Vartanov

S.A. Vartanov

Moscow School of Economics, Lomonosov Moscow State University, e-mail: sergvart@gmail.com

Received 14.09.2020

The research was supported by the “Mathematical Methods for the Complex Systems Analysis” Interdisciplinary Scientific and Educational School of Lomonosov Moscow State University

Abstract. Digitalization and mediatization have significantly amplified the impact of the global information context on the world economy. This influence is carried out mainly through the information background and through advertising, connecting media and other industries and thus determining the inevitability of considering such a connection when solving any strategic problem. Advertising market models proposed in the existing literature rarely consider media as industry subjects with own strategic goals and objectives. And the two-sided market models do not consider simultaneous consumption of economic goods and media content by the audience and the production nature of the problems solved by industrial firms. In this paper, we propose a methodology for constructing models of a new type, which includes three types of participants — consumers, media firms and manufacturing firms. In the proposed methodology, a model of the simplest three-sided market is built, in accordance with which questions of existence and properties of equilibrium are discussed. The analysis of the proposed model is a separate stage in the study of intersectoral interaction within the framework of solving media strategic problems. At the enterprise level the proposed model allows to predict the long-term strategies of competitors. At the industrial level of strategy development, the model makes it possible to build key performance indexes that determine the strategic industry priorities on the basis of the three-sided market (welfare, production volumes, actual structure of submarkets).

Keywords: media strategy, media economy, strategy theory, consumer behavior, models of imperfect competition, media advertising market.

JEL Classification: M37, C60, C70, D01, D11, D21, D60.

DOI: 10.31857/S042473880014077-3

НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

**Оценка экономической эффективности направлений развития отрасли
по переработке вторичных строительных ресурсов**

© 2021 г. Г.Г. Лунев, И.А. Тарасова

Г.Г. Лунев,

*РАНХиГС при Президенте Российской Федерации; ООО «Рецикл Материалов»,
АИИ им. А.М. Прохорова, Москва, e-mail: spezstr@yandex.ru*

И.А. Тарасова,

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград;
e-mail: tarasova.irina.aleks@gmail.com*

Поступила в редакцию 04.05.2020

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы увеличения мощности и развития отрасли по утилизации вторичных строительных ресурсов (ВСР), которая может осуществляться путем создания новых перерабатывающих комплексов, реконструкции, технического перевооружения существующих предприятий или перепрофилировании убыточного производства в других отраслях экономики страны. Произведена оценка и обоснована целесообразность создания и функционирования региональных комплексных организационных структур по переработке и использованию ВСР при реконструкции объектов. Сформулирована и решена задача определения срока вывода предприятия из эксплуатации, с учетом возможности снижения затрат на реконструкцию за счет реализации остаточного материального потенциала ВСР, полученных после его ликвидации, и определены факторы, влияющие на эффективность их переработки. Результаты расчетов показывают, что увеличение объема рециклинга ВСР, полученных при производстве строительно-демонтажных работ позволяют до 25% снизить материальные затраты на реконструкцию и техническое перевооружение промышленных объектов. Одним из выводов статьи является необходимость государственного нормативно-законодательного стимулирования и регулирования развития сферы утилизации ВСР, обеспечивающего формирование стоимости хранения неиспользуемых отходов выше, чем стоимость их переработки.

Ключевые слова: вторичные строительные ресурсы, надежность, начало реконструкции, отходы строительства и сноса, ресурсосбережение, рециклинг, экономико-математические методы, экономическая эффективность.

Классификация JEL: G11, G17, Q53.

DOI: 10.31857/S042473880014083-0

ВВЕДЕНИЕ

В России каждый год образуется до 17 млн т отходов строительства и сноса (ОСС)¹, из которых перерабатывается (Олейник, 2016; Цховребов, 2019) не более 10–15%. В процессе реновации ветхого жилого фонда, а также при реализации национальных проектов России² их прирост к 2030 г. может увеличиться до 60%³. Рост объема образования ОСС вызывает необходимость повышения эффективности утилизации⁴ и увеличения производительности перерабатывающей промышленности страны с целью возврата в производство тех составляющих, которые пригодны к применению (Лунев, 2019) как вторичные строительные ресурсы⁵.

¹ Источник: <http://betonzone.com/vyvoz-i-pererabotka-stroitelnyx-otxodov>

² Нацпроект «Жилье и городская среда» затронет около 7,5 тыс. городов и муниципалитетов. В его рамках модернизации подлежат около 200 тыс. объектов (<https://tass.ru/ekonomika/5453682>).

³ Источник: <https://cniipminstroy.ru/press/publikaczi/othodny-promisel-interview-sg>

⁴ Утилизация отходов: деятельность, связанная с использованием отходов на этапах их технологического цикла, и/или обеспечение повторного (вторичного) использования или переработки списанных изделий. [ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения].

⁵ «Вторичные строительные ресурсы — накопления сырья, веществ, материалов и строительных отходов, образованные в процессе реконструкции, техническом перевооружении, полном сносе морально и физически устаревших объектов, жилых зданий и сооружений, а также новом строительстве и производстве строительных материалов» (Лунев, 2019).

Современная мировая практика утилизации отходов (Hendric, Jansen, 2003; Кирсанов, 2014) и отечественный опыт (Альбитер, Смирнова, 2013; Лунев, 2019), основанные на принципах экономики замкнутого цикла (Тенденции и практика экономики..., 2019), показывают, что наиболее эффективным методом утилизации ВСР является их рециклинг⁶.

При увеличении объема рециклинга ВСР сокращается добыча и переработка первичных природных ископаемых, уменьшается техногенная нагрузка (Любарская, 2004; Краснощеков, Лунев, 2017) на окружающую природную среду и население, развивается малый и средний бизнес, увеличивается занятость работников (Голиков и др., 2017), растут личные доходы населения и снижается социальная напряженность в регионе. Повышение качества и объема научно-исследовательских работ при создании передовых ресурсосберегающих технологий переработки ВСР и новых материалов ведет к развитию научно-технического прогресса (Глазьев, 2014; Макаров, Варшавский, 2015) как в строительном комплексе, так и в остальных отраслях экономики.

Одним из итогов начала реновации в Москве является признание того, что в настоящее время происходит формирование благоприятных эколого-экономических и нормативно-законодательных условий (Дубинчина, 2019) для привлечения государственных и частных инвестиций во внедрение инвестиционных проектов (ИП) по развитию индустрии переработки ВСР.

При строительно-демонтажных работах в процессе реновации ветхого жилого фонда в Москве, после разборки инженерных систем в основном образуются бетонные и железобетонные виды ВСР, которые перерабатываются механическими методами (дроблением). Именно таким путем получается до 87% вторичного щебня, 10% отсева и 3% металлического лома. Первые два вида ВСР нашли широкое применение в дорожном строительстве, устройстве фундаментов, полов и площадок, производстве строительных материалов (стенных блоков и панелей, декоративно-отделочной плитки и др.). Это позволяет до 25% снизить долю материальных затрат на бетонные работы в общей стоимости затрат на строительство объекта⁷.

Позиция авторов состоит в том, что практически все ОСС, полученные в процессе реновации ветхого фонда, могут быть использованы в качестве ВСР. Например, при сносе зданий образуется значительное количество замусоренного грунта. Он не представляет экономического интереса и технологической возможности для производства новых строительных материалов. Однако существует практика применения его в качестве засыпного материала траншей, котлованов, насыпей, устройства откосов и др. В таком случае материальные затраты практически равны нулю.

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЦИКЛИНГА ВСР ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ

Анализ содержания и структуры основных стадий ИП и специфических особенностей этапов рециклинга ВСР (Чулков, 2011; Лунев, 2020) позволяет сформулировать базовый подход, состоящий в том, что управление и организацию их переработки следует начинать не на стадии образования и сбора, а на всех этапах жизненного цикла строительной продукции. При проектировании ИП (Башкина, Дубовицкая, 2017; Лунев, Прохоцкий, 2020) требуется заранее рассматривать вопросы эколого-экономической эффективности оборота ВСР в материально-техническом производстве после окончания срока эксплуатации объекта.

При реконструкции объектов весь объем V^* ВСР делится на перерабатываемые и неперерабатываемые части: $V^* = V_y + V_n$, где V^* — общий объем ВСР; V_y — объем ВСР, подлежащих переработке и дальнейшему применению в качестве товарной строительной продукции; V_n — объем ВСР, подлежащих захоронению.

Практика показывает, что одним из организационно-технологических направлений развития отрасли переработки ВСР и более полной реализации их материального потенциала является создание комплексных холдингов, кооперированных с другими промышленными предприятиями

⁶ «В соответствии с принятой системой стандартизации терминов, “рециклинг” — процесс возвращения отходов, сбросов и выбросов в процессы техногенеза. Рециклинг является составной частью утилизации отходов, под которой понимается ликвидация или повторное полезное использование отходов, их составных частей или материалов» (https://studopedia.su/16_5126_retsikling.html).

⁷ Переработка бетона (ЖБИ, бетонных изделий), инструкция утилизации железобетонных отходов. Источник: <https://nbt.su/vtorichnyj-shheben-pererabotka-boya-betona/>

региона. Работа холдинга организуется по замкнутому циклу «разработка проекта — демонтажные работы — раздельный сбор и сортировка — транспортировка — переработка ВСП — использование вторичной товарной продукции».

Оценку экономической эффективности (Виленский, Лившиц, Смоляк, 2015; Аглицкий, Клейнер, Сирота, 2018) для холдингов такого типа произведем по величине чистого дисконтированного дохода:

$$\begin{aligned} \text{ЧДД}_{\text{хы}}(V_y, V_n) &= \sum_{t=1}^T [R_{\text{хы}}(V_y, V_n) - Z_{\text{хы}}(V_y, V_n)] / (1 + E_{\text{д}})^t = \\ &= \sum_{t=1}^T [R_{\text{хы}}(V_y, V_n) - Z_{\text{хы}}(V_y, V_n)] d, \end{aligned}$$

где $\text{ЧДД}_{\text{хы}}(V_y, V_n)$ — чистый дисконтированный доход в году t расчетного периода времени T при создании ИП для переработки ВСП; $R_{\text{хы}}(V_y, V_n)$ — доход холдинга и его общие затраты $Z_{\text{хы}}(V_y, V_n)$ за расчетный период при потреблении ВСП; $E_{\text{д}}$ — принятая норма дисконта; t — расчетный период действия проекта; d — коэффициент дисконтирования.

Доход холдинга формируется за счет доходов от выполнения демонтажных работ $R_{\text{д}}(V_y, V_n)$, производства строительно-монтажных работ $R_{\text{см}}(V_y, V_n)$ и реализации вторичной товарной продукции $R_{\text{тп}}(V_y, V_n)$ и определяется по формуле

$$\begin{aligned} R_{\text{хы}}(V_y, V_n) &= \sum_{t=1}^T [R_{\text{д}}(V_y, V_n) + R_{\text{см}}(V_y, V_n) + R_{\text{тп}}(V_y, V_n)] = \\ &= \sum_{t=1}^T (q_1(V_y + V_n) + q_2(V_y + V_n) + q_3 V_y), \end{aligned} \quad (1)$$

где q_1 и q_2 — удельные показатели стоимости демонтажных и строительно-монтажных работ; q_3 — удельный показатель рыночной стоимости вторичной товарной продукции, произведенной из ВСП.

Затратная составляющая $Z_{\text{хы}}(V_y, V_n)$ для холдинга состоит из затрат $Z_{\text{д}}(V_y, V_n)$ на производство демонтажных работ, общих затрат $Z_{\text{см}}(V_y, V_n)$ на производство строительно-монтажных работ, затрат $Z_{\text{тп}}(V_y, V_n)$ перерабатывающих предприятий, затрат $Z_{\text{т3y}}(V_y, V_n)$ на хранение неперерабатываемых ВСП и транспортных затрат $Z_{\text{тп}}(V_y, V_n)$:

$$Z_{\text{хы}}(V_y, V_n) = Z_{\text{д}}(V_y, V_n) + Z_{\text{см}}(V_y, V_n) + Z_{\text{тп}}(V_y, V_n) + Z_{\text{т3y}}(V_y, V_n) + Z_{\text{тп}}(V_y, V_n),$$

где

$$Z_{\text{д}}(V_y, V_n) = \sum_{t=1}^T q_{01}(V_y + V_n); \quad Z_{\text{см}} = \sum_{t=1}^T q_{02}(V_y + V_n); \quad Z_{\text{тп}}(V_y, V_n) = Z_{\text{ис}} + Z_{\text{ism}};$$

q_{01} и q_{02} — удельные показатели затрат на демонтажные и строительно-монтажные работы (без стоимости материалов); $Z_{\text{ис}}$ — затраты на строительно-монтажные работы (без стоимости материалов); Z_{ism} — материальные затраты на строительно-монтажные работы.

Материальные затраты $Z_{\text{ism}}(V_y, V_n)$ состоят из затрат $Z_{\text{им1}}(V_y, V_n)$ на приобретение материалов из первичных природных ресурсов (взамен неиспользуемых V_n) и затрат $Z_{\text{им2}}(V_y, V_n)$ на приобретение материалов, произведенных из ВСП (с учетом V_y):

$$Z_{\text{ism}}(V_y, V_n) = Z_{\text{им1}}(V_y, V_n) + Z_{\text{им2}}(V_y, V_n) = \sum_{t=1}^T (q_{03} V_n + q_{04} V_y),$$

где q_{03} — удельный показатель стоимости потребных в производстве новых материалов; q_{04} — удельные показатели затрат переработки и приведение ВСП в кондиционное состояние.

Затраты на переработку и приведение ВСП в кондиционное состояние для перерабатывающих предприятий равны $Z_{\text{тп}}(V_y, V_n) = \sum_{t=1}^T q_{04} V_y$, а затраты на хранение неперерабатываемых ВСП — $Z_{\text{т3y}}(V_y, V_n) = \sum_{t=1}^T q_{05} V_n$, где q_{05} — удельный показатель затрат на хранение неперерабатываемых ВСП.

Транспортные затраты $Z_{\text{тп}}(V_y, V_n) = \sum_{t=1}^T (V_y + V_n) q_{06}$, где q_{06} — удельный показатель транспортных затрат.

Таким образом, имеем

$$\begin{aligned} Z_{\text{хы}}(V_y, V_n) &= \sum_{t=1}^T q_{01}(V_y + V_n) + \sum_{t=1}^T q_{02}(V_y + V_n) + \sum_{t=1}^T (q_{03} V_n + q_{04} V_y) + \sum_{t=1}^T q_{04} V_y + \\ &+ \sum_{t=1}^T q_{05} V_n + \sum_{t=1}^T (V_y + V_n) q_{06} = \sum_{t=1}^T [q_{01}(V_y + V_n) + q_{02}(V_y + V_n) + \\ &+ (q_{03} V_n + q_{04} V_y) + q_{05} V_n + (V_y + V_n) q_{06}] \end{aligned} \quad (2)$$

Таблица. Исходные данные для расчета $\Delta\text{ЧДД}_{\text{кху}}(V_y, V_n)$

Показатель	q_1	q_2	q_{31}	q_{32}	q_{01}	q_{02}	q_{03}	q_{04}	q_{05}	q_{06}
Численное значение, тыс. руб./т	56	175	7	35	39,2	98	35	8,75	0	0,98

и тогда

$$\begin{aligned} \Delta\text{ЧДД}_{\text{кху}}(V_y, V_n) = & \sum_{t=1}^T \left[(q_1(V_y + V_n) + q_2(V_y + V_n) + q_3V_y) \right] - \sum_{t=1}^T \left[q_{01}(V_y + V_n) + \right. \\ & \left. + q_{02}(V_y + V_n) + (q_{03}V_n + q_{04}V_y) + q_{05}V_n + (V_y + V_n)q_{06} \right] d. \end{aligned} \quad (3)$$

В качестве примера рассмотрим расчет экономической эффективности повторного использования ВСП при переоборудовании промышленного предприятия Москвы, выполненный строительно-монтажной организацией «Спецстройкомплект», руководимой одним из авторов (см. таблицу). В процессе работ был произведен демонтаж существующего технологического оборудования в общем объеме $V^* = 445$ т. Дальнейшая работа с демонтированным оборудованием была возложена на строительно-монтажную организацию. Перед началом работ были отработаны два варианта утилизации ВСП.

Первый вариант предусматривал утилизацию ВСП (без дополнительной переработки) в качестве металлического лома для переплавки на металлургических предприятиях. В этом случае можно считать $V^* = V_n = 445$ т (несмотря на то что реализация оборудования по удельной стоимости металлического лома q_{31} приносит определенный доход), т.е. $V_y = 0$. Основное преимущество данного варианта состоит в отсутствии дополнительных затрат, связанных с необходимостью раздельного сбора, предварительной сортировки и приведением ВСП в кондиционное состояние. Основным его недостаток — потеря потенциальной прибыли от использования остаточного потенциала ВСП.

Второй вариант предусматривал максимальную реализацию материального ресурса ВСП путем их приведения в кондиционное состояние, с последующим применением в новом производстве в качестве технологического оборудования или реализации по удельной стоимости q_{32} на рынке вторичного оборудования. Практика показывает, что повторно можно применить до 85% оборудования данного типа. В таком случае имеем $V_y = 378$ т; $V_n = 67$ т. Основным преимуществом данного подхода является получение для предприятия дополнительного дохода. Основным недостатком: данный процесс — это длинные деньги и требует дополнительных финансовых ресурсов для компенсации затрат, связанных с его реализацией.

Оценку экономической эффективности обоих вариантов произведем по величине прироста чистого дисконтированного дохода $\Delta\text{ЧДД}_{\text{кху}}(V_y, V_n)$. Исходные данные для расчета (при $d = 0,2$) представлены в таблице. Тогда по формуле (3) получаем

$$\Delta\text{ЧДД}_{\text{кху}}(V_y, V_n) = \text{ЧДД}_{\text{кх2}}(V_y, V_n) - \text{ЧДД}_{\text{кх1}}(V_y, V_n) = 7274,8 - 5856,2 = 1418,6 \text{ тыс. руб.}$$

Повышение экономической эффективности строительно-демонтажных работ при реконструкции объектов за счет возврата в производственный процесс приведенных в кондиционное состояние технологических ВСП составляет до 20–25%. Наиболее востребованным оказалось универсальное оборудование для механической обработки металлических конструкций и материалов (токарные, фрезерные, сверлильные станки, гильотины и сварочные аппараты). Основными их преимуществами являются многофункциональность, надежность, простота и не столь высокая стоимость эксплуатации, что очень важно для предприятий малого и среднего бизнеса, которые и являются основными потребителями данного вида продукции.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ И НАЧАЛА РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ РЕЦИКЛИНГЕ ВСП

Практика доработки технологического оборудования и его реализации на рынке вторичной товарной продукции показала (Лунев Г., Лунева И., Тарасова, 2017), что на снижение затрат по приведению ВСП в кондиционное состояние наибольшее влияние оказывает физический износ оборудования и конструкций, входящих в его состав. Основными факторами, определяющими величину физического износа, являются условия и срок эксплуатации реконструируемого объекта.

При расчете срока эксплуатации промышленных объектов специалистами в области надежности и восстановления (Барлоу, Прошан, 1984; Корчагин, 2011) рассматриваются факторы,

влияющие на надежность элементов конструкций и оборудования, входящих в объект, с учетом затрат на поддержание их технического состояния и выполнения своего функционального назначения в процессе эксплуатации.

Задача определения срока начала вывода из эксплуатации и начала реконструкции промышленного предприятия устанавливается следующим условием: при достижении отрицательного значения прибыли $\Pi(t) < 0$ последующая его эксплуатация считается экономически невыгодной и оно подлежит ликвидации (реконструкции).

При определении срока эксплуатации промышленного предприятия, кроме других экономических и технико-технологических факторов, предлагается учитывать возможность дальнейшего использования остаточного материального потенциала ВСП после его ликвидации как дополнительного источника дохода и снижения затрат на реконструкцию. Такой подход означает, что ВСП, после приведения их в кондиционное состояние, могут быть применены в новом строительстве по прямому назначению или реализованы на рынке вторичной продукции как сырье, материалы, конструкции и оборудование для других отраслей промышленности.

Таким образом, следует вычислить момент времени на интервале $(0, t)$ при эксплуатации (жизненном цикле) объекта, на котором затраты на реконструкцию производства станут наименьшими, а выручка от реализации ВСП после ликвидации производственного объекта достигнет максимального значения. Организационно-экономические управленческие задачи данного типа в условиях неполной детерминированности производственных процессов, как правило, решаются с применением методов прогнозирования и экономико-математического моделирования (Конесев, Хазиева, 2015; Звягин, 2017), а также аппарата математического анализа, дифференциального и интегрального вычислений (Венецкий, Венецкая, 1974; Солодовников, Бабайцев, Браилов, 2011).

В качестве базового параметра, который определяет состояние промышленного предприятия в данный период времени t , нами принята производственная мощность $M(t)$. Она является производной по времени от производительности предприятия $\Phi(t)$, т.е.

$$M(t) = \Phi'(t) \Rightarrow \Phi(t) = \int_0^t M(t) dt. \quad (4)$$

Определим первоначальную производственную мощность (M_0) предприятия в момент времени $t = 0$, тогда $M(t) = M_0 \varphi(t)$ — производственная мощность предприятия в точке t (начало вывода предприятия из эксплуатации). $M(t)$ — это показатель, определяющий эффективность функционирования предприятия в процессе эксплуатации, а значит, он представляет некую функцию надежности работы его технологического оборудования и систем. В теории надежности рассмотрены различные варианты функций наработки систем и законы распределения времени возникновения отказов, среди которых наиболее распространенными и удобными в расчетах (Горский, 1970) являются показательные и степенные функции. С увеличением срока эксплуатации происходит физический износ технологического оборудования и снижение производственной мощности предприятия, поэтому $\varphi(t)$ неограниченно убывает. Пусть, в нашем случае, $\varphi(t)$ — убывающая показательная функция.

В процессе функционирования в момент времени на интервале $(0, t)$ предприятие получает прибыль

$$\Pi(t) = F(t) - Y(t), \quad (5)$$

где $F(t)$ — объем выпускаемой продукции, при исключении брака и расходов на ремонт технологического оборудования; $Y(t)$ — величина объема выпускаемой продукции, при наличии производственного брака и расходов на ремонт технологического оборудования.

Объем производимой продукции в момент времени t без учета бракованной продукции, расходов на ремонт и регламент технологического оборудования определяется по формуле

$$F(t) = \int_0^t M_0 \varphi(t) dt + \int_0^t q_{33} V(t) dt + a \int_0^{\infty} S(t) dt.$$

В данной формуле первый интеграл представляет стоимость произведенной продукции до проведения технического контроля качества и исключения брака. Второй — определяет выручку за счет реализации отходов производства, которые не могут быть использованы на данном предприятии и выведены из производственного процесса (технологического цикла), где $V(t)$ — неиспользуемые на предприятии удельные производственные отходы, которые реализуются на рынке вторичной продукции. Показатель $V(t)$ считаем величиной, пропорциональной производственной мощности предприятия, т.е. $V(t) = V_0 \varphi(t)$, где $V_0 = V(0)$ — количество отходов в момент начала работы предприятия. Третий интеграл представляет выручку от реализации выведенного из эксплуатации

ВСП (физически и морально изношенного оборудования и др.), где a — коэффициент, определяющий долю вторичной рыночной стоимости оборудования, материалов и др. от первоначальной стоимости оборудования с теми же характеристиками, объемом и качеством ($0 < a < 1$); $S(t)$ — удельная потеря стоимости оборудования при износе в момент времени t . При эксплуатации оборудования показатель $S(t) = S_0\varphi(t)$ является переменной величиной, которая в процессе работы предприятия возрастает с течением времени и в момент начала эксплуатации нового предприятия $S_0 = S(t = 0)$; q_{33} — удельный показатель рыночной стоимости отходов производства.

Величина объема производимой продукции, при изготовлении определенного количества бракованной продукции и затрат на ремонт и регламент технологического оборудования, рассчитывается по формуле

$$Y(t) = \int_0^t (1-c)bM_0\varphi(t)dt + \int_0^t S_0\varphi(t)dt + \Psi(t),$$

где первый интеграл — потеря выручки предприятия при выпуске бракованной продукции, b — часть ($0 < b < 1$) бракованной продукции предприятия, не отвечающей требованиям качества; c — часть ($0 < c < 1$) стоимости бракованной продукции от стоимости основной продукции, отвечающей требованиям качества; второй интеграл — стоимость износа технологического оборудования на интервале $(0, t)$, $\Psi(t)$ выражает величину затрат на ремонт и регламент технологического оборудования предприятия.

Определим момент времени t^* , когда функция выручки $\Pi(t)$ будет максимальной. В соответствии с признаком максимума функции вычислим ее производную и приравняем к нулю, т.е. $\Pi'(t) = F'(t) - Y'(t) = 0$, отсюда $F'(t) = Y'(t)$, где $F'(t) = M_0\varphi(t) + q_{33}V_0\varphi(t) + aS_0\varphi(t)$, $Y'(t) = (1-c)bM_0\varphi(t) + S_0\varphi(t) + \varphi(t)$. Таким образом,

$$M_0\varphi(t) + q_{33}V_0\varphi(t) + aS_0\varphi(t) = (1-c)bM_0\varphi(t) + S_0\varphi(t) + \varphi(t). \quad (6)$$

Для решения данного уравнения произведем анализ поведения функций $F'(t)$ и $Y'(t)$.

Функция $F'(t)$ определяет мощность предприятия, удельную стоимость выпускаемой продукции и отходов производства, удельную стоимость изношенного технологического оборудования на рынке ВСП в момент времени t . При увеличении срока эксплуатации предприятия функция $F'(t)$ убывает и стремится к нулю. Функция $Y'(t)$ определяет удельную цену ВСП на вторичном рынке, удельную стоимость изношенного технологического оборудования и оснастки, а также расходы на ремонт технологического оборудования. При увеличении срока эксплуатации предприятия функция $Y'(t)$ возрастает. Так как одна из функций $F'(t)$ монотонно убывает, а другая функция $Y'(t)$ монотонно возрастает, то графики, характеризующие поведение этих функций, пересекаются не более одного раза. Таким образом, уравнение (6) имеет или только единственное решение, или решения нет.

Практический интерес представляет вариант, когда для уравнения (6) возможно только единственное решение. В таком случае существует только одна точка t^* , в которой $F'(t^*) = Y'(t^*)$. Вывод из эксплуатации предприятия наступает в момент t^* , когда выручка от его функционирования достигает отрицательного значения.

Максимальную прибыль определяем путем подстановки значения t^* в уравнение (5):

$$\begin{aligned} \Pi(t^*) = F(t^*) - Y(t^*) = & \int_0^{t^*} M_0\varphi(t)dt + \int_0^{t^*} q_{33}V_0\varphi(t)dt + a \int_{t^*}^{\infty} S_0\varphi(t)dt - \\ & - \int_0^{t^*} (1-c)bM_0\varphi(t)dt - \int_0^{t^*} S_0\varphi(t)dt - \Psi(t^*), \end{aligned} \quad (7)$$

а рыночную стоимость ВСП $D(t)$ — подстановкой $t = t^*$ в выражение

$$D(t^*) = \int_0^{t^*} cbM_0\varphi(t)dt + q_{33} \int_0^{t^*} V_0\varphi(t)dt + a \int_{t^*}^{\infty} S_0\varphi(t)dt. \quad (8)$$

Первый интеграл представляет стоимость не соответствующей качеству бракованной продукции. Второй интеграл определяет стоимость технологических производственных отходов, а третий интеграл соответствует стоимости физически и морально изношенного оборудования и материалов на момент вывода предприятия из эксплуатации.

Рассмотрим применение полученных зависимостей на примере репрофилирования промышленного предприятия, которое было реконструировано предприятием «Спецстройкомплект», при

следующих исходных данных: $M_0 = 150\,000$ руб./сутки; $\varphi(t) = e^{-0,002t}$; $\Psi(t) = 3t^2$ руб./сутки; $b = 0,05$; $c = 0,3$; $S(t) = 500\varphi(t)$ руб./сутки; $V(t) = 1100\varphi(t)$ руб./сутки; $q_{33} = 10$ руб./единицу; $a = 0,4$.

Находим момент вывода предприятия из эксплуатации по формуле (6):

$$F' = 150\,000 e^{-0,002t} + 10 \times 1100 e^{-0,002t} + 0,4 \times 500 e^{-0,002t},$$

$$Y'(t) = (1 - 0,3) \times 0,05 \times 150\,000 e^{-0,002t} + 500 e^{-0,002t} + (3t^2)',$$

тогда

$$150\,000 e^{-0,002t} + 11\,000 e^{-0,002t} + 200 e^{-0,002t} = 5250 e^{-0,002t} + 500 e^{-0,002t} + (3t^2)',$$

отсюда $155\,450 e^{-0,002t} = 6t$. Исходя из данного выражения, используя численные методы решения (Фихтенгольц, 2001), получаем, что $F'(t^*) = Y'(t^*)$ при $t^* = 1444$ сутках. В таком случае при данном t^* прибыль $\Pi(t)$ достигает максимального значения.

Определим прибыль $\Pi(t)$, применив формулу (7):

$$\begin{aligned} \Pi(t^*) = & \int_0^{1444} 150\,000 e^{-0,002x} dx - \int_0^{1444} 11\,000 e^{-0,002x} dx + 0,4 \int_{1444}^{\infty} 500 e^{-0,002x} dx - \int_0^{1444} 5250 e^{-0,002x} dx - \\ & - \int_0^{1444} 500 e^{-0,002x} - 3(1444)^2 = 67\,052\,420 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Дополнительная выручка от реализации ВСР, в соответствии с формулой (8), может составить

$$D(t^*) = D(1444) = \int_0^{1444} 2250 e^{-0,002x} dx + \int_0^{1444} 11\,000 e^{-0,002x} dx + \int_{1444}^0 200 e^{-0,002x} dx = 6\,261\,639 \text{ руб.}$$

Объективная ситуация в экономике страны показывает, что большинство объектов эксплуатируются в течении сроков, значительно превышающих нормативные, поэтому полученные зависимости позволяют определить наиболее оптимальные сроки начала реконструкции (перепрофилирования) и вывода из эксплуатации объекта с учетом дальнейшего максимального использования остаточного материального потенциала ВСР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе реализации национальных проектов и реновации ветхого жилого фонда возрастает объем ОСС, материальный и энергетический потенциал которых необходимо использовать в качестве ВСР за счет развития и повышения эффективности их рециклинга. Одной из основных задач в экономике страны является повышение мощности, развитие инфраструктуры, технологий и методов переработки ВСР, а также совершенствование системы управления и улучшение организации данной отрасли.

Предлагается при оценке экономической эффективности реконструкции, технического перевооружения и перепрофилирования промышленных предприятий, наряду с учетом других показателей, рассматривать возможность снижения затрат на реализацию ИП за счет реализации остаточного материального потенциала ВСР.

Результаты расчетов показывают, что увеличение объема рециклинга ВСР и снижение стоимости приведения их в кондиционное состояние позволяют до 20–25% повысить эффективность строительно-демонтажных работ при реконструкции объектов. Значительное влияние на качество переработки ВСР оказывают условия и фактический период эксплуатации промышленного предприятия, поэтому предлагается определять сроки начала его реконструкции (ликвидации) с учетом максимального применения демонтированных ВСР (оборудования, конструкций, материалов и др.).

В случае если затраты на захоронение неиспользуемых ВСР ниже, чем затраты на их переработку и приведение в кондиционное состояние, то для многих предприятий выгоднее отправлять отходы производства на базы-полигоны на хранение, чем перерабатывать. Например, утилизацию опасных ВСР, которая необходима для решения экологических и социальных вопросов, невозможно реализовать только с использованием рыночных механизмов ввиду ее убыточности.

Поэтому возникает необходимость нормативно-законодательного регулирования рынка обращения ВСР и стимулирования развития отрасли по переработке ВСР за счет создания экономических условий, законодательно обеспечивающих увеличение стоимости захоронения неиспользуемых отходов выше, чем стоимости их переработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Аглицкий И.С., Клейнер Г.Б., Сирота Е.Н.** (2018). Системный анализ инвестиционной деятельности. М.: ПРОМЕТЕЙ. [Aglickij I.S., Kleiner G.B., Sirota E.N. (2018). *Systematic analysis of investment activities*. Moscow: PROMETHEUS (in Russian).]
- Альбитер Л.М., Смирнова С.Б.** (2013). Экономические основы рециклинга. Зарубежный опыт // *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Экономические науки»*. № 2 (8). С. 155–158. [Arbiter L.M., Smirnova S.B. (2013). Economic basis of recycling. Foreign experience. *Bulletin of Samara state technical University. Series “Economic Sciences”*, 2 (8), 155–158 (in Russian).]
- Барлоу Р., Прошан Ф.** (1984). Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы. [Barlow R., Proshan F. (1984). *Statistical theory of reliability and reliability tests*. Moscow: Nauka, Home Edition Physical and Mathematical Literature (in Russian).]
- Башкина Т.А., Дубовицкая С.А.** (2017). Управление инновациями в сфере переработки отходов // *Экономика и бизнес: теория и практика*. № 12. С. 35–38. [Bashkina T.A., Dubovitskaya S.A. (2017). Management of innovations in the field of waste processing. *Economics and Business: Theory and Practice*, 12, 35–38 (in Russian).]
- Венецкий И.Г., Венецкая В.И.** (1974). Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе. М.: Статистика. [Venezky I.G., Janecka V.I. (1974). *Basic mathematical and statistical concepts and formulas in economic analysis*. Moscow: Statistics (in Russian).]
- Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А.** (2015). Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика. М.: ПолиПринт Сервис. [Vilensky P.L., Livshits V.N., Smolyak S.A. (2015). *Evaluation of the effectiveness of investment projects: Theory and practice*. Moscow: Polyprint Service (in Russian).]
- Глазьев С.Ю.** (2014). Стратегические предпосылки модернизации и инновационного развития российской экономики. М.: ГУУ. [Glazyev S.Yu. (2014). *Strategic prerequisites of modernization and innovative development of the Russian economy*. Moscow: SUM (in Russian).]
- Голиков Р.А., Суржигов Д.В., Кислицына В.В., Штайгер В.А.** (2017). Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения (обзор литературы) // *Научное обозрение. Медицинские науки*. № 5. С. 20–31. [Golikov R.A., Surzhikov D.V., Kislitsyna V.V., Steiger V.A. (2017). Impact of environmental pollution on public health (literature review). *Scientific Review. Medical Science*, 5, 20–31 (in Russian).]
- Горский Л.К.** (1970). Статистические алгоритмы исследования надежности. М.: Главная редакция физико-математической литературы, Наука. [Gorsky L.K. (1970). *The statistical algorithms for reliability studies*. Moscow: Main edition of physical and mathematical literature, Nauka (in Russian).]
- Дубинчина С.В.** (2019). Операционная стадия инвестпроекта. Какие риски учесть инвестору // *ТБО (Твердые бытовые отходы)*. № 2. С. 23–27. [Dubinchina S.V. (2019). Operational stage of the investment project. What risks should an investor consider? *MSW (Municipal Solid Waste)*, 2, 23–27 (in Russian).]
- Звягин Л.С.** (2017). Применение методов математического и системного анализа в прогнозировании тенденций современной экономики // *Вопросы экономики и управления*. № 1. С. 10–17. [Zvyagin L.S. (2017). Application of methods of mathematical and system analysis in forecasting the trends of modern economy. *Questions of Economics and management*, 1, 10–17 (in Russian).]
- Кирсанов С.А.** (2014). Мировой и российский опыт утилизации твердых бытовых отходов // *Вестник Омского университета. Серия «Экономика»*. № 2. С. 114–120. [Kirsanov S.A. (2014). World and Russian experience in solid waste disposal. *Bulletin of Omsk University. Economy Series*, 2, 114–120 (in Russian).]
- Конесев С.Г., Хазиева Р.Т.** (2015). Методы оценки показателей надежности сложных компонентов и систем. Часть 1 // *Современные проблемы науки и образования*. № 1. Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=17558> [Konesev S.G., Khazieva R.T. (2015). Methods of estimation of indicators of reliability of complex components and systems. Part 1. *Modern Problems of Science and Education*, 1. Available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=17558> (in Russian).]
- Корчагин А.Б., Сердюк В.С., Бочкарев А.И.** (2011). Надежность технических систем и техногенный риск. Омск: Изд-во ОмГТУ. [Korchagin A.B., Serdjuk V.S., Bochkarev A.I. (2011). *Reliability of technical systems and technogenic risk*. Omsk: Publishing house of OmGTU (in Russian).]
- Краснощеков В.Н., Лунев Г.Г.** (2017). Методика оценки экономико-экологической эффективности комплексного использования вторичных строительных ресурсов // *ЭПОС*. № 1 (69). С. 101–111. [Krasnoshchekov V.N., Lunev G.G. (2017). Methods of assessment of economic and environmental efficiency of complex use of secondary construction resources. *EPOS*, 1 (69), 101–111 (in Russian).]
- Лунев Г.Г.** (2019). Развитие методологии комплексного использования вторичных строительных ресурсов. Монография. М.: ООО «Научтехлитиздат». [Lunev G.G. (2019). *Development of methodology of complex use of secondary construction resources*. Monograph. Moscow: Nauchtekhlitizdat (in Russian).]

- Лунев Г.Г.** (2020). Особенности и факторы, определяющие направления комплексного использования вторичных строительных ресурсов // *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*. № 2. [Lunev G.G. (2020). Features and factors that determine the direction of integrated use of secondary construction resources. *Bulletin of the Moscow University. Series 6. Economy*, 2 (in Russian).]
- Лунев Г.Г., Лунева И.Г., Тарасова И.А.** (2017). Анализ организационно-технологических проблем комплексного использования вторичных ресурсов при реконструкции объектов // *Экологические системы и приборы*. № 2. С. 34–43. [Lunev G.G., Luneva I.G., Tarasova I.A. (2017). Analysis of organizational and technological problems of complex use of secondary resources in the reconstruction of objects. *Ecological Systems and Devices*, 1, 34–43 (in Russian).]
- Лунев Г.Г., Прохотский Ю.М.** (2020). Рециклинг вторичных строительных ресурсов. Проблемы и перспективы отрасли на примере г. Москвы // *ЭКО (ЭКОномика и организация промышленного производства)*. № 4 (550). С. 166–192. [Lunev G.G., Prokhotsky Yu.M. (2020). Recycling of secondary construction resources. Problems and prospects of the industry on the example of Moscow. *ECO Journal (Economy and Organization of Industrial Production)*, 4 (550), 166–192 (in Russian).]
- Любарская М.А.** (2004). Стратегическое управление процессом обращения твердых отходов в регионе. СПб.: СПбГИЭУ. [Lyubarskaya M.A. (2004). *Strategic management of solid waste management in the region*. Saint Petersburg: SPbGIEU (in Russian).]
- Макаров В.Л., Варшавский А.Е.** (2015). Наука, высокотехнологичные отрасли и инновации. Глава 20. Экономика России. Оксфордский сборник. Книга 2. М.: Изд-во Института Гайдара. С. 815–846. [Makarov V.L., Varshavsky A.E. (2015). Science, high-tech industries and innovations. Chapter 20. Russian Economy. Oxford collection. Book 2. Moscow: Publishing house of the Gaidar Institute, 815–846 (in Russian).]
- Олейник С.П.** (2016). Строительные отходы при реконструкции зданий и сооружений // *Интернет-журнал «Отходы и ресурсы»*. Т. 3 (2). Режим доступа: <http://resources.today/PDF/02RRO216.pdf> [Oleynik S. (2016). Construction waste in the reconstruction of buildings and structures. *Online-magazine "Waste and resources"*, 3, 2. Available at: <http://resources.today/PDF/02RRO216.pdf> (in Russian).]
- Солодовников А.С., Бабайцев В.А., Браилов А.В.** (2011). Математика в экономике. Ч. 2. Математический анализ. М.: Финансы и статистика. [Solodovnikov A.S., Babaytsev V.A., Braiлов A.V. (2011). *Mathematics in Economics*. Ch. 2. Moscow: Finance and statistics (in Russian).]
- Тенденции и практика экономики замкнутого цикла в сфере обращения с отходами. Обзоры и аналитика (2019) // *ТБО (Твердые бытовые отходы)*. № 5. С. 26–30. [Trends and practices of the closed-cycle economy in the field of waste management. Reviews and Analytics (2019). *MSW (Municipal Solid Waste)*, 5, 26–30 (in Russian).]
- Фихтенгольц Г.М.** (2001). Курс дифференциального и интегрального исчисления. В 3-х томах. М.: ФИЗМАТЛИТ. [Fichtenholz G.M. (2001). *Course of differential and integral calculus*. Moscow: FIZMATLIT (in Russian).]
- Цховребов Э.С.** (2019). Формирование региональных стратегий управления обращением с вторичными ресурсами // *Вестник МГСУ*. Т. 14. Вып. 4. С. 450–463. [Tshovrebov E.S. (2019). Formation of regional strategies for managing the use of secondary resources. *Vestnik MGSU*, 14, 4, 450–463 (in Russian).]
- Чулков В.О.** (2011). Производство и использование строительных материалов, изделий и систем. Т. 3. Остатки деятельности: мусор и отходы. Обращение с отходами, их рециклинг и использование. Серия «Инфографические основы функциональных систем» (ИОФС). М.: СВР–АРГУС. [Chulkov V.O. (2011). *Production and use of building materials, products and systems*. Vol. 3. The remains of activities: Rubbish and waste. Waste management, recycling and use. Series "Infographic bases of functional systems" (IOFS). Moscow: SVR–ARGUS (in Russian).]
- Hendrics Ch., Jansen G.** (2003). Use of recycled materials in constructions. *Materials and Structures*, 263, November.

Assessment of economic efficiency of development directions of the industry on the use of secondary building resources

© 2021 G.G. Lunev, I.A. Tarasova

G.G. Lunev,

Department of nature management and environmental protection of Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation; "Recycle Materials", AIN A.M. Prokhorov, Moscow, Russia; e-mail: spezstr@yandex.ru

I.A. Tarasova,

Volgograd state technical University, Volgograd, Russia; e-mail: tarasova.irina.aleks@gmail.com

Received 04.05.2020

Abstract. In the process of implementation of national projects and renovation of dilapidated housing stock, an increase in the generation of construction and demolition waste is predicted, which sets the country's economy the task of increasing the volume of their use as secondary building resources (SRB). Recycling is the most effective method for using the material and energy potential of SRB. The article deals with the problems of increasing the capacity and development of the SRB processing industry, which can be carried out by creating new production processing complexes, reconstruction, modernization and technical re-equipment of existing enterprises and re-profiling unprofitable enterprises in other industries. The article evaluates the directions of development of the industry and substantiates the feasibility of creating and functioning regional integrated organizational structures for processing and using SRB in the reconstruction of facilities. The problem of determining the period of decommissioning of the enterprise is formulated and solved, taking into account the possibility of reducing the cost of reconstruction by using the remaining material potential of SRB obtained after its liquidation, and the factors affecting the efficiency of their processing are determined. One of the conclusions of the article is the need for state regulatory incentives and regulation of the development of the sphere of SRB utilization, which ensures that the cost of storing unused waste is higher than the cost of processing it.

Keywords: secondary building resources (SRB), reliability, the beginning of reconstruction, construction and demolition waste, resource saving, recycling, economic and mathematical methods, economic efficiency.

JEL Classification: G11, G17, Q53.

DOI: 10.31857/S042473880014083-0

НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

**Оценка вклада банковского сектора
в обеспечение экономической безопасности***

© 2020 г. Н.С. Зиядуллаев, А.С. Тулупов, У.С. Зиядуллаев

Н.С. Зиядуллаев,

Институт проблем рынка РАН, Москва; e-mail: nabi926@mail.ru

А.С. Тулупов,

Институт проблем рынка РАН, Москва; e-mail: tul@bk.ru

У.С. Зиядуллаев,

Институт проблем рынка РАН, Москва; Университет мировой экономики и дипломатии МИД Республики Узбекистан; e-mail: uz2005@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.03.2020

Аннотация. Банковский сектор выполняет важнейшие функции в обеспечении устойчивого развития экономики. Оказывая широкий перечень финансовых услуг физическим и юридическим лицам (вклады, платежи и денежные переводы, обмен валюты, кредитование, лизинговые операции и др.), банки общепризнанно являются кровеносной системой экономики. При этом применяемые сегодня подходы к оценке финансовой устойчивости (безопасности) отдельных банков или банковской системы не могут достоверно характеризовать влияние данных финансовых институтов на обеспечение экономической безопасности различных уровней: как отдельного региона, города, отрасли, хозяйствующего субъекта, так и страны, государства в целом. Целью исследования является разработка инструментария оценки вклада банковской деятельности в обеспечение экономической безопасности. Главными научными инструментами работы явились экономико-математический и финансовый виды анализа. Также применены: контент-анализ, качественно-количественное шкалирование, матрично-морфологическое и информационное моделирование. В работе выделен перечень факторов, характеризующих воздействие банковского сектора на уровень экономической безопасности; определены степень влияния, а также перечень возможных дискретных состояний каждого фактора; разработана методика оценки вклада банковской деятельности в устойчивость экономической системы. Достоверность результатов исследования подтверждена применением на практике для акционерного инновационного коммерческого банка «Ипак Йули» Республики Узбекистан. Проведенная апробация показала, что предложенный подход позволяет дать количественно сопоставимую оценку степени влияния банковской деятельности на обеспечение экономической безопасности в зависимости от широкого перечня состояний выделенных факторов влияния. Сформулированы рекомендации, направленные на улучшение параметров функционирования для оцениваемой финансовой организации.

Ключевые слова: экономическая безопасность, банк, устойчивое развитие.

Классификация JEL: G21, C58.

DOI: 10.31857/S042473880014079-5

ВВЕДЕНИЕ

Банки, оказывая финансовые услуги физическим и юридическим лицам, выполняют важнейшую роль в обеспечении устойчивого экономического развития. Официальное определение банкам дано в ФЗ № 395-1¹, статья 1, а перечень выполняемых данными кредитными организациями банковских операций в искомом документе перечислен в статье 5. Поскольку через банки осуществляются платежи хозяйствующих субъектов, кредитование, лизинговые операции, расчеты с внешними контрагентами, обслуживание населения страны, данные кредитные организации справедливо отождествляют с кровеносной системой экономики.

* Статья подготовлена в рамках государственного задания Института проблем рынка РАН, Москва.

¹ Федеральный закон от 02.12.1990 № 395-1 «О банках и банковской деятельности» (с изм. и доп., вступ. в силу с 08.01.2020).

При всей значимости деятельности банков их вклад в обеспечение экономической безопасности до настоящего времени исследован не полностью. Сегодня имеются солидные наработки для оценки финансовой безопасности (см., например, (Звонова, 2016; Каранина, 2015; Сараджева, Барикаев, 2015; Оголихина, 2017)), в том числе банковского сектора (Устойчивость банковской системы..., 2014; Татарина, 2013). При этом при оценке экономической безопасности в контексте деятельности банков соответствующие критерии зачастую подменяются финансовыми. Поэтому необходимо четко разграничивать составляющие как экономической, так и финансовой видов безопасности.

Помимо существующих подходов оценки финансовой безопасности для банков как важнейших субъектов экономической деятельности необходима научно обоснованная количественная оценка вклада банковского сектора в обеспечение экономической безопасности.

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ

Для разработки соответствующего методического обеспечения необходимо прежде всего выделить факторы влияния. Проведенный нами анализ механизма обеспечения экономической безопасности (Модернизация..., 2016; Экономическая безопасность России..., 2018; Zasko et al., 2018; Tulupov, 2019; Зиядуллаев, 2020) с учетом требований (Стратегия экономической безопасности, 2017), в том числе роли банковской системы (Зиядуллаев, 2019; Зиядуллаев и др., 2017), позволил выделить следующий перечень факторов, формирующих влияние банковского сектора на уровень экономической безопасности:

- 1) доступность кредитов населению (процентная ставка, лимит кредита, дополнительные условия, ограничения и прочее);
- 2) доступность кредитов хозяйствующим субъектам;
- 3) территориальный охват (размещение банковских офисов обслуживания, однородность покрытия населенных пунктов);
- 4) уровень доверия населения и бизнеса;
- 5) капитализация;
- 6) ликвидность;
- 7) структура инвестиционного портфеля;
- 8) коэффициент леввериджа;
- 9) число нарушений и предписаний надзорных органов.

Отметим, что первые четыре фактора характеризуют социальную направленность политики банков. При этом уровень доверия может быть определен с помощью уже разработанных подходов, систематизированных и модифицированных в (Егорова, Королева, 2018). В настоящем исследовании данный фактор определялся в соответствии с перечнем выделенных значений, представленных в табл. 1. Факторы 5–9 обуславливают устойчивость работы банков, в том числе соответствие требованиям «Стандартов банковской деятельности» Базельского комитета по банковскому надзору².

Также важно отметить, что каждый выделенный нами фактор в отдельности не может полноценно характеризовать вклад банка в обеспечение экономической безопасности различных уровней. Например, у банка может быть низкая процентная ставка по кредитам и привлекательные условия предоставления кредитов (т.е. высокое значение фактора 1). При этом уровень доверия населения (фактор 4) может быть низким, поэтому необходима комплексная взвешенная оценка совокупности представленных факторов влияния.

В зависимости от целей и задач конкретного исследования оценка данных факторов может быть осуществлена как применительно к конкретному банку, нескольким банкам, так и всему банковскому сектору. В настоящем исследовании мы различаем финансовую и экономическую виды безопасности. При этом банк (финансовый субъект хозяйствования) с незначительной долей

² Материалы Базельского комитета по банковскому надзору. Банк международных расчетов (http://www.bis.org/list/basel3/page_1.htm).
World Bank reports on trends in the dissemination of standards and codes. Available at: <http://www.worldbank.org/ifa/rocs.html/>

Таблица 1. Оценочная матрица факторов, определяющих влияние банковского сектора на обеспечение экономической безопасности

Фактор влияния	Возможные дискретные состояния фактора, m		
	1	2	3
Доступность кредитов населению	Кредиты обременительны	Средний уровень кредитной нагрузки	Гибкая кредитная линия без скрытых обременительных условий
Доступность кредитов хозяйствующим субъектам	Кредиты обременительны	Средний уровень кредитной нагрузки	Гибкая кредитная линия без скрытых обременительных условий
Территориальный охват	Небольшое число отделений и офисов	Много отделений, охватывающих не все населенные пункты	Достаточное количество отделений, равномерно расположенных с учетом заселенности (численности населения)
Уровень доверия населения и бизнеса	Низкий	Средний	Высокий
Уровень капитализации	Низкий	Достаточный	Высокий
Уровень ликвидности	Недостаточный или избыточный	С незначительными недостатками	Достаточный
Структура инвестиционного портфеля	Агрессивная (рисковая)	Умеренная (рыночная)	Консервативная
Коэффициент левиреджа	Отрицательный	Нейтральный	Положительный
Число нарушений и предписаний надзорных органов	Большое	Незначительное	Отсутствуют

присутствия на рынке может сопоставимо (по величине) влиять на обеспечение экономической безопасности по сравнению с более крупным банком, финансовой организацией. Такая оценка может проводиться как для отдельного региона, города, хозяйствующего субъекта, так и для страны в целом. В настоящем исследовании оценка проводилась для страны (государства).

Как видно, в предложенном перечне факторов большая часть количественному измерению не поддается. Учитывая уже имеющийся опыт разработки шкал опасности (Литвак, 1996; Тулупов, 2014), в настоящей работе был использован *метод балльного шкалирования*.

В табл. 1 представлена оценочная матрица факторов, характеризующих влияние банковского сектора на уровень экономической безопасности. В качестве классов m по каждому фактору i описываются возможные дискретные состояния этого фактора. При этом последовательность m внутри каждого фактора i расположена по возрастанию степени влияния на уровень экономической безопасности.

При оценке влияния банка L на обеспечение экономической безопасности его индивидуальный балл W_{iL} по фактору i вычисляется по формуле:

$$W_{iL} = m_{i \max} + 1 - m_{iL}, \quad (1)$$

где m_{iL} — номер класса оценочной матрицы факторов, которому соответствует банк L по фактору i ; $m_{i \max}$ — общее число классов оценочной матрицы для каждого фактора; W_{iL} — частный критерий благонадежности для банка L по фактору i .

Помимо сформулированных возможных состояний выделенного перечня факторов, предложенный подход предполагает проведение оценки степени влияния каждого фактора. Поскольку официальные статистические данные по большинству факторов отсутствуют, нами было проведено анкетирование высококвалифицированных экспертов в рассматриваемой области: научных работников, занимающихся исследованием проблематики банковской деятельности, а также управляющего звена ведущих банков Республики Узбекистан.

Для опроса нами была разработана анкета, построенная по закрытому типу, в которой экспертам предлагалось разместить по шкале влияния девять факторов. При ранжировании экспертов просили расположить оцениваемые факторы по убыванию степени их влияния, причем наиболее влиятельный фактор занимал первое место. Результаты проведенного ранжирования представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты измерения факторов влияния

№ фактора	Фактор влияния на уровень экономической безопасности, i	Степень влияния a_i
1	Доступность кредитов населению	0,8
2	Доступность кредитов хозяйствующим субъектам	0,9
3	Территориальный охват	0,2
4	Уровень доверия населения и бизнеса	0,6
5	Уровень капитализации	0,7
6	Уровень ликвидности	0,6
7	Структура инвестиционного портфеля	0,8
8	Коэффициент левериджа	0,9
9	Число нарушений и предписаний надзорных органов	0,1

Таблица 3. Оценочная матрица степени влияния банка на обеспечение экономической безопасности

Степень влияния на обеспечение экономической безопасности	Численное значение
Очень высокая	0,8–1,0
Высокая	0,64–0,8
Средняя	0,37–0,64
Низкая	0,2–0,37
Очень низкая	0,0–0,2

Как видно из данных в табл. 2, коэффициент a_i для рассмотренной совокупности факторов изменяется в широких пределах.

Для оценки степени влияния банка в обеспечение экономической безопасности предлагается выполнить операцию взвешенного суммирования выделенных факторов влияния:

$$k_L = \sum_i a_i W_{iL} / \sum_i a_i W_{i_{max}}, \quad (2)$$

где k_L — индивидуальный критерий вклада банка L в обеспечение экономической безопасности; a_i — степень влияния фактора i на уровень экономической безопасности; W_{iL} — частный критерий для банка L по фактору i ; $W_{i_{max}}$ — максимально возможное значение индивидуального балла по фактору i .

Для определения уровня вклада банка L в обеспечение экономической безопасности необходимо вычисленное по предлагаемой формуле (2) значение индивидуального критерия благонадежности сопоставить со шкалой Харрингтона (табл. 3), применяемой для характеристики степени выраженности критериального свойства.

ПРАКТИЧЕСКАЯ АПРОБАЦИЯ

Проведем практическую апробацию разработанного инструментария для одного из банков Республики Узбекистан — акционерного инновационного коммерческого банка «Ипак Йули». Выбор данного банка объясняется согласием его руководства провести мониторинг всех необходимых параметров, что говорит о прозрачности функционирования настоящего хозяйствующего субъекта. Также важно отметить, что анализируемая нами финансовая отчетность подтверждена международной аудиторской организацией «Делойт энд Туш».

Банк «Ипак Йули» осуществляет свою деятельность с 1990 г. В настоящее время он действует на основании лицензии на ведение банковских операций № 10 от 21 октября 2017 г. С 1995 г. банк является членом Ассоциации банков Узбекистана (Статистический бюллетень..., 2019), а с 2002 г. — членом Фонда гарантирования вкладов Республики Узбекистан.

Данный банк ведет бизнес деятельность в следующих основных направлениях: малое и частное предпринимательство; корпоративный бизнес; розничный бизнес; финансовые институты; инвестиционный бизнес.

Переходя к оценке факторов 1 и 2, характеризующих кредитование населения и хозяйствующих субъектов, отметим, что в 2018 г. основную долю портфеля (90,8%) составляли кредиты, выданные юридическим лицам. Похожая структура портфеля кредитов была и в предыдущие годы.

Анализ кредитных операций показал, что банк стремится диверсифицировать кредитование. Несмотря на то что в 2018 г. возросла доля компаний торгового сектора (30,5%), суммарный вклад предприятий реального сектора экономики остается высоким (38%). Основная масса заемщиков банка — крупные и средние предприятия.

Кредитный портфель также диверсифицирован по срочности кредитов: доля долгосрочных кредитов свыше года составляет 50% от кредитного портфеля. Кредитный портфель характеризуется высоким качеством предоставленных ссуд: 77,4% ссуд классифицированы как стандартные; 20,5% — как субстандартные и лишь 2,1% — как неудовлетворительные, сомнительные и безнадежные. Банк формирует резервы на случай возможных потерь по кредитам и прочим активам в связи с требованиями нормативных актов Центрального банка Республики Узбекистан, сохраняя консервативный подход к оценке кредитного риска.

Отметим, что из всего объема кредитов 47% выдано в иностранной валюте, в частности, 9,9 млн евро и 132,02 млн долл. США. Высокая концентрация кредитов, выданных в иностранной валюте, связана с работой банка со средствами, привлеченными от международных финансовых институтов.

Кредитование физических лиц составляет 9,2% кредитного портфеля и впервые за последние несколько лет приблизилось к отметке 10% совокупного кредитного портфеля. Динамика портфеля кредитов, выданных физическим лицам, почти удвоилась, что связано с началом выдачи в 2018 г. микрозаймов и автокредитов.

Улучшение качества кредитного портфеля банка в 2018 г. характеризуется следующими показателями:

- сокращение просроченной задолженности с 2,43% в конце 2017 г. до 1,47% на конец 2018 г.;
- снижение размера созданных резервов за счет улучшения качества кредитного портфеля с 4,03% в конце 2017 г. до 3,45% на конец 2018 г.;
- снижение процента неработающих кредитов в течение года с 1,76 до 1,66%.

На рис. 1 графически показан анализ качества кредитного портфеля банка.

Объем выданных гарантий к концу 2018 г. увеличился почти в два раза. Сумма всех гарантий банка на 1 января 2019 г. составила 168,89 млрд сум, а в конце 2018 г. эта цифра составляла 92,76 млрд сум. В 2018 г. кредитный портфель банка увеличился на 30% и достиг абсолютного значения в 2564,24 млрд сум.

На сегодняшний день банк располагает сбалансированной ресурсной базой, а также средствами международных финансовых институтов (МФИ) для осуществления непрерывной кредитной деятельности. В конце 2018 г. банком были заключены соглашения на предоставление кредитных линий с Международной финансовой корпорацией (МФК) на сумму 15 млн долл. США, с Европейским банком развития — на сумму 20 млн долл. США и с Корпорацией инвестиций и развития Германии (DEG) — на сумму 7 млн долл. США. Швейцарская инвестиционная компания Symbiotics³ 18 ноября 2019 г. выделила банку «Ипак Йули» новую кредитную линию в размере 10 млн долл. США, предоставляемую в узбекских сумах. Кредитная линия предназначена для финансирования проектов малого бизнеса и частного предпринимательства в целях поддержания частного сектора и увеличения его доли в экономике Узбекистана.

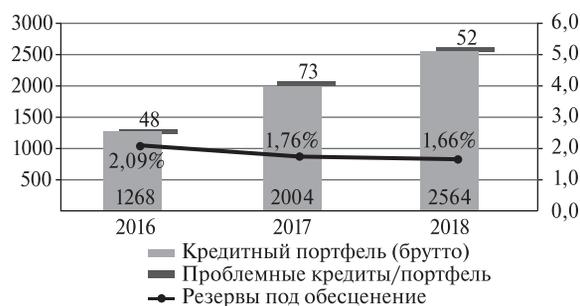


Рис. 1. Анализ качества кредитного портфеля банка, млрд сум

³ Инвестиционная компания Symbiotics зарегистрирована в 2004 г. в Женеве, специализируется на устойчивом финансировании развивающихся стран. Компания предлагает услуги в сфере исследования рынка, инвестиционного консультирования и управления активами. Начиная с 2005 г. Symbiotics инвестировала более 3,5 млрд долл. США и в настоящее время работает более чем в 70 странах с развивающейся экономикой. В целях привлечения ресурсов Symbiotics выпустила облигации, номинированные в узбекских сумах, на Люксембургской фондовой бирже. Выпуск облигаций в национальной валюте Республики Узбекистан для фондирования АИКБ «Ипак Йули» позволит повысить заинтересованность зарубежных портфельных инвесторов и фондов к рынку Узбекистана и привлечь дополнительные ресурсы для финансирования инвестиционных проектов в стране.

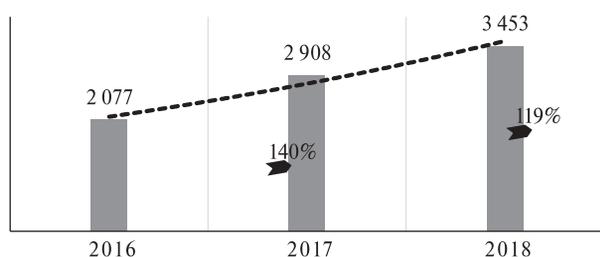


Рис. 2. Динамика обязательств банка, млрд сум

Сравнительно хуже обстоит положение дел с фактором 3, характеризующим территориальный охват.

Региональная сеть банка «Ипак Йули» насчитывает более 91 офисов, включая филиалы и офисы обслуживания, более 200 банкоматов и более 10 тыс. терминалов по всему Узбекистану. В настоящее время в регионах действует восемь филиалов, а также восемь филиалов в Ташкенте. Поскольку продукты и услуги банка представлены не во всех регионах, для третьего фактора влияния номер класса значений оценочной матрицы оказался минимальным.

Оценивая уровень доверия населения и бизнеса (фактор 4), отметим, что по состоянию на 1 января 2018 г. размер остатков средств на счетах депозитов клиентов составил 1860 млрд сум, в том числе 410,7 млрд сум — на счетах физических лиц. В течение 2018 г. сумма остатков на счетах клиентов увеличилась на 5,37%. Большую часть средств, находящихся на счетах банка в свободном доступе, представляют собой депозиты до востребования юридических лиц. На рис. 2 показана динамика обязательств банка.

Размер срочных депозитов юридических лиц на 1 января 2019 г. составил 350,85 млрд сум. Средневзвешенная ставка по привлеченным депозитам юридических лиц по банку в 2018 г. — 13,7%. Общий размер привлеченных депозитов физических лиц на срочной основе — 130,60 млрд сум, в том числе депозиты, привлеченные в иностранной валюте, достигли 76,8 млрд сум, а средневзвешенная ставка по депозитам физических лиц — 10,1%.

Международные карты Visa, выпускаемые и поддерживаемые банком, положительно зарекомендовали себя и пользуются доверием клиентов. Учитывая упрощение процесса приобретения иностранной валюты посредством международных пластиковых карт, спрос на карты банка в течение 2018 г. превысил ожидаемые объемы. Кроме того, собственный процессинговый центр, оперативность обслуживания, гибкие тарифы выпуска и пользования картами, а также статистика роста эмиссии карт позволяют прогнозировать дальнейший рост карточного бизнеса банка. По итогам 2018 г., общее число выпущенных пластиковых карт в иностранной валюте достигло всего 129 612 штук, при этом остаток средств на международных карточных счетах Visa составил 16,84 млн долл. США.

По состоянию на 1 января 2019 г. размер средств физических лиц на счетах платежных карт оценивался в 232,59 млрд сум. По итогам 2018 г., общее число установленных терминалов в торговых точках и предприятиях сервиса в целом по республике составило более 10 882 штук, а общее число установленных банкоматов и инфокиосков — 162 штук. Эти данные ясно показывают, что исследуемый банк старается сформировать устойчивую клиентскую базу, которая является необходимой составляющей успешного ведения бизнеса.

Таким образом, банк заинтересован в создании условий для постоянного прироста клиентской базы, в банке сформировано понимание того, что успешность непосредственно связана с уровнем организации работы с клиентами и как следствие — пользуется высоким уровнем доверия юридических и физических лиц. Кроме того, в 2018 г. рейтинги банка были подтверждены рейтинговыми агентствами «Moody's Investors Service, Inc.» и «Fitch Ratings Ltd.», а также «Ahbor-Reyting», что является дополнительным стимулом для населения и бизнеса выбрать именно данный банк.

Анализируя финансово-экономические показатели работы банка (факторы 5–8), в том числе соответствие требованиям «Стандартов банковской деятельности» Базельского комитета по банковскому надзору, отметим, что собственный капитал составил 502,03 млрд сум, что эквивалентно 52,95 млн евро и более чем в пять раз превышает минимальное требование к размеру собственного капитала. Исполнение норматива достаточности капитала, рассчитанного по методике

При этом важно отметить, что внедренная в банке система присвоения кредитного рейтинга заемщикам банка позволяет улучшить качество портфеля и обеспечивает менеджмент информацией о заемщике еще на стадии рассмотрения кредитных заявок.

Заметный рост кредитного портфеля, причем как в количественном, так и в качественном отношении, позволяет поставить по первым двум параметрам (факторы 1 и 2) наивысшие оценки.

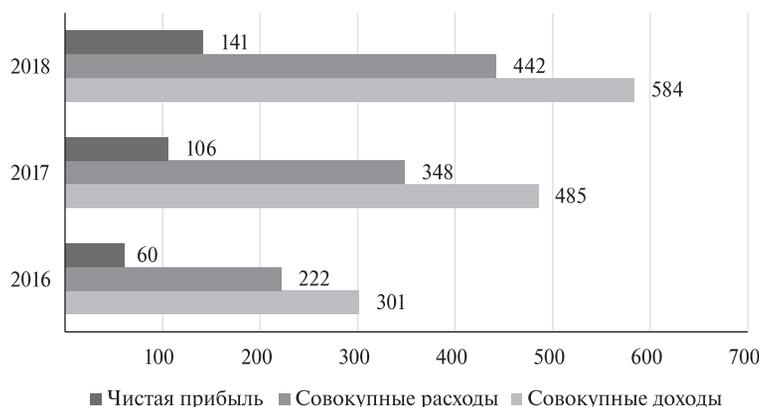


Рис. 3. Динамика прибыли, доходов и расходов банка, млрд сум

оценки достаточности капитала (Положение Банка России, 2012) в соответствии с требованиями Базель III⁴, составило 14,51% при нормативном требовании со стороны регулятора 12,5%.

По итогам 2018 г., чистая прибыль банка составила 141,494 млрд сум, что обеспечило рентабельность капитала выше 28%. На рис. 3 представлен анализ динамики прибыли, доходов и расходов банка в 2018 г.

В 2018 г. увеличение чистой прибыли по сравнению с 2017 г. составило более 33%. При этом рентабельность активов Банка оценивалась в 3,93% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года, где данный показатель оказался 3,3%. В 2018 г. базовая прибыль на одну акцию достигла 6,83 сум (в 2017 г. — 8,32 сум).

Существенную долю в общих доходах банка составляют комиссионные доходы, полученные банком от предоставления услуг по расчетно-кассовому обслуживанию, по обслуживанию международных и национальных платежных карт, международных расчетов и международных денежных переводов, предоставления гарантий, торговому финансированию и других текущих операций. Общая сумма полученных комиссионных доходов — 159,81 млрд сум. При этом необходимо отметить, что доля розничного бизнеса в структуре комиссионных доходов составляет 25%.

Отметим, что большую часть расходов банка представляют операционные расходы, связанные с материальным вознаграждением кадрового состава, а также по содержанию зданий, сооружений, техники, оборудования, необходимых для жизнедеятельности банка. На 1 января 2019 г. общая сумма операционных расходов достигла 222,63 млрд сум.

В целом показатель CIR (*cost incomeratio*), отражающий эффективность деятельности, по состоянию на 1 января 2019 г. составлял 46,3%, при том что банк признает приемлемым сохранение данного показателя в пределах 50%, а со стороны МФИ установлены требования сохранения данного показателя в пределах 75%.

В 2018 г. активы банка увеличились на 22% и достигли 3954 млрд сум. Совокупный кредитный портфель вырос на 30% и составил 2564 млрд сум, показав прирост и в частном, и в розничном секторе. На рис. 4 представлен рост динамики активов банка за период 2016–2018 гг.

Другие показатели, характеризующие рентабельность и эффективность деятельности, по итогам 2018 г., сохранились на приемлемом уровне. В частности, на конец отчетного периода доля доходоприносящих активов банка составила 70%, при этом доля кредитного портфеля в составе активов банка находилась на уровне 64%. При этом почти 25% составляют такие ликвидные активы,

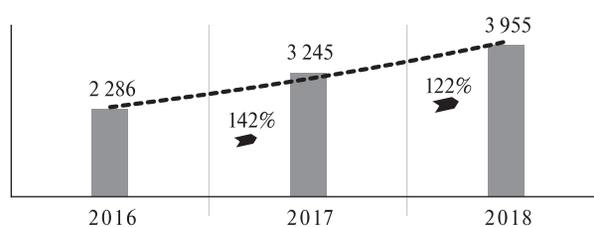


Рис. 4. Динамики активов банка, млрд сум

⁴ Basel III and European Banking: Its impact, how banks might respond, and the challenges of implementation. EMEA Banking, McKinsey & Company.



Рис. 5. Анализ структуры активов банка за период 2016–2018 гг., %

как кассовая наличность и счета в ЦБРУ и других банках. Уровень расходнесущих обязательств на конец 2018 г. достиг 55% обязательств банка.

Имеющаяся у банка на данный момент клиентская база позволяет аккумулировать достаточный размер ресурсов для поддержания высокого уровня ликвидности, составившего по итогам 2018 г. 83,8%. Анализ показателей текущей ликвидности позволяет сделать заключение о сохранении приемлемого уровня ликвидности. На рис. 5 представлен сравнительный анализ структуры активов банка за период 2016–2018 гг.

Размер финансовых активов банка в течение 2018 г. увеличился до 46,7 млрд сум. Данный прирост возник в результате приобретения государственных краткосрочных облигаций. Доходность по этим облигациям достигала в 14–16% годовых в зависимости от срока обращения.

Общая сумма процентных доходов, полученных банком в 2018 г., составила 366,78 млрд сум, прирост по сравнению с предыдущим годом — 47%. Основу процентных доходов, учитывая структуру активов банка, представляют процентные доходы по кредитным операциям, которые на конец отчетного периода оценивались в 360,82 млрд сум. При этом сумма процентных расходов по привлеченным средствам находилась на уровне 109,11 млрд сум, прирост процентных доходов по сравнению с 2017 г. достиг 47,2%.

Структура обязательств банка за период 2016–2018 гг. показана на рис. 6 и в 2019 г. существенно не изменилась (по сравнению с 2018 г.). Рост пассивов за год составил 545,22 млрд сум, или 18%. Прирост был обеспечен за счет роста обязательств банка посредством увеличения средств кредитных организаций и клиентских остатков.

Оценивая фактор «число нарушений и предписаний надзорных органов», отметим, что осуществление эффективного банковского надзора со стороны регулирующих органов, а также неуклонное соблюдение установленных пруденциальных требований банком позволяют поставить наивысшую оценку по данному показателю. Кроме того, соблюдение всех требований позволило банку получить положительные рейтинговые оценки международных и национальных



Рис. 6. Структура обязательств банка за период 2016–2018 гг., %

Таблица 4. Оценка вклада банка «Ипак Йули» в обеспечение экономической безопасности

Значение фактора для оцениваемого банка (по оценочной матрице)	Класс m	W_{iL}	$a_i W_{iL}$	$a_i W_{i(max)}$
Гибкая кредитная линия без скрытых обременительных условий	3	1	2,4	3,2
Гибкая кредитная линия без скрытых обременительных условий	3	1	2,7	3,6
Сравнительно небольшое число отделений и офисов	1	3	0,2	0,8
Высокий уровень доверия населения и бизнеса	3	1	1,8	2,4
Достаточный уровень капитализации	2	2	1,4	2,8
Достаточный уровень ликвидности	3	1	1,8	2,4
Умеренная (рыночная) структура инвестиционного портфеля	2	2	1,6	3,2
Положительный коэффициент левериджа	3	1	2,7	3,6
Нарушения и предписания надзорных органов отсутствуют	3	1	0,3	0,4
Средневзвешенное значение			14,9	22,4
Индивидуальный критерий вклада в обеспечение экономической безопасности k_L			0,665179	

рейтинговых агентств. На сегодняшний день по результатам рейтинговых отчетов банку присвоен международный рейтинг «Moody's Investors Service, Inc.» на уровне «B2», а также агентством «Fitch Ratings Ltd.» на уровне «B». Кроме того, на протяжении нескольких последних лет национальным рейтинговым агентством «Ahbor-Reyting» банку присваивается рейтинговая оценка «UzA+» с прогнозом «Стабильный».

Данные рейтинговые оценки дополнительно подтверждают приемлемые показатели качества активов, хорошую прибыльность, а также достаточный уровень ликвидности и капитализации. Отметим, что по результатам анализа деятельности всех коммерческих банков Узбекистана, по масштабам деятельности банк «Ипак Йули» по итогам 2018 г. занимает 12 позицию.

В табл. 4 (столбец 2) показаны соответствующие каждому оцениваемому для банка «Ипак Йули» фактору значения (перечень возможных значений представлен в табл. 1). Обработка данных в соответствии с предложенным инструментарием представлена в столбцах 3–5 табл. 4.

Для общей количественной оценки вклада банка «Ипак Йули» в обеспечение экономической безопасности применим формулу (2). Сопоставляя полученное значение вычисленного индивидуального критерия вклада в обеспечение экономической безопасности с данными в табл. 3, пришли к заключению, что рассматриваемый банк принадлежит к хозяйствующим субъектам с высоким уровнем влияния на обеспечение экономической безопасности Республики Узбекистан.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическая апробация инструментария оценки вклада банковской деятельности в обеспечение экономической безопасности на примере акционерного инновационного коммерческого банка «Ипак Йули» показала, что предложенный подход позволяет получить количественно сопоставимую оценку уровня влияния банков на обеспечение экономической безопасности в зависимости от широкого перечня состояний выделенных факторов влияния. При этом важно отметить, что для оцениваемого банка вычисленное значение индивидуального критерия вклада в обеспечение экономической безопасности находится ближе к нижнему интервалу высоко-го уровня градации (0,64) и в случае незначительного ухудшения любого показателя (всего на 0,02) (при других неизменных характеристиках) высока вероятность смещения банка в градацию среднего уровня влияния. Поэтому в современных условиях функционирования банку стратегически необходимо улучшить параметры по ряду факторов, прежде всего — территориальному охвату, оказывающему значительное влияние на доступность предлагаемых услуг банка и, как следствие, — опосредованно на прибыль, ликвидность и другие важнейшие финансово-экономические показатели. Предлагаемые рекомендации в целом позволят улучшить надежность работы банка и внести дополнительный вклад в обеспечение экономической безопасности Республики Узбекистан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Егорова Н.Е., Королева Е.А.** (2018). Доверие как институциональный фактор интенсификации взаимодействия банков и малого предпринимательства // *Экономика и предпринимательство*. № 11 (100). С. 667–671. [Egorova N.E., Koroleva E.A. (2018). Trust as an institutional factor in the intensification of interaction between banks and small businesses. *Economy and Entrepreneurship*, 11 (100), 667–671 (in Russian).]
- Звонова Е.А., Навой А.В., Пищик В.Я., Игнатова О.В., Прудникова А.А.** (2016). Дисбалансы внешнего сектора российского финансового рынка и подходы к их регулированию // *Проблемы прогнозирования*. № 5 (158). С. 133–143. [Zvonova Ye.A., Navoy A.V., Pishchik V. Ya., Ignatova O.V., Prudnikova A.A. (2016). Imbalances in the external sector of the Russian financial market and approaches to their regulation. *Problems of Forecasting*, 5 (158), 133–143 (in Russian).]
- Зиядуллаев Н.С., Зиядуллаев У.С.** (2020). Методические основы сравнительной оценки экономической безопасности России и Республики Узбекистан // *Экономические системы*. № 2. С. 23–31. [Ziyadullayev N.S., Ziyadullayev U.S. (2020). Methodical foundations of a comparative assessment of the economic security of Russia and the Uzbekistan Republic. *Economic Systems*, 2, 23–31 (in Russian).]
- Зиядуллаев Н.С., Зоидов К.Х., Зиядуллаев У.С., Рахматова З.И., Симонова Ю.С., Зоидов З.К.** (2017). Экономическая безопасность национальной банковской системы в условиях глобализации. М.: ИПР РАН. [Ziyadullayev N.S., Zoidov K.Kh., Ziyadullayev U.S., Rakhmatova Z.I., Simonova Yu.S., Zoidov Z.K. (2017). *Economic security of the national banking system in the context of globalization*. Moscow: IPR RAS (in Russian).]
- Зиядуллаев У.С.** (2019). Институциональные механизмы обеспечения экономической безопасности банковской системы в Республике Узбекистан // *Региональные проблемы преобразования экономики*. № 3. С. 87–94. [Ziyadullayev U.S. (2019). Institutional mechanisms for ensuring the economic security of the banking system in the Republic of Uzbekistan. *Regional Problems of Economic Transformation*, 3, 87–94 (in Russian).]
- Каранина Е.В.** (2015). Финансовая безопасность (на уровне государства, региона, организации, личности). Киров: «ВятГУ». [Karanina Ye.V. (2015). *Financial security (at the state, region, organization, individual level)*. Kirov: Vyatka State University (in Russian).]
- Литвак Б.Г.** (1996). Экспертные оценки и принятие решений. Москва: Патент. [Litvak B.G. (1996). *Expert judgment and decision making*. Moscow: Patent (in Russian).]
- Модернизация и экономическая безопасность России (2016). М., СПб.: Нестор-История. [Modernization and economic security of Russia (2016). Moscow, Saint Petersburg: Nestor-History (in Russian).]
- Оголихина С.Д.** (2017). К вопросу о проблеме финансовой устойчивости банковской системы РФ на современном этапе развития // *Современные научные исследования и инновации*. № 1 (69). С. 361–363. [Ogolikhina S.D. (2017). To the issue of the financial stability of the banking system of the Russian Federation at the present stage of development. *Modern Scientific Research and Innovation*, 1 (69), 361–363 (in Russian).]
- Положение Банка России (2012). Положение Банка России от 28.12.2012 № 395-П «О методике определения величины и оценке собственных средств (капитала) кредитных организаций (“Базель III”)» (ред. от 04.08.2016) (Зарегистрировано в Минюсте России 22.02.2013 № 27259). [Bank of Russia Regulation (2012). Bank of Russia Regulation dated December 28, 2012 No. 395-P “On the Methodology for Determining the Amount and Valuation of Equity (Capital) of Credit Institutions (Basel III)” (as amended on August 4, 2016) (Registered in the Ministry of Justice of Russia on February 22, 2013 No. 27259) (in Russian).]
- Сараджева О.В., Барикаев Е.Н.** (2015). Финансовая безопасность. Москва: Юнити. [Sarajeva O.V., Barikaev E.N. (2015). *Financial security*. Moscow: Unity (in Russian).]
- Статистический бюллетень Центрального банка Республики Узбекистан (2019). Ташкент. [Statistical bulletin of the Central Bank of the Republic of Uzbekistan (2019). Tashkent (in Russian).]
- Стратегия экономической безопасности (2017). Стратегия экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена Указом Президента Российской Федерации № 208 от 13 мая 2017 г. [Economic security strategy of the Russian Federation for the period until 2030. Approved by Decree of the President of the Russian Federation No. 208 of May 13, 2017 (in Russian).]
- Татарина Л.В.** (2013). Методические подходы к оценке финансовой устойчивости коммерческого банка. Иркутск: Изд-во БГУЭП. [Tatarinova L.V. (2013). *Methodological approaches to assessing the financial stability of a commercial bank*. Irkutsk: Publishing house of BSUEP (in Russian).]
- Тулупов А.С.** (2014). Расчетно-методический инструментарий страхования риска загрязнения окружающей среды // *Экономика и математические методы*. № 1. С. 24–36. [Tulupov A.S. (2014). Calculation and methodological tools for environmental pollution risk insurance. *Economics and Mathematical Methods*, 1, 24–36 (in Russian).]
- Устойчивость банковской системы и развитие банковской политики (2014). М.: КНОРУС. [The stability of the banking system and the development of banking policy (2014). Moscow: KNORUS (in Russian).]

- Экономическая безопасность России: методология, стратегическое управление, системотехника (2018). М.: РУСАЙНС. [*Economic security of Russia: Methodology, strategic management, systems engineering* (2018). Moscow: RUSAINS (in Russian).]
- Tulupov A.S.** (2019). Environmental resources management and the transition to the cyber economy. *The Cyber Economy*. V.M. Filippov et al. (eds.). Springer Nature Switzerland AG. DOI 10.1007/978-3-030-31566-5_31
- Zasko V.N., Chernyh E.O., Sukhova E.I., Sedova M.V., Ziyadullaev U.S.** (2018). Problems of Russia's integration into the world economy and its economic security. *European Research Studies Journal*, XXI, 2, 333–344.

Assessing the contribution of the banking sector to economic security

© 2021 N.S. Ziyadullaev, A.S. Tulupov, U.S. Ziyadullaev

N.S. Ziyadullaev,

Market Economy Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; e-mail: nabi926@mail.ru

A.S. Tulupov,

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

U.S. Ziyadullaev,

Market Economy Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; University of world economy and diplomacy under the Ministry of Foreign Affairs of the Republic Uzbekistan, Tashkent, Republic Uzbekistan; e-mail: uz2005@yandex.ru

Received 25.03.2020

This study was written as part of the state assignment of the Market Economy Institute, Moscow.

Abstract. The banking sector performs the most important functions in ensuring sustainable economic development. Providing a wide range of financial services to individuals and legal entities (deposits, payments and money transfers, currency exchange, lending, leasing operations, etc.), banks are generally recognized as the "circulatory system" of the economy. Moreover, the approaches used today to assess financial stability in the banking sector cannot reliably characterize the impact of these financial institutions on ensuring economic security of various levels: as a separate region, city, industry, economic entity, and a country, state in general. The aim of the study is to develop tools for assessing the contribution of banking to economic security. The main scientific tools of the work were economic-mathematical and financial types of analysis. Also applied in the work: content analysis, qualitatively-quantitative scaling, matrix-morphological and information modeling. The paper highlights a list of factors that characterize the impact of the banking sector on the economic security; the degree of influence is determined, as well as a list of possible discrete states of each factor; an approach has been developed to assess the contribution of banking activity to the stability of the economic system. The reliability of the research results is confirmed by the practical application for the joint-stock innovative commercial bank "Ipak Yuli" of Uzbekistan Republic. Testing showed that the proposed approach allows us to give a quantitatively comparable assessment of the degree of influence of banking activities on ensuring economic security, depending on a wide list of conditions of identified influence factors. Recommendations on improving the functional parameters for the financial institution being evaluated are formulated.

Keywords: economic security, bank, sustainable development.

JEL Classification: G21, C58.

DOI: 10.31857/S042473880014079-5

ПРОБЛЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Организационная эффективность в условиях неопределенности внешней среды:
количественный анализ**

© 2021 г. А.Б. Письменная, В.Г. Анфиногентов

А.Б. Письменная,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта», Москва; e-mail: anna_pismiennaya@mail.ru

В.Г. Анфиногентов,

ООО «Ай-ФОРС», Москва; e-mail: vanfin@fors.ru

Поступила в редакцию 07.12.2020

Аннотация. Понятие организационной эффективности является одним из ключевых в теории организации, теории управления, корпоративном менеджменте. В настоящий момент анализ организационной эффективности в основном ориентирован на рассмотрение финансовых результатов работы организации, в то время как анализ количественных характеристик внутренней деятельности организации позволяет получить более актуальную информацию и дает возможность проанализировать резервы повышения организационной эффективности. Целью данной работы являлось сравнение количественных характеристик эффективности работы различных организационных структур в условиях неопределенности внешней среды и определение возможностей повышения организационной эффективности в этих условиях. В работе использованы методы анализа поведения организации в условиях внешней неопределенности на основе мультиагентских моделей. Рассмотрены такие виды организаций, как чисто иерархическая, адхократическая и гибридный тип организации, включающий иерархическую структуру управления и набор проектных команд. В работе показано влияние организационной структуры на поведение организации при повышении уровня внешней неопределенности. Определены области применимости различных типов организационных структур в зависимости от уровня неопределенности внешней среды. Рассмотрен механизм влияния внутриорганизационных взаимодействий на поведение организации в целом, показаны особенности этого механизма для различных типов организаций. Для всех типов исследованных организаций обнаружен и рассмотрен пороговый эффект воздействия повышения индивидуальной эффективности сотрудников на эффективность организации в целом. На основе полученных данных предложены стратегии обучения и реорганизации, позволяющие минимизировать негативное воздействие неопределенности на организационную эффективность.

Ключевые слова: организационная эффективность; неформальные взаимодействия; структура организации; развитие организации.

Классификация JEL: C63, D20, D22, D23.

DOI: 10.31857/S042473880014084-1

ВВЕДЕНИЕ

Понятие организационной эффективности является одним из ключевых в теории организации, теории управления, корпоративном менеджменте (Adler, 1960; Pokharel, Choi, 2015; Luban, 2009; Alvesson, 1989; Holthausen, Tsoulouhas, 2008). Каждая из существующих школ управления внесла значительный вклад в понимание организации как целостной структуры, и это понимание существенно расширилось за счет использования теории систем. В этом направлении была разработана концепция целостности организации. Элементами, определяющими поведение и свойства целостной организации, являются люди — сотрудники организации и ее структура, обуславливающая механизм передачи информации внутри организации в процессе достижения организационных целей. Организационная структура представляется одной из существенных частей организации, частью, придающей организации стабильность и, как следствие, существенно определяющей уровень эффективности организации. Повышение организационной эффективности представляет собой одну из ключевых задач в процессе управления. В связи с этим в современных высококонкурентных условиях возрастает значение теоретического анализа вопроса влияния на организационную эффективность структуры организации. Влияние на организационную эффективность оказывает как организационная структура как таковая, понимаемая как способ

организации взаимодействующих элементов, так и характеристики индивидуальных агентов ее составляющих. Исследование данного вопроса представляет собой весьма актуальную проблему, изучению которой уделяется большое внимание в современной литературе (Ambarwati et al., 2016; Rezaee et al., 2019; Král, Králová, 2016; Joseph, Klingebiel, Wilson, 2016). Значение данного вопроса возрастает в связи с нарастанием конкуренции, требующей от каждой организации повышения своей способности к работе в меняющейся рыночной среде.

Необходимо также отметить, что резервы повышения эффективности, связанные с организационными изменениями, являются значительными (Письменная, 2015) и, как правило, требующими для своего использования несравнимо меньших вложений сил и средств со стороны организации, чем использование резервов материально-технической базы, что усиливает интерес к практической реализации теоретических исследований указанного вопроса.

Организационная структура в целом в значительной мере задает логику взаимодействий между уровнем управления и уровнем функциональной деятельности. Каждая организация стремится к тому, чтобы эта логика обеспечивала наиболее эффективное выполнение целей, которые организация ставит перед собой в меняющихся внешних условиях. Очевидно, что на функциональном уровне существенное влияние на эффективность организации оказывает развитие технологии, используемые способы и практики работы, характерные для данной области. Однако на уровне управления деятельность может быть сведена (с определенным уровнем упрощения) к обработке поступающей информации и принятию решений. Именно на этом уровне содержатся наиболее существенные резервы повышения эффективности за счет реорганизации деятельности.

Вопрос организационной эффективности также приобретает особое значение в связи с организационными изменениями, происходящими во многих компаниях и связанными со слияниями и поглощениями, являющимися трендом на современном корпоративном рынке (Lazar, 2011; Reixin et al., 2018), что особенно характерно для транспортной отрасли (Москвитин, 2012; Вукаторов, Kibalov, Kin, 2017). Однако давно существующие торговые и производственные союзы в настоящий момент также находятся под ударом высокотурбулентной экономической ситуации. Возникает вопрос, на что должны быть направлены организационные изменения, неизбежные в существующей обстановке, чтобы организация получила положительный эффект от проходящих процессов.

Переход от качественной оценки организационной эффективности к количественным оценкам также является существенным и востребованным на корпоративном уровне (Vošković, Krstić, 2018). Существующая практика оценки по финансовым результатам позволяет получать информацию об эффективности на регулярной основе, но она может быть расширена за счет анализа не только результата, но и процесса деятельности по управлению организацией, что дает более полную и точную картину процессов, влияющих на эффективность (Piot-Lepetit, Perrigot, Cliquet, 2014).

Существуют различные подходы к количественному анализу организационной эффективности — упомянутый ранее подход, основанный на финансовых результатах, имеющий столь же очевидные ограничения, сколь же и преимущества, и различные подходы, основанные на более или менее глубоком анализе строения компании и процессов, в ней происходящих. В настоящее время выделяется подход на основе бенчмаркинга, позволяющий осуществить сравнение с образцом (Kuczevska, Morawska, 2016). В связи с этим существенный интерес представляет построение моделей, описывающих наиболее точным образом сущность организационного строения. Подобные модели могут выступать в качестве эталонного образца, в том числе для бенчмаркинга. В настоящей работе мы рассматриваем набор таких эталонных моделей.

Цель работы — проанализировать воздействие организационной структуры на способность организации к адаптации, на ее конкурентоспособность и предложить пути повышения организационной эффективности в условиях неопределенности внешней среды.

МЕТОДЫ

В настоящей работе мы рассматриваем влияние меняющейся внешней среды на поведение организации, при этом организация рассматривается как набор N_0 идентичных взаимодействующих агентов. Мультиагентные модели получили широкое распространение как средство анализа динамики различных социально-экономических систем в силу как простоты и естественности исходных посылок, так и возможности детально проанализировать сложную динамику комплексных систем (см., например, (Davis, 2013; Макаров и др., 2020)).

Агент i может находиться в двух состояниях — исходном, соответствующем начальному состоянию организации ($s_i = 0$), и целевом, соответствующем новому состоянию внешней среды ($s_i = 1$). Вероятность P переключения агента i в целевое состояние на каждом шаге моделирования определяется сигмоидной функцией следующего вида:

$$P(i) = C e^{ax_i/x_{oi}} / (1 + C e^{ax_i/x_{oi}}),$$

где x_i — число агентов, связанных с агентом i и находящихся в состоянии, отличном от базового, x_{oi} — общее число агентов, связанных с агентом i . Параметр a определяет индивидуальную эффективность отдельного агента, с его ростом данному агенту нужно все меньше информации от других агентов для принятия решения о переходе в целевое состояние. Ключевыми для поведения системы являются две характеристики — структура организации в целом и a — характеристика индивидуальной эффективности каждого агента.

Структура организации определяется числом агентов N_i , находящихся в иерархической однонаправленной связи и числом уровней иерархии G_i , числом агентов, связанных двунаправленной связью N_p и количеством групп, в которых реализована двунаправленная связь G_p .

В настоящей работе рассмотрены три типа организаций — иерархический ($N_i = N_0$, $G_i = 4$, $N_p = 0$, $G_p = 0$), адхократический ($N_i = 3$, $G_i = 1$, $N_p = N_0 - 3$, $G_p = 3$) и проектный ($N_i = N_0 / 2$, $G_i = 2$, $N_p = 0,5N_0$, $G_p = 8$) — в терминологии Куна (Quinn, Rohrbaugh, 1981). Данные типы организации покрывают почти весь спектр возможных организационных структур, представляя как предельные случаи, так и некоторую их комбинацию. Принципиальное отличие иерархической структуры от других исследованных видов заключается в однонаправленной связи, когда информация о целевом состоянии, доступная нижестоящим агентам, целиком определяется состоянием агентов, расположенных на вышестоящем уровне.

Моделирование изменяющейся внешней среды производилось путем подачи одному из агентов, стоящих на вершине иерархической структуры организации, на шаге k моделирования переменного внешнего сигнала вида

$$I(k) = \begin{cases} 1, & \text{если } \text{mod}(k, T_v) = 0; \\ 0 & \text{— в остальных случаях.} \end{cases}$$

Рассмотрены были два варианта — внешний сигнал с фиксированным периодом изменений $T_v = \text{const}$ и внешний сигнал, в котором период его поступления менялся случайным образом в различных пределах ($2 < T_v < 6$). Поведение системы рассматривалось при изменении параметра a , определяющего адаптационные возможности отдельного агента.

Для сравнения динамики различных организационных структур ранее была предложена характеристика, представляющая собой нормированное время переключения организации в целом в состояние, соответствующее внешнему воздействию (Письменная, Власюк, 2016). В настоящей работе мы развиваем описанную модель, предполагая изменение внешнего сигнала. В силу существенной нестационарности задачи представляется перспективным использовать в качестве характеристики адаптационных возможностей организации не время перехода в стационарное состояние, а нормированное на размер организации количество агентов, находящихся в новом (целевом) состоянии по истечении фиксированного числа шагов моделирования T (в нашем случае $T = 100$, что существенно превышает как длительность распространения сигнала по организации в стационарном случае, так и период внешнего воздействия), $S = N(k | s_i = 1) / N_0$. Большая величина этой характеристики будет соответствовать лучшим адаптационным возможностям организации и ее большей конкурентоспособности. Окончательный результат был получен в результате усреднения по результатам 50 отдельных симуляций динамики системы. Увеличение этого параметра не показало существенного влияния на результаты.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем разделе мы анализируем зависимость введенной ранее характеристики S — доли организации, находящейся в целевом состоянии по окончании моделирования (большим значениям соответствует лучшая адаптация организации к внешним условиям за один и тот же промежуток времени) от значений параметра a , определяющего вероятность перехода агента в целевое состояние (большим значениям соответствуют большая вероятность перехода в целевое состояние при неизменном состоянии остальных агентов) для различных организационных

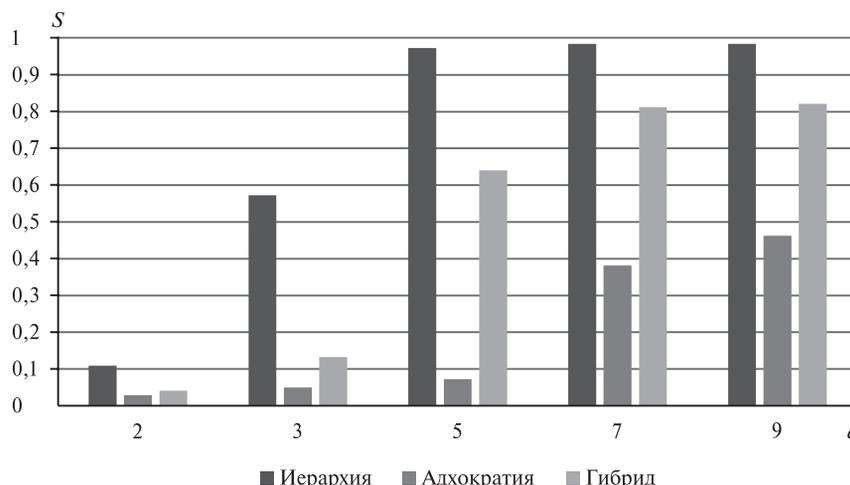


Рис. 1. Зависимость организационной эффективности S от параметра индивидуальных способностей сотрудника a в условиях низкой неопределенности внешней среды

структур — иерархической ($N_i = N_0$, $G_i = 4$, $N_p = 0$, $G_p = 0$), адхократической ($N_i = 3$, $G_i = 1$, $N_p = N_0 - 3$, $G_p = 3$) и гибридной ($N_i = 0,5N_0$, $G_i = 2$, $N_p = 0,5N_0$, $G_p = 8$).

Результаты моделирования показывают существенное влияние организационной структуры на значение адаптационной характеристики S (как следствие и на конкурентоспособность) в условиях изменчивой внешней среды. При фиксированном значении параметра индивидуальной эффективности a различие в значениях адаптационной характеристики может достигать от 0,8 до 10 раз. Для каждого из рассмотренных видов организации значение адаптационной характеристики S также сильно зависит от параметра индивидуальной эффективности отдельного агента.

Для всех рассмотренных видов организаций с ростом индивидуальной эффективности эффективность организации в целом растет как для низкой, так и для высокой неопределенности внешней среды, что ожидаемо, однако скорость этого роста и его пределы существенно отличаются. Максимальная эффективность около 1 (все сотрудники устойчиво находятся в целевом состоянии) была достигнута в случае чисто иерархической организации при быстром изменении внешних условий. Для случая адхократии и гибридной организации максимальная эффективность (0,5 и 0,8 соответственно) существенно не зависела от периода изменения внешних условий. Максимальная эффективность была достигнута при максимальных исследованных значениях индивидуальной эффективности, что ожидаемо.

Интересным является наличие четко выраженного порогового эффекта в зависимости конкурентоспособности организации от индивидуальной эффективности отдельных сотрудников. На рис. 1 этот эффект выражается в различном приращении параметра организационной эффективности S при неизменном приращении параметра индивидуальной эффективности a . Для адхократии рост индивидуальной эффективности сотрудника в 2 раза (с 4 до 8) вблизи порогового уровня индивидуальной эффективности, равного 6, приводит к росту более чем в 5 раз показателя конкурентоспособности организации в целом, для гибридной структуры рост на 30% вблизи порога, равного 4, приводит к росту показателя конкурентоспособности более чем в 4 раза. Отметим, что в случае адхократии порог, за которым происходит резкий рост эффективности организации, соответствует более высоким значениям индивидуальной эффективности. Минимальный пороговый эффект был обнаружен в иерархической структуре, однако здесь пороговый эффект проявляется при минимальных значениях индивидуальной эффективности.

При наличии порогового эффекта естественным является и наличие эффекта насыщения в зависимости конкурентоспособности организации в целом от индивидуальной эффективности. После достижения роста конкурентоспособности в результате роста индивидуальной эффективности и прохождения порога дальнейший рост индивидуальной эффективности уже не дает существенной прибавки в конкурентоспособности организации. Особенно ярко этот эффект проявляется в случае гибридных и иерархических структур.

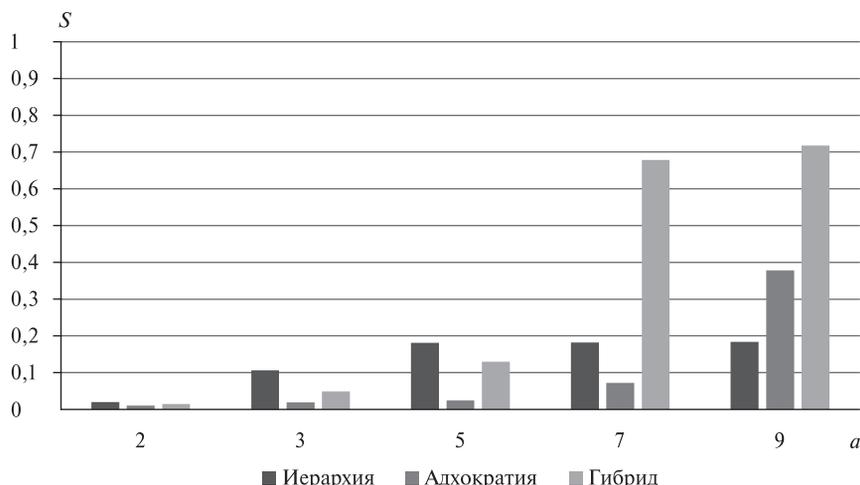


Рис. 2. Зависимость организационной эффективности S от индивидуальных способностей сотрудника a в условиях высокой неопределенности внешней среды

Увеличение неопределенности во внешних условиях приводит к ожидаемому падению конкурентоспособности для всех рассмотренных организационных структур (рис. 2). При этом наибольшее ухудшение конкурентоспособности наблюдается для иерархических структур, максимально достижимое значение конкурентоспособности снижается в 5 раз по отношению к случаю малой неопределенности. Меньшее, но существенное — в 3–4 раза — снижение максимально достижимого уровня конкурентоспособности наблюдается в случае адхократии. Гибридная структура организации демонстрирует наилучшую устойчивость при наличии неопределенности во внешних условиях. Максимально достижимый уровень конкурентоспособности уменьшается лишь на 15% относительно уровня конкурентоспособности в условиях малой неопределенности.

Наличие неопределенности во внешних условиях приводит к существенному сдвигу порога в зависимости конкурентоспособности организации в целом от индивидуальной эффективности отдельных агентов. В случае адхократии выход на относительно высокие уровни конкурентоспособности происходит при наличии неопределенности только при относительно высоких уровнях индивидуальной эффективности, в наших расчетах этот эффект проявился почти при максимальных значениях эффективности отдельных агентов. Для иерархической структуры наличие порога в росте эффективности организации при росте индивидуальной эффективности отдельного сотрудника в условиях неопределенности присутствует, но порог достигается уже при относительно небольшом росте индивидуальной эффективности. В случае гибридной структуры организации при средних уровнях индивидуальной эффективности в условиях неопределенности порог выражен наиболее резко — конкурентоспособность падает более чем в 6 раз.

Особенности поведения организации в условиях изменяющейся внешней среды в значительной мере определяются ее статической характеристикой — организационной структурой. На поведение отдельного агента, входящего в состав организации, существенное воздействие оказывает та информация об изменениях внешней среды, которую он получает при взаимодействии с непосредственно связанными с ним агентами. Количество агентов, с которыми связан каждый отдельный сотрудник, и определяется организационной структурой. В рамках теории нейросетей другие агенты, видимые данному, могут трактоваться как внешние синапсы, дающие информацию об изменениях внешней среды. Их число варьируется от 1 в случае жесткой иерархической структуры до количества агентов, входящих в организацию в целом, в полной адхократии. Соответственно изменению числа связей меняется и влияние отдельного сигнала для наблюдающего его сотрудника — от максимального в иерархии до минимального в адхократии. Организационная структура статична и поэтому именно она определяет пределы эффективности организации в целом. Значение конкурентоспособности в этих пределах определяется индивидуальной адаптационной способностью отдельного агента. С ростом адаптационной способности отдельного сотрудника растет влияние отдельного сигнала об изменении внешней ситуации на поведение сотрудника. Изменения внешней среды добавляют к данным

характеристикам еще один механизм влияния на поведение отдельного сотрудника — сигналу об изменении требуется время, чтобы дойти до сотрудника. Это время связано с организационной структурой, но на него также влияет и адаптационная способность отдельного сотрудника организации. Таким образом, можно выделить три взаимосвязанных параметра, определяющих поведение отдельного агента в условиях изменчивой внешней среды: степень иерархичности системы управления в целом по отношению к отдельному агенту, способность агента изменить свое поведение на основании имеющейся информации и скорость поступления информации об изменении внешней среды к отдельному сотруднику. Рассмотрим, исходя из описанных механизмов, результаты моделирования поведения организации и, исходя из полученных результатов, дадим практические рекомендации по развитию организационных структур.

Максимальная конкурентоспособность (в отсутствие неопределенности) в иерархической структуре, особенно при высоких уровнях индивидуальной эффективности, объясняется высоким влиянием уже адаптировавшихся агентов на поведение агентов, связанных с ними. Достаточно переключения одного агента, чтобы все, связанные с ним, также переключились. Внесение дополнительных связей между агентами, как было отмечено выше, уменьшает влияние переключения отдельного агента на поведение остальных, это и приводит к уменьшению предельной конкурентоспособности организации при отходе от иерархической структуры в условиях слабой неопределенности внешней среды — сигнал о переключении тонет в общем потоке информации, которую получает отдельный агент.

Пороговый эффект, наблюдаемый в организационных структурах любого типа при росте индивидуальной эффективности, связан с тем, что в способности к адаптации любой реально существующей системы всегда присутствует эффект насыщения. Как следствие, зависимость вероятности переключения агента в новое состояние от силы наблюдаемого им сигнала к переключению носит нелинейный характер. Пороговому состоянию соответствует эффективный наблюдаемый данным агентом сигнал к переключению, находящийся на границе области насыщения его индивидуальных адаптационных способностей — дальнейший рост сигнала к переключению или достижение области насыщения уже не приводит к существенному изменению поведения системы. Этот результат позволяет сделать практический вывод о необходимости повышения эффективности индивидуальных агентов до достижения указанного порогового эффекта, дальнейший рост индивидуальной эффективности существенного прироста конкурентоспособности не даст. При этом обучение сотрудников в организациях, характеризующихся низким уровнем индивидуальной эффективности, необходимо проводить до достижения порогового эффекта. Особенно сильный результат повышение индивидуальной эффективности может дать для организаций, находящихся на границе порогового эффекта. Отметим, что в адхократических организациях пороговый эффект наблюдается при существенно более высоких показателях индивидуальной эффективности — причиной является уже отмеченный эффект растворения сигналов к переключению в общем массиве информации, получаемом отдельными агентами. Добавление элементов иерархии снижает объем информации, получаемый отдельным агентом, и позволяет достичь области высоких значений конкурентоспособности при меньших значениях индивидуальной эффективности. Максимально этот эффект выражен в чисто иерархических структурах, где небольшое повышение индивидуальной эффективности приводит к существенному росту конкурентоспособности организации в целом.

При увеличении неопределенности внешней среды, когда сигналы к изменению поступают через заранее неизвестные промежутки времени, происходит падение эффективности организации в целом, так как поток сигналов от внешней среды в среднем увеличивается и для любой организационной структуры наблюдается эффект, характерный для адхократии — слишком большое число сигналов, доходящих до отдельного агента

В условиях неопределенности своеобразной компенсацией уменьшения сигналов о переключении со стороны внешней среды является наличие агентов, находящихся в новом состоянии, несмотря на то что состояние внешней среды изменилось и их текущее состояние не соответствует текущему состоянию внешней среды. Наличие подобных агентов облегчает переключение сотрудников, связанных с ними, при поступлении нового сигнала о переключении. Значение подобных сотрудников особенно велико при низкой индивидуальной эффективности. За счет этого в случае сильной неопределенности адхократия опережает по эффективности другие организационные структуры при низкой индивидуальной эффективности. При этом обеспечивается, конечно же, невысокий уровень конкурентоспособности в целом. Из этого результата можно сделать практический вывод о том, что при высокой неопределенности внешней среды обеспечение максимального обмена информацией

между сотрудниками (в случае их невысокой индивидуальной эффективности и невозможности ее повышения) является наилучшей стратегией достижения максимальной эффективности организации в целом. Однако результаты моделирования для гибридной структуры подсказывают другую, возможно, более эффективную стратегию. Даже незначительный рост индивидуальной эффективности, достигаемый, например, за счет обучения, повышения эффективности работы за счет формализации бизнес-процессов, повышения специализации, в гибридных структурах приводит к резкому росту эффективности организации в целом. Гибридные структуры испытывают минимальную деградацию эффективности в условиях внешней неопределенности среди всех исследованных структур при среднем и высоком уровне индивидуальной эффективности. Это достигается за счет быстрой передачи информации об изменениях внешней среды иерархической частью организации и благодаря наличию памяти о предыдущих состояниях в проектной части организации.

Практические рекомендации по повышению организационной эффективности в условиях неопределенности внешней среды можно свести к следующему. На первом этапе необходимо определение уровня неопределенности внешней среды и уровня готовности сотрудников к выполнению своих задач. При низком уровне неопределенности и слабой подготовке сотрудников наилучшим организационным решением является введение иерархической системы. Высокий уровень неопределенности внешней среды однозначно требует введения элементов гибридной структуры — разделения организации на иерархически и проектно-ориентированные организационные единицы. При любом уровне готовности сотрудников необходимо их обучение с обязательным контролем результатов. Наличие прогресса в эффективности организации в целом в результате обучения показывает, что пороговый эффект от обучения еще не достигнут и существуют резервы повышения эффективности за счет увеличения индивидуальной эффективности; процесс обучения, специализации, формализации бизнес-процессов может быть продолжен. При наличии в организации существенной иерархической составляющей анализ повышения эффективности организации в целом в результате обучения сотрудников лучше проводить по результатам обучения ее проектной (адхократической) части, так как именно для этой части организации эффективность развития отдельных сотрудников будет выше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Организационная структура в условиях неопределенности внешней среды оказывает существенное воздействие на способность организации к адаптации, на ее конкурентоспособность. Можно выделить два основных механизма этого воздействия: через влияние организационной структуры на длину цепи передачи информации от внешней среды к отдельному сотруднику и через влияние организационной структуры на количество источников информации о внешней среде. Иерархическая структура сокращает два указанных параметра, адхократическая структура — увеличивает. Иерархическая структура лучше работает в условиях низкой вариативности условий внешней среды, но испытывает серьезные проблемы при увеличении степени неопределенности. Адхократическая структура хуже иерархической справляется с ситуацией низкой неопределенности во внешних условиях, но сохраняет свою эффективность при увеличении неопределенности. Оптимальной в смысле сохранения эффективности при росте неопределенности является гибридная структура, сочетающая иерархию на верхних уровнях управления и элементы адхократии на нижнем уровне организации.

Изменение индивидуальной эффективности отдельного сотрудника оказывает существенное влияние на конкурентоспособность организации в целом. В динамике этого влияния был обнаружен пороговый эффект, который позволяет выстроить эффективную стратегию обучения сотрудников и повышения конкурентоспособности организации. Наиболее выраженным этот пороговый эффект является в организациях, где существенным является способность отдельного сотрудника к анализу разнородной доступной ему информации, т.е. в организациях, имеющих элементы адхократии. Наименьший пороговый эффект и наименьшая зависимость от индивидуальной эффективности была обнаружена в иерархических структурах.

В связи с этим можно предложить несколько путей повышения организационной эффективности при росте неопределенности внешней среды. Во-первых, необходим переход к менее иерархическим структурам. Во-вторых, при низкой эффективности отдельных сотрудников необходимо их обучение до достижения порогового эффекта — резкого роста эффективности. В-третьих, необходимо ограничение адхократической части организации и контроль за количеством взаимодействий, в которые вовлечен сотрудник.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.** (2020). Агентное моделирование популяционной динамики двух взаимодействующих сообществ: мигрантов и коренных жителей // *Экономика и математические методы*. Т. 56 № 2. С. 5–19. [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Akopov A.S., Beklaryan G.L., Rovenskaya E.A., Strelkovskiy N.V. (2020). Agent-based modelling of population dynamics of two interacting social communities: Migrants and natives. *Economics and Mathematical Methods*, 56 (2), 5–19 (in Russian).]
- Москвитин Г.И.** (2012). О центрах ответственности в системе контроллинга промышленного предприятия // *Транспортное дело России*. № 6 (2). С. 120–122. [Moskvitin G.I. (2012). On responsibility centers in the controlling system of an industrial enterprise. *Transport Business in Russia*, 6 (2), 120–122 (in Russian).]
- Письменная А.Б.** (2015). Влияние неформализованных внутриорганизационных взаимодействий на эффективность работы различных компаний // *Аграрный научный журнал*. № 8. С. 87–90. [Pismennaya A.B. (2015). The impact of informal intra-organizational interactions on the performance of various companies. *Agrarian Scientific Journal*, 8, 87–90 (in Russian).]
- Письменная А.Б., Власюк Г.В.** (2016). Взаимосвязь конкурентоспособности, организационной структуры и человеческих ресурсов // *Мир транспорта*. № 5. С. 238–248. [Pismennaya A.B., Vlasuk G.V. (2016). The relationship of competitiveness, organizational structure and human resources. *World of Transport*, 5, 238–248 (in Russian).]
- Adler F.P.** (1960). Relationships between organization size and efficiency. *Management Science*, 7 (1), 80–84.
- Alvesson M.** (1989). Concepts of organizational culture and presumed links to efficiency. *Omega*, 17 (4), 323–333.
- Ambarwati A., Sonhadji, Degeng N., Wiyono B.** (2016). Relationship individual characteristics, group characteristics, organizations structure, organizational culture and organizational climate with organizational effectiveness colleges in Malang. *Journal of Social Sciences (COES&RJ-JSS)*, 5 (4), 506–522.
- Bošković A., Krstić A.** (2018). Combined use of BSC and DEA methods for measuring organizational efficiency. In: *Proceedings of the ENTRENOVA – ENTerprise REsearch InNOVAtion Conference*, Split, Croatia, 6–8 September, 82–88.
- Bykadorov S.A., Kibalov E.B., Kin A.A.** (2017). On the development of structural reform for Russian rail transport. *Regional Research of Russia*, Springer, 7 (1), 45–52.
- Davis J.P.** (2013). *Organization architecture and dynamic capabilities: Network microfoundations of competitive advantages in dynamic markets*. Available at: <http://ssrn.com/abstract=2272774>
- Holthausen D., Toulouhas T.** (2008). The good, the bad and the ugly: Agent behavior and efficiency in open and closed organizations. *Economic Theory*, 35 (1), 73–97.
- Joseph J., Klingebiel R., Wilson A.J.** (2016). Organizational structure and performance feedback: Centralization, aspirations, and termination decisions. *Organization Science, INFORMS*, 27 (5), 1065–1083.
- Král P., Králová V.** (2016). Approaches to changing organizational structure: The effect of drivers and communication. *Journal of Business Research*, 69 (11), 5169–5174.
- Kuczevska J., Morawska S.** (2016). Court excellence model as a tool of improving the organizational efficiency of courts. *Working Papers of Economics of European Integration Division 1605*. The University of Gdansk, Faculty of Economics, Economics of European Integration Division.
- Lazar C.** (2011). The principle of efficiency and public administration reform. *APAS Papers 413*. Academic Public Administration Studies Archive.
- Luban F.** (2009). Measuring efficiency of a hierarchical organization with fuzzy DEA method. *Economia. Seria Management, Faculty of Management, Academy of Economic Studies*, 12 (1), 87–97.
- Peixin L., Weikai L., Baolian W., Zilong Z.** (2018). Acquiring organizational capital. *Finance Research Letters*, 25 (C), 30–35.
- Piot-Lepetit I., Perrigot R., Cliquet G.** (2014). Organizational form and efficiency of franchise chains. *Post-Print halshs-01023719, HAL*. Available at: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01023719>
- Pokharel M., Choi S.** (2015). Exploring the relationships between the learning organization and organizational performance. *Management Research Review*, 38 (2), 126–148.
- Quinn R., Rohrbaugh J.** (1981). A competing values approach to organizational effectiveness. *Public Productivity Review*, 5, 2, 122–140.
- Rezaee Z., Azar A., Ba Erz A., Nayeri M.** (2019). Application of viable system model in diagnosis of organizational structure. *Systemic Practice and Action Research*, 32 (3), 273–295.

Organizational efficiency in conditions of external uncertainty: A quantitative analysis

© 2021 A.B. Pismennaya, V.G. Anfinogentov

A.B. Pismennaya,

Russian University of Transport, Moscow, Russia; e-mail: anna_pismiennaya@mail.ru

V.G. Anfinogentov,

iFors, Moscow, Russia; e-mail: vanfin@fors.ru

Received 07.12.2020

Abstract. The concept of organizational effectiveness is one of the basic in the theory of organization, management theory, corporate management. Currently, the analysis of organizational effectiveness is mainly focused on the consideration of the financial results of the organization, while the analysis of the quantitative characteristics of the internal activities of the organization allows you to get more relevant information and makes it possible to analyze the reserves of increasing organizational effectiveness. The aim of this work is to compare the quantitative characteristics of the performance of various organizational structures in the face of external uncertainty and to identify opportunities to increase organizational effectiveness in these conditions. The paper uses methods of analyzing the behavior of an organization in conditions of external uncertainty based on multiagent models. The paper shows the influence of the organizational structure on the organization's behavior with an increase in the level of external uncertainty, considers the threshold effect of increasing the individual effectiveness of employees on the effectiveness of the organization as a whole; it suggests strategies for training and reorganization to minimize the negative impact of uncertainty on organizational effectiveness.

Keywords: organizational effectiveness; informal interactions; organization structure; organization development.

JEL Classification: C63, D20, D22, D23.

DOI: 10.31857/S042473880014084-1

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

**Исследование динамики потока в модели организации грузоперевозок
по круговой цепочке станций**

© 2021 г. Н.К. Хачатрян, Л.А. Бекларян

Н.К. Хачатрян,

ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: nerses@cemi.rssi.ru; nerses-khachatryan@yandex.ru

Л.А. Бекларян,

ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: beklar@cemi.rssi.ru

Поступила в редакцию 23.06.2020

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проектов 19-01-00147 и 19-010-00958.

Аннотация. Статья посвящена построению и исследованию модели организации железнодорожных грузоперевозок по круговой цепочке станций. Каждая станция характеризуется определенным числом путей, каждый из которых в произвольный момент времени может быть задействован, а также эффективностью их использования. Движение грузопотока осуществляется с помощью двух технологий. Первая технология основана на взаимодействии соседних станций и задает интенсивность потока между ними в зависимости от соотношения свободных путей и нормативного коэффициента, характеризующего пропускную способность перегонов (участков железнодорожной линии между станциями) и технические характеристики железнодорожного подвижного состава, осуществляющего перевозки. Вторая технология стремится в полной мере использовать пропускную способность станций, которая выражается количеством перевозимого груза за единицу времени в зависимости от загруженности станций и эффективности загрузки путей. Такая модель описывается системой дифференциальных уравнений с разрывными правыми частями. Аналитическое решение такой системы крайне затруднительно, поэтому она была исследована численно. Приведены результаты численного исследования указанной системы, основной целью которых является определение динамики грузопотока, а также изучение ее зависимости от параметров модели, характеризующих пропускную способность станций и перегонов, а также от загруженности станций в начальный момент времени.

Ключевые слова: организация железнодорожных грузоперевозок, интенсивность грузопотока, дифференциальные уравнения, численное решение, стационарный поток.

Классификация JEL: C63.

DOI: 10.31857/S042473880013024-5

ВВЕДЕНИЕ

Транспорт играет важную роль в экономике страны. Он обеспечивает развитие, связь, координацию работы всех отраслей экономики страны в целом и регионов в частности. Развитие транспорта является важнейшим условием модернизации экономики. Оно невозможно без оптимального планирования сетей, улучшения организации движения и ряда других задач, решение которых невозможно без математического моделирования транспортных потоков. Здесь можно выделить два крупных направления: моделирование загрузки транспортных сетей городов и моделирование динамики транспортного потока (Швецов, 2003). Первое направление представлено моделями расчета корреспонденций, такими как гравитационная модель (Carrothers, 1956; Wilson, 1971), энтропийная модель (Harris, Wilson, 1978; Popkov, 1995), модели семейства конкурирующих центров (Fotheringham, 1983, 1986), а также моделями распределения потоков по сети, включая различные варианты равновесного распределения и алгоритм оптимальных стратегий (Shvetsov, 2009; Leventhal, Nemhauser, Trotter, 1973; Lo, Chen, 2000; Bar-Gera, 2002; Spiess, Florian, 1989). Второе направление — основными классами динамических моделей: макроскопическими (гидродинамическими), кинетическими (газодинамическими) и микроскопическими. Макроскопические модели (Daganzo, 1994, 1995; Гасников и др., 2013; Сухинова и др., 2009; Иносэ, Хамада, 1983) описывают движение транспортных средств в усредненных терминах, таких как плотность, средняя скорость,

поток и др. При таком подходе транспортный поток уподобляется движению специфической жидкости, поэтому модели этого класса также называют гидродинамическими. Микроскопически называются модели, в которых явно моделируется движение каждого автомобиля. Такой подход позволяет теоретически достичь более точного описания движения транспортных средств по сравнению с усредненным макроописанием, однако этот подход требует больших вычислительных ресурсов при практических применениях. Примерами таких моделей являются модели следования за лидером (Brackstone, McDonald, 2000), модели оптимальной скорости (Bando et al., 1995), модель Трайбера (Treiber, Hennecke, Helbing, 2000), а также модели клеточных автоматов (Cremer, Ludwig, 1986; Chowdhury, Santen, Schadschneider, 2000). Промежуточное место занимает кинетический подход, при котором поток задается плотностью распределения транспортных средств в фазовом пространстве, т.е. пространстве координат и скоростей автомобилей (Helbing, Treiber, 1998; Nelson, 1995). Динамика фазовой плотности характеризуется кинетическим уравнением. Это уравнение основано на усреднении эффектов взаимодействий индивидуальных транспортных средств, и в этом смысле оно ближе к микроуровню, чем к гидродинамическим уравнениям. Отметим, что модели, в которых движение транспортного средства уподобляется какому-либо физическому потоку (гидро- и газодинамические модели), как правило, применяются при исследовании движения автомобильного транспорта.

В данной статье представлена макроскопическая динамическая модель движения железнодорожного транспорта по сети, представляющей собой круговую цепочку станций (Beklaryan, Khachatryan, 2006; Khachatryan, Akorov, 2017; Khachatryan, Akorov, Belousov, 2018; Beklaryan, Khachatryan, Akorov, 2019; Бекларян, Хачатрян, 2013; Бекларян, Хачатрян, 2019). Транспортный поток в железнодорожной сети формируется в результате применения технологий, осуществляющих взаимодействие соседних станций с учетом их пропускной способности, а также пропускной способности перегонов. Такая модель позволяет прогнозировать загруженность станций и динамику потока, возникающего в железнодорожной сети. В отличие от аналогичных моделей, исследованных в работах, указанных выше, станции имеют различные характеристики (число путей и эффективность их использования).

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим движение грузопотока по круговой цепочке, состоящей из n станций. Обозначим через Δ_i , $i=1, \dots, n$ число путей на станции i . Каждая станция в произвольный момент времени характеризуется числом задействованных путей. Пусть $z_i(t)$, $i=1, \dots, n$ — число путей, задействованных на станции i в момент времени t . Тогда $\Delta_i - z_i(t)$, $i=1, \dots, n$ — число свободных путей на станции i в момент времени t . Очевидно, что функции $z_i(t)$ должны удовлетворять ограничениям:

$$0 \leq z_i(t) \leq \Delta_i, \quad i=1, \dots, n. \quad (1)$$

Движение грузопотока осуществляется с помощью двух технологий. Первая технология основана на процедуре взаимодействия соседних станций. Согласно ей произвольная станция:

1) принимает груз с предыдущей станции, если число свободных путей на ней больше, чем на предыдущей станции, и предыдущая станция не пуста. При этом интенсивность отправки пропорциональна как разности чисел свободных путей на этих станциях, так и числу свободных путей на данной станции;

2) отправляет груз на следующую станцию, если число свободных путей на ней меньше, чем на следующей станции, и она не пуста. При этом интенсивность отправки пропорциональна как разности числу свободных путей на этих станциях, так и числу свободных путей на следующей станции.

Таким образом, каждая станция с номером i ($2 \leq i \leq n-1$) в рамках первой технологии должна принять груз с предыдущей станции с интенсивностью $\alpha[(\Delta_i - z_i) - (\Delta_{i-1} - z_{i-1})](\Delta_i - z_i)\text{sign}(\Delta_i - z_i)\text{sign}(z_{i-1})$, если $\Delta_i - z_i > \Delta_{i-1} - z_{i-1}$, и отправить груз на следующую станцию с интенсивностью $\alpha[(\Delta_{i+1} - z_{i+1}) - (\Delta_i - z_i)](\Delta_{i+1} - z_{i+1})\text{sign}(\Delta_{i+1} - z_{i+1})\text{sign}(z_i)$, если $\Delta_{i+1} - z_{i+1} > \Delta_i - z_i$.

Для станции 1 предыдущей является станция n , соответственно, для станции n последующей является станция 1. Поэтому станция 1 в рамках первой технологии должна принять груз с предыдущей станции с интенсивностью $\alpha[(\Delta_1 - z_1) - (\Delta_n - z_n)](\Delta_1 - z_1)\text{sign}(\Delta_1 - z_1)\text{sign}(z_n)$, если $\Delta_1 - z_1 > \Delta_n - z_n$, и отправить груз на следующую станцию с интенсивностью $\alpha[(\Delta_2 - z_2) - (\Delta_1 - z_1)](\Delta_2 - z_2)\text{sign}(\Delta_2 - z_2)\text{sign}(z_1)$, если $\Delta_2 - z_2 > \Delta_1 - z_1$.

Аналогично, станция n должна принять груз с предыдущей станции с интенсивностью $\alpha[(\Delta_n - z_n) - (\Delta_{n-1} - z_{n-1})](\Delta_n - z_n)\text{sign}(\Delta_n - z_n)\text{sign}(z_{n-1})$, если $\Delta_n - z_n > \Delta_{n-1} - z_{n-1}$ и отправить груз на следующую станцию с интенсивностью $\alpha[(\Delta_1 - z_1) - (\Delta_n - z_n)](\Delta_1 - z_1)\text{sign}(\Delta_1 - z_1)\text{sign}(z_n)$, если $\Delta_1 - z_1 > \Delta_n - z_n$.

Функция $\text{sign}(\cdot)$ определяется формулой

$$\text{sign}(t) = \begin{cases} 1, & t > 0, \\ 0, & t \leq 0. \end{cases}$$

Параметр α характеризует потенциал первой технологии и ограничивается пропускной способностью перегонов (участков железнодорожной линии между станциями) и техническими характеристиками железнодорожного подвижного состава, осуществляющего перевозки.

Каждая станция обладает определенной пропускной способностью. В данной модели она выражается количеством перевозимого груза за единицу времени в зависимости от загруженности станций, причем в общем случае эта зависимость у каждой станции своя из-за разницы в числе путей и эффективности их загрузки. Предполагается, что станции стремятся использовать пропускную способность в полной мере. Данная задача решается в рамках второй технологии, согласно которой произвольная станция дополнительно принимает и отправляет грузопоток с интенсивностью, определяемой пропускной способностью на ней и на следующей станции соответственно. Она описывается с помощью непрерывных убывающих функций $\varphi_i(\cdot)$, $i = 1, \dots, n$, определенных на отрезке $[0, \Delta_i]$, причем $\varphi_i(\Delta_i) = 0$, $i = 1, \dots, n$.

Таким образом, интенсивность движения грузопотока на станциях задается с помощью системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{z}_1(t) = & \alpha(\Delta_1 - z_1 - \Delta_n + z_n)\text{sign}(\Delta_1 - z_1 - \Delta_n + z_n)(\Delta_1 - z_1)\text{sign}(\Delta_1 - z_1)\text{sign}(z_n) - \\ & - \alpha(\Delta_2 - z_2 - \Delta_1 + z_1)\text{sign}(\Delta_2 - z_2 - \Delta_1 + z_1)(\Delta_2 - z_2)\text{sign}(\Delta_2 - z_2)\text{sign}(z_1) + \\ & + \varphi_1(z_1)\text{sign}(z_n) - \varphi_2(z_2)\text{sign}(z_1), \quad t \in [0, +\infty); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \dot{z}_i(t) = & \alpha(\Delta_i - z_i - \Delta_{i-1} + z_{i-1})\text{sign}(\Delta_i - z_i - \Delta_{i-1} + z_{i-1})(\Delta_i - z_i)\text{sign}(\Delta_i - z_i)\text{sign}(z_{i-1}) - \\ & - \alpha(\Delta_{i+1} - z_{i+1} - \Delta_i + z_i)\text{sign}(\Delta_{i+1} - z_{i+1} - \Delta_i + z_i)(\Delta_{i+1} - z_{i+1})\text{sign}(\Delta_{i+1} - z_{i+1})\text{sign}(z_i) + \\ & + \varphi_i(z_i)\text{sign}(z_{i-1}) - \varphi_{i+1}(z_{i+1})\text{sign}(z_i), \quad i = 2, \dots, n-1, \quad t \in [0, +\infty); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \dot{z}_n(t) = & \alpha(\Delta_n - z_n - \Delta_{n-1} + z_{n-1})\text{sign}(\Delta_n - z_n - \Delta_{n-1} + z_{n-1})(\Delta_n - z_n)\text{sign}(\Delta_n - z_n)\text{sign}(z_{n-1}) - \\ & - \alpha(\Delta_1 - z_1 - \Delta_n + z_n)\text{sign}(\Delta_1 - z_1 - \Delta_n + z_n)(\Delta_1 - z_1)\text{sign}(\Delta_1 - z_1)\text{sign}(z_n) + \\ & + \varphi_n(z_n)\text{sign}(z_{n-1}) - \varphi_1(z_1)\text{sign}(z_n), \quad t \in [0, +\infty). \end{aligned} \quad (4)$$

Отметим, что конструкция правых частей системы (2)–(4) гарантирует, что всякое ее решение, удовлетворяющее условию (1) в начальный момент времени, будет удовлетворять ему и в последующие моменты времени.

Перепишем систему (2)–(4) в виде:

$$\begin{aligned} \dot{z}_1(t) = & \alpha(z_n - z_1 + \Delta_1 - \Delta_n)\text{sign}(z_n - z_1 + \Delta_1 - \Delta_n)(\Delta_1 - z_1)\text{sign}(\Delta_1 - z_1)\text{sign}(z_n) - \\ & - \alpha(z_1 - z_2 + \Delta_2 - \Delta_1)\text{sign}(z_1 - z_2 + \Delta_2 - \Delta_1)(\Delta_2 - z_2)\text{sign}(\Delta_2 - z_2)\text{sign}(z_1) + \\ & + \varphi_1(z_1)\text{sign}(z_n) - \varphi_2(z_2)\text{sign}(z_1), \quad t \in [0, +\infty); \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \dot{z}_i(t) = & \alpha(z_{i-1} - z_i + \Delta_i - \Delta_{i-1})\text{sign}(z_{i-1} - z_i + \Delta_i - \Delta_{i-1})(\Delta_i - z_i)\text{sign}(\Delta_i - z_i)\text{sign}(z_{i-1}) - \\ & - \alpha(z_i - z_{i+1} + \Delta_{i+1} - \Delta_i)\text{sign}(z_i - z_{i+1} + \Delta_{i+1} - \Delta_i)(\Delta_{i+1} - z_{i+1})\text{sign}(\Delta_{i+1} - z_{i+1})\text{sign}(z_i) + \\ & + \varphi_i(z_i)\text{sign}(z_{i-1}) - \varphi_{i+1}(z_{i+1})\text{sign}(z_i), \quad i = 2, \dots, n-1, \quad t \in [0, +\infty); \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \dot{z}_n(t) = & \alpha(z_{n-1} - z_n + \Delta_n - \Delta_{n-1})\text{sign}(z_{n-1} - z_n + \Delta_n - \Delta_{n-1})(\Delta_n - z_n)\text{sign}(\Delta_n - z_n)\text{sign}(z_{n-1}) - \\ & - \alpha(z_n - z_1 + \Delta_1 - \Delta_n)\text{sign}(z_n - z_1 + \Delta_1 - \Delta_n)(\Delta_1 - z_1)\text{sign}(\Delta_1 - z_1)\text{sign}(z_n) + \\ & + \varphi_n(z_n)\text{sign}(z_{n-1}) - \varphi_1(z_1)\text{sign}(z_n), \quad t \in [0, +\infty). \end{aligned} \quad (7)$$

Помимо системы (5)–(7) рассмотрим ее частный случай соответствующий идентичности всех станций, т.е. в предположении, что все станции содержат одинаковое число путей и с одинаковой

эффективностью их могут использовать. В этом случае $\Delta_i = \Delta_j = \Delta$, $\varphi_i(\cdot) = \varphi_j(\cdot) = \varphi(\cdot)$ для всех $i, j = 1, \dots, n$ и система уравнений (5)–(7) приобретает вид:

$$\dot{z}_1(t) = \alpha(z_n - z_1) \text{sign}(z_n - z_1)(\Delta - z_1) \text{sign}(\Delta - z_1) \text{sign}(z_n) - \alpha(z_1 - z_2) \text{sign}(z_1 - z_2)(\Delta - z_2) \times \text{sign}(\Delta - z_2) \text{sign}(z_1) + \varphi(z_1) \text{sign}(z_n) - \varphi(z_2) \text{sign}(z_1), \quad t \in [0, +\infty); \tag{8}$$

$$\dot{z}_i(t) = \alpha(z_{i-1} - z_i) \text{sign}(z_{i-1} - z_i)(\Delta - z_i) \text{sign}(\Delta - z_i) \text{sign}(z_{i-1}) - \alpha(z_i - z_{i+1}) \text{sign}(z_i - z_{i+1}) \times \text{sign}(\Delta - z_{i+1}) \text{sign}(\Delta - z_{i+1}) \text{sign}(z_i) + \varphi(z_i) \text{sign}(z_{i-1}) - \varphi(z_{i+1}) \text{sign}(z_i), \quad i = 2, \dots, n-1, \quad t \in [0, +\infty); \tag{9}$$

$$\dot{z}_n(t) = \alpha(z_{n-1} - z_n) \text{sign}(z_{n-1} - z_n)(\Delta - z_n) \text{sign}(\Delta - z_n) \text{sign}(z_{n-1}) - \alpha(z_n - z_1) \text{sign}(z_n - z_1) \times \text{sign}(\Delta - z_1) \text{sign}(\Delta - z_1) \text{sign}(z_n) + \varphi(z_n) \text{sign}(z_{n-1}) - \varphi(z_1) \text{sign}(z_n), \quad t \in [0, +\infty). \tag{10}$$

Система уравнений (8)–(10) имеет бесконечное множество стационарных решений вида

$$z_i = c, \quad 0 \leq c \leq \Delta, \quad i = 1, \dots, n. \tag{11}$$

Аналитическое исследование других решений системы (8)–(10), а также решений системы (5)–(7), крайне затруднительно, так как правые части дифференциальных уравнений в общем случае являются разрывными функциями. В связи с этим системы (8)–(10) и (5)–(7) были исследованы численно.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Перейдем к изложению результатов численных экспериментов, в которых функции $\varphi_i(\cdot)$ были определены:

$$\varphi_i(z_i) = a_i(\Delta_i^2 - z_i^2), \quad i = 1, \dots, n. \tag{12}$$

Напомним, что функции $\varphi_i(\cdot)$ должны быть убывающими и удовлетворяющими условию $\varphi_i(\Delta_i) = 0$. Параметр a_i , участвующий в определении этих функций, описывает эффективность загрузки путей на станции i . Определяя такой класс функций $\varphi_i(\cdot)$, мы предполагаем, что пропускная способность станций зависит как от числа путей, так и от эффективности их использования. Причем с ростом эффективности путей пропускная способность растет линейно, а с увеличением числа путей — больше чем линейно. Основная задача численных экспериментов заключалась в исследовании динамики решений системы (5)–(7) (в частности (8)–(10)), определяющей динамику интенсивности грузопотока, а также ее зависимость от начальных значений и параметров модели $\alpha, a_i, \Delta_i, i = 1, \dots, n$.

2.1. Численное решение системы (8)–(10)

Для системы (8)–(10) имеем $\varphi_i(z_i) = \varphi(z_i) = a(\Delta^2 - z_i^2)$, $i = 1, \dots, n$, т.е. параметрами являются α, a, Δ . Система (8)–(10) имеет стационарные решения вида (11). Как показывают численные эксперименты при любых значениях параметров α, a, Δ , система (8)–(10) имеет непрерывное решение, причем любое ее решение со временем выходит на стационарный режим, т.е. существует $\bar{t} > 0$ такое, что всякое решение $\{z_i(\cdot)\}_1^n$ системы (8)–(10) удовлетворяет условию $z_i = \bar{c}, t \in [\bar{t}, +\infty)$. Более того, значение \bar{c} зависит только от начальных условий и определяется формулой $\bar{c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i(0)$.



Рис. 1. График решения системы (8)–(10)

Момент времени \bar{t} характеризуется начальными условиями и параметрами модели. На рис. 1 приведен график решений системы (8)–(10) при $\alpha = 2, a = 0,1, \Delta = 10$ и начальных условиях: $z_1(0) = 3, z_2(0) = 2, z_3(0) = 5, z_4(0) = 3, z_5(0) = 4, z_6(0) = 4, z_7(0) = 3, z_8(0) = 2, z_9(0) = 1, z_{10}(0) = 4$.

Из правых частей уравнений (8)–(10) следует, что, начиная с момента времени \bar{t} , первые два слагаемых в них равны нулю, ненулевыми являются только слагаемые, определяемые функцией $\varphi_i(\cdot)$. Это означает, что со временем движение грузопотока осуществляется только в рамках второй технологии, каждая станция

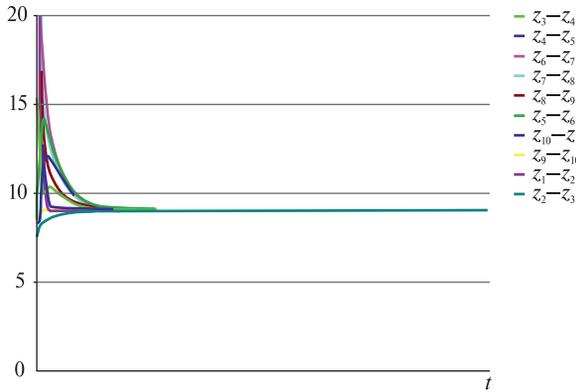


Рис. 2. Интенсивность потока в случае идентичных станций

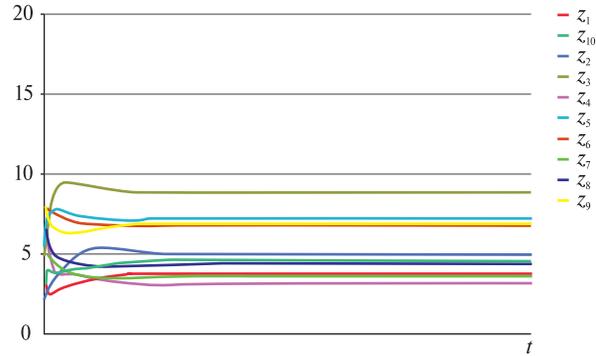


Рис. 3. Графики решений системы (5)–(7) первого типа

принимает груз с предыдущей станции и отправляет на следующую станцию с постоянной интенсивностью $\phi(\bar{c})$, т.е. в системе грузоперевозок устанавливается стационарный поток. На рис. 2 приведены графики интенсивностей потоков, возникающих между станциями.

Как следует из определения функции $\phi(\cdot)$, величина этого потока прямо пропорциональна параметрам a, Δ и обратно пропорциональна значению \bar{c} . Таким образом, в случае идентичности станций в системе грузоперевозок начиная с некоторого момента времени устанавливается стационарный поток, величина которого увеличивается по мере роста пропускной способности станций и уменьшается с увеличением загрузки станций в начальный момент времени (\bar{c}). Величина этого потока не зависит от характеристики первой технологии, т.е. параметра α . От него зависит время выхода на стационарный поток (\bar{t}). Чем меньше значение параметра α , тем позже наступит это время. Наконец отметим, что все выводы, полученные в этом параграфе относительно динамики решений системы (8)–(10) и интенсивности потока, остаются справедливыми и при $\alpha = 0$, т.е. в системе грузоперевозок устанавливается такой же стационарный поток, как и при $\alpha > 0$, но в более отдаленном будущем.

2.2. Численное решение системы (5)–(7)

Перейдем к исследованию общей системы (5)–(7). В результате численных экспериментов было установлено, что система (5)–(7) имеет два типа решений. Первый тип характеризуется непрерывными правыми частями и обладает следующим свойством:

$$\exists \bar{t} > 0: z_i = \bar{c}_i, 0 < \bar{c}_i < \Delta_i, i = 1, \dots, n, t \in [\bar{t}, +\infty). \tag{13}$$

Кроме того, выполняется условие $(\sum_{i=1}^n \bar{c}_i) / n = \bar{c}$, где $\bar{c} = (\sum_{i=1}^n z_i(0)) / n$.

Второй тип решения системы (5)–(7) характеризуется разрывными правыми частями. Как показывают численные эксперименты, такие решения являются следствием колебаний одной или нескольких компонент решения в правой окрестности нуля, периодически принимающих нулевые значения (терпят разрывы). Это приводит к разрывам остальных компонент решения. Вследствие такого поведения решений интенсивность грузопотока меняется скачкообразно. Данное поведение характерно для решений с малыми начальными значениями и решениями, полученными при значениях параметра α , близкого к нулю. При $\alpha = 0$ решения системы (5)–(7) разрывны независимо от начальных условий. На практике данный режим грузоперевозок сложно реализуем, поэтому такой тип решений мы в дальнейшем рассматривать не будем.

Итак, будем исследовать первый тип решений. На рис. 3 приведен пример решения для $\alpha = 2$ и начальными значениями:

$$\begin{aligned} \Delta_1 = 10, \Delta_2 = 11, \Delta_3 = 12, \Delta_4 = 8, \Delta_5 = 10, \Delta_6 = 11, \Delta_7 = 9, \Delta_8 = 10, \Delta_9 = 12, \Delta_{10} = 10, \\ a_1 = 0,1, a_2 = 0,2, a_3 = 0,3, a_4 = 0,05, a_5 = 0,4, a_6 = 0,1, a_7 = 0,1, a_8 = 0,2, \\ a_9 = 0,2, a_{10} = 0,02, z_1(0) = 4, z_2(0) = 2, z_3(0) = 5, z_4(0) = 7, z_5(0) = 6, \\ z_6(0) = 8, z_7(0) = 5, z_8(0) = 6, z_9(0) = 8, z_{10}(0) = 3. \end{aligned} \tag{14}$$

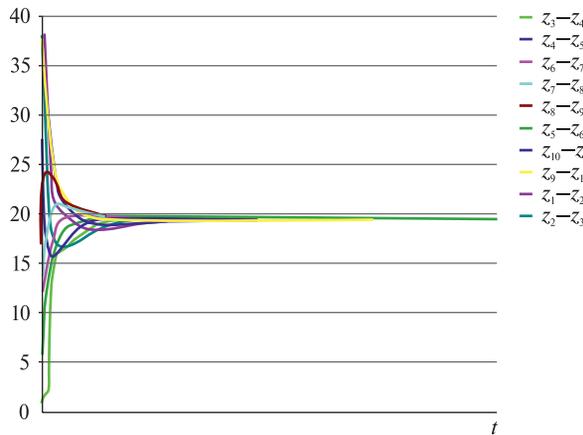


Рис. 4. Интенсивность потока в общем случае

Из-за симметричности правил приема и отправки грузов (отправка грузов со станции i на станцию $i + 1$ с определенной интенсивностью равносильна приему грузов на станции $i + 1$ с той же интенсивностью) и условия (13) следует, что каждая станция принимает груз с предыдущей станции и отправляет на следующую станцию с постоянной и одинаковой интенсивностью, т.е. в системе грузоперевозок, как и в случае идентичных станций, устанавливается стационарный поток (рис. 4). Величина данного потока зависит как от параметров модели, так и от начальных значений, а точнее, от их среднего арифметического \bar{c} . С помощью численных экспериментов исследуем эти зависимости.

Начнем с параметра α , который характеризует потенциал первой технологии. На рис. 5 приведен график зависимости интенсивности стационарного потока от α при фиксированных значениях остальных параметров и начальных значений (см. (14)).

Как мы видим, с увеличением параметра α растет интенсивность стационарного потока, а скорость ее роста уменьшается. При этом уменьшаются и слагаемые в правой части системы (5)–(7), отвечающие за прием и отставку грузов в рамках первой технологии. Это означает, что первая технология имеет ограниченный потенциал.

Перейдем к исследованию зависимости интенсивности стационарного потока от характеристик пропускной способности станций, т.е. от a_i и Δ_i .

Начнем с параметра a_i . На рис. 6 приведена зависимость интенсивности стационарного потока от a_1 при фиксированных значениях остальных параметров и начальных условий.

С увеличением a_1 растет поток, причем вначале скорость является возрастающей, но с некоторого значения она становится убывающей. Такая же тенденция наблюдается для других параметров a_i . Таким образом, увеличение эффективности использования путей на некоторой выбранной станции до определенного уровня дает неплохой вклад в увеличение интенсивности потока во всей системе грузоперевозок. Однако в силу ограниченности пропускной способности на остальных станциях дальнейшее увеличение эффективности путей на одной станции уже не может привести к ощутимому вкладу в увеличение интенсивности грузопотока.

Исследуем зависимость стационарного потока от числа путей Δ_i . На рис. 7 приведена зависимость от числа путей на первой станции при фиксированных значениях остальных параметров

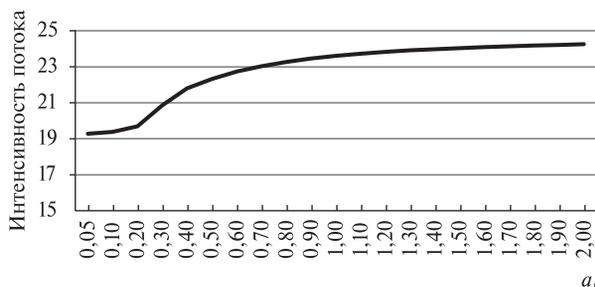


Рис. 6. Зависимость интенсивности стационарного потока от a_1

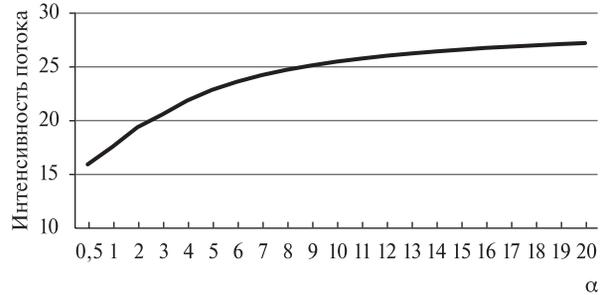


Рис. 5. Зависимость интенсивности стационарного потока от параметра α

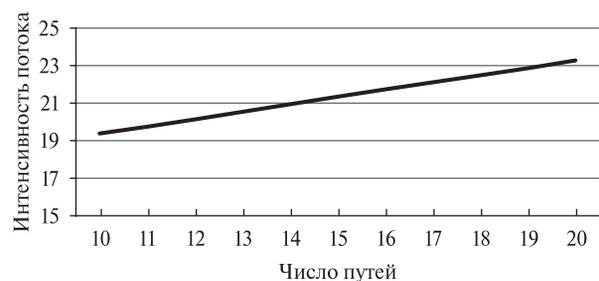


Рис. 7. Зависимость интенсивности стационарного потока от числа путей на станции I

и начальных условий. Данная зависимость является линейной. Напомним, что пропускная способность станций зависит от числа путей согласно формуле (12). Такая же зависимость наблюдается и в отношении других параметров.

При исследовании зависимости интенсивности стационарного потока от начальной загрузки станций \bar{c} эксперименты показали, что она является убывающей (рис. 8).

Максимальная начальная загруженность станций, равная 10,3, соответствует ситуации, когда в начальный момент времени на всех станциях задействованы все пути, т.е. $z_i(0) = \Delta_i$, $i = 1, \dots, n$. В этом случае организация грузопотока в рамках данной модели невозможна. Она также невозможна, когда в начальный момент времени на всех станциях все пути свободны, т.е. $z_i(0) = 0$, $i = 1, \dots, n$.



Рис. 8. Зависимость интенсивности стационарного потока от начальной загрузки станций (при фиксированных значениях параметров)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследована модель организации грузоперевозок по круговой цепочке станций. Движение грузопотока осуществляется с помощью двух технологий, задающих интенсивность грузопотока в зависимости от пропускной способности станций и перегонов. Такая модель описывается системой дифференциальных уравнений с ограничениями, описывающими допустимый диапазон изменения числа задействованных путей на станциях. Эти ограничения могут порождать разрывы в правых частях уравнений. В силу сложности получения аналитического решения данная система была исследована численно. Проведенные эксперименты позволили выявить указанные разрывы. Они возникают вследствие того, что со временем некоторые компоненты решения начинают колебаться у левой границы указанных выше диапазонов (нуля), периодически выходя на нее. Такое поведение характерно для решений с малыми начальными значениями и решениями, полученными при значениях параметра α , близкого к нулю, т.е. в случае недостаточной обеспеченности станций грузом в начальный момент времени и низкой пропускной способности перегонов. Отметим, что данное свойство решений не распространяется на частный случай системы, описывающей модель с идентичными станциями (одинаковое число путей на всех станциях и эффективность их использования). В этом случае независимо от характеристик станций и перегонов, а также их начальной загрузки, в системе грузоперевозок устанавливается стационарный поток.

Разрывные решения приводят к большим колебаниям в величине потока, возникающего в системе грузоперевозок. На практике такой режим грузоперевозок крайне сложно реализуем, поэтому более детально изучены режимы грузоперевозок, определяемые непрерывными решениями. Как показали численные эксперименты, такие режимы грузоперевозок приводят к установлению стационарного потока в системе грузоперевозок. Исследование зависимости величины данного потока от характеристик используемых технологий показало, что с увеличением параметра α (характеристики первой технологии) скорость роста интенсивности стационарного потока уменьшается. Это говорит об ограниченном потенциале первой технологии. Таким же свойством обладает и одна из характеристик второй технологии, а именно, эффективность использования станционных путей. Скорость роста интенсивности стационарного потока от другой характеристики второй технологии (числа путей на станции) является постоянной.

В заключении отметим, что с помощью такой модели, предварительно оценив ее параметры на основе статистических данных, можно прогнозировать эффект, полученный от мероприятий, связанных с увеличением пропускной способности той или иной станции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Бекларян Л.А., Хачатрян Н.К.** (2013). Об одном классе динамических моделей грузоперевозок // *Журнал вычислительной математики и математической физики*. Т. 53. № 10. С. 1649–1667. [**Beklaryan L.A., Khachatryan N.K.** (2013). On one class of dynamic transportation models. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 53, 10, 1649–1667 (in Russian).]

- Бекларян Л.А., Хачатрян Н.К.** (2019). Динамические модели организации грузопотока на железнодорожном транспорте // *Экономика и математические методы*. Т. 55. № 3. С. 62–73. [**Beklaryan L.A., Khachatryan N.K.** (2019). Dynamic models of cargo flow organization on railway transport. *Economics and Mathematical Methods*, 55 (3), 66–73 (in Russian).]
- Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б.** (2013). Введение в математическое моделирование транспортных потоков. А.В. Гасников (ред.). М.: МЦНМО. [**Gasnikov A.V., Klenov S.L., Nurminskii E.A., Kholodov Ya.A., Shamrai N.B.** (2013). *Introduction to mathematical model operation of traffic flows*. A.V. Gasnikov (ed.) Moscow: MCCME (in Russian).]
- Иносэ Х., Хамада Т.** (1983). Управление дорожным движением. М.: Транспорт. [**Inose H., Hamada T.** (1983). *Road traffic control*. Moscow: Transport (in Russian).]
- Сухинова А.Б., Трапезникова М.А., Четверушкин Б.Н., Чубарова Н.Г.** (2009). Двумерная макроскопическая модель транспортных потоков // *Математическое моделирование*. Т. 21. № 2. С. 118–126. [**Sukhinova A.B., Trapeznikova M.A., Chetverushkin B.N., Churbanova N.G.** (2009). Two-dimensional macroscopic model of traffic flows. *Mathematical Models and Computer Simulations*, 1, 6, 669–676 (in Russian).]
- Швецов В.И.** (2003). Математическое моделирование транспортных потоков // *Автоматика и телемеханика*. № 11. С. 3–46. [**Shvetsov V.I.** (2003). Automation and remote control. *Avtomatika i Telemekhanika*, 11, 3–46 (in Russian).]
- Bando M., Hasebe K., Nakayama A., Shibata A., Sugiyama Y.** (1995). Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation. *Physical Review. E*, 51, 1035–1042.
- Bar-Gera H.** (2002). Origin-based algorithm for the traffic assignment problem. *Transportation Science*, 36, 4, 398–417.
- Beklaryan L.A., Khachatryan N.K.** (2006). Traveling wave type solutions in dynamic transport models. *Functional Differential Equations*, 13, 12, 125–155.
- Beklaryan L.A., Khachatryan N.K., Akopov A.S.** (2019). Model for organization cargo transportation at resource restrictions. *International Journal of Applied Mathematics*, 32, 4, 627–640.
- Brackstone M., McDonald M.** (2000). Car following: A historical review. *Transportation Research. F*, 2, 181–196.
- Carrothers G.A.P.** (1956). An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction. *J. American Instit. Planners*, 22, 94–102.
- Chowdhury D., Santen L., Schadschneider A.** (2000). Statistical physics of vehicular traffic and some related systems. *Physics Reports*, 329, 199–329.
- Cremer M., Ludwig J.** (1986). A fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations. *Mathematics and Computers in Simulation*, 28, 297–303.
- Daganzo C.F.** (1994). The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory. *Transportation Research. B*, 28, 269–287.
- Daganzo C.F.** (1995). The cell transmission model. Part II: Network traffic. *Transportation Research. B*, 29, 79–93.
- Fotheringham A.S.** (1983). A new set of special-interaction models: The theory of competing destinations. *Environment and Planning. A*, 15, 15–36.
- Fotheringham A.S.** (1986). Modelling hierarchical destination choice. *Environment and Planning. A*, 18, 401–418.
- Harris B., Wilson A.G.** (1978). Equilibrium values and dynamics of attractiveness terms in production-constrained spatial-interaction models. *Environment and Planning. A*, 10, 371–388.
- Helbing D., Treiber M.** (1998). Gas-kinetic-based traffic model explaining observed hysteretic phase transition. *Physical Review Letters*, 81, 3042–3045.
- Khachatryan N.K., Akopov A.S.** (2017). Model for organizing cargo transportation with an initial station of departure and a final station of cargo distribution. *Business Informatics*, 1, 25–35.
- Khachatryan N.K., Akopov A.S., Belousov F.A.** (2018). About quasi-solutions of traveling wave type in models for organizing cargo transportation. *Business Informatics*, 1 (43), 61–70.
- Leventhal T., Nemhauser G.L., Trotter L.** (1973). A column generation algorithm for optimal traffic assignment. *Transportation Science*, 7, 168–176.
- Lo H.K., Chen A.** (2000) Traffic equilibrium problem with route-specific costs: Formulation and algorithms. *Transportation Research. B*, 34, 6, 493–513.
- Nelson P.** (1995). A kinetic model of vehicular traffic and its associated bimodal equilibrium solutions. *Transport Theory and Statistical Physics*, 24, 383–409.
- Popkov Yu.S.** (1995). *Macrosystems theory and its applications*. Berlin: Springer Verlag.
- Shvetsov V.I.** (2009) Algorithms for distributing traffic flows. *Automation and Remote Control*, 70, 10, 1728–1736.

- Spiess H., Florian M.** (1989). Optimal strategies: A new assignment model for transit networks. *Transportation Research. B*, 23, 83–102.
- Treiber M., Hennecke A., Helbing D.** (2000). Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations. *Physical Review. E*, 62, 1805–1824.
- Wilson A.G.** (1971). A family of spatial interaction models and associated developments. *Environment and Planning. A*, 3, 255–282.

Study of flow dynamics in the model of cargo transportation organization along a circular chain of stations

© 2021 N.K. Khachatryan, L.A. Beklaryan

N.K. Khachatryan,

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

L.A. Beklaryan,

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

Received 23.06.2020

This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects 19-01-00147, 19-010-00958).

Abstract. The article is devoted to the construction and study of a model for organizing railway cargo transportation along a circular chain of stations. Each station is characterized by a certain number of roads, each of which can be involved at any time, as well as the efficiency of their use. Cargo traffic is carried out using two technologies. The first technology is based on the interaction of neighboring stations and sets the intensity of the flow between them, depending on the ratio of free roads on them and the normative coefficient characterizing the capacity of railway tracks (sections of the railway line between stations) and the technical characteristics of the railway rolling stock engaged in transportation. It is supplemented by a second technology, the task of which is to make full use of the capacity of stations, which is expressed in the amount of cargo transported per unit of time, depending on the congestion of stations and the efficiency of roads use. Such a model is described by a system of differential equations with discontinuous right-hand sides. The analytical solution of such a system is extremely difficult, therefore, it was investigated numerically. The results of a numerical study of this system are presented, the main purpose of which is to determine the dynamics of freight traffic, and also study its dependence on the model parameters characterizing the capacity of the stations and railway tracks, as well as the workload of the stations in the initial time.

Keywords: organization of railway cargo transportation, freight traffic intensity, differential equations, numerical solution, stationary flow.

JEL Classification: C63.

DOI: 10.31857/S042473880013024-5

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

**Модель изменения индивидуальных мнений в группе
под влиянием межличностных контактов и внешних факторов**

© 2021 г. Ю.Н. Гаврилец, И.В. Тараканова

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

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

Поступила в редакцию 18.08.2020

Аннотация. В работе предложена техника компьютерного моделирования процессов формирования мнений и субъективных ценностей людей под влиянием межличностных информационных контактов и различных внешних факторов. Основой модели межличностных контактов является матрица, коэффициенты которой выражают влияние мнений одних индивидов на позиции других. Указаны свойства этих матриц, обеспечивающие устойчивость стационарных состояний систем оценок и облегчающие прогнозирование. На основе выведенных формул выполнены прогнозные расчеты по условным данным, показавшие эффективность предложенных процедур. На модельном уровне рассмотрены возможности учета влияния различных внешних факторов на мнения и оценки. Такими факторами могут быть материальные условия жизни, природные условия, СМИ, политические события и т.п. Подчеркивается, что отдельные внешние факторы могут отражать управляющие воздействия со стороны неких социальных сил, имеющих собственные цели. Предложена конкретная модель влияния на электоральное поведение, имеющая целью изменить пропорции голосов между несколькими кандидатами. В работе проанализировано влияние случайных факторов на процесс формирования мнений. Приведены формулы оценок дисперсий и математических ожиданий для возможных прогнозов, а также выполнены соответствующие расчеты для описанной модели. Отмечается, что практическое использование описанных методов требует наличия данных официальной статистики и проведения серьезных социологических опросов.

Ключевые слова: субъективные оценки, коэффициенты взаимовлияний, разностные уравнения, стационарные состояния, внешние воздействия, случайные факторы, электоральное поведение, управление общественным мнением.

Классификация JEL: C31.

DOI: 10.31857/S042473880014053-7

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящее исследование продолжает цикл работ, выполненных в лаборатории математической социологии ЦЭМИ РАН, посвященных компьютерному моделированию и анализу процессов формирования социальных позиций групп населения и общественного мнения в целом. В этих работах использовалось два способа моделирования: 1) изменение социальных предпочтений в группах с постоянной численностью участников (Гаврилец, Тараканова, 2019), 2) изменение численностей групп с одинаковыми позициями (Гаврилец, Тараканова, 2018). В подобных работах других авторов в основном рассматривались модели изменения численностей групп (Михайлов и др., 2014; Прончева, 2016) под влиянием информационных взаимодействий между людьми, СМИ и других внешних факторов. Необходимо отметить, что анализ динамики общественного мнения близок анализу формирования социальных норм, которому, особенно на Западе, уделяется большое внимание (Calabuig, Olcina, Panebianco, 2017; Roos et al., 2015; Tankard, Paluck, 2016; Kimbrough, Vostroknutov, 2016).

Целью данной работы является не решение какой-то конкретной прикладной задачи, каких много в современной жизни, а разработка и развитие математических и компьютерных процедур, способных обеспечить более конструктивный анализ социальной действительности. По нашему мнению, сложность социума достигла такого уровня, что *адекватно понять происходящее в нем и увидеть последствия принимаемых решений без использования математических моделей и количественных (цифровых) расчетов невозможно*. Приводимые далее модели, их свойства, поведение

и внешние условия необходимо рассматривать как некий виртуальный мир — аналог мира, в котором мы живем. Анализируя его, мы оттачиваем инструмент возможного прогнозирования и управления реальностью.

Далее рассматривается процесс формирования у людей *субъективной оценки* некоей социальной проблемы или объекта. Эти оценки могут меняться в результате взаимодействия с другими людьми при получении информации об их оценках, под воздействием отдельных каналов СМИ, а также под влиянием условий жизни или случайных обстоятельств. Предполагается, что эти оценки могут измеряться в некоторой количественной шкале типа интервальной. В данной работе в отличие от большинства наших предыдущих исследований особое внимание уделяется возможностям учета влияния случайных факторов.

2. МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОЦЕНОК ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИНДИВИДОВ В ЗАМКНУТОЙ ГРУППЕ

В данной работе мы следуем традиции, когда при описании массовых социальных процессов (демографических, эпидемиологических, экономических, политических и пр.), в которые вовлечены люди различного характера, употребляются термины «группа», «межгрупповые взаимодействия» и подобные категории. Это удобно, но просто использовать эти термины недостаточно, так как отсутствие операционального определения может приводить к ошибочным выводам, особенно если применяются статистические расчеты, а группа рассматривается как нечто целое.

Реализации конкретного вида поведения и осуществлению осознанного выбора обычно предшествует формирование субъективного отношения к результатам возможного выбора. Мы считаем, что субъективное отношение (положительное или отрицательное) всегда может быть описано количественной шкалой определенного типа (Фантаццини, Шаклеина, Юрас, 2016), как это принято при анализе общественного мнения. В связи с этим мы предварительно изложим свое понимание перехода от описания оценок одного человека к описанию оценок группы. Следуя подходу, разработанному авторами ранее, основное соотношение, выражающее формирование у произвольного индивида его субъективной оценки, может быть представлено как стохастическое:

$$\xi^{t+1} = \xi^t + h \left(\sum_k a_k \xi_k^t - \xi^t + \sum_j f_j^t \right), \quad (1)$$

где ξ^t — случайная величина, выражающая оценку в момент t у взятого наугад представителя рассматриваемой группы, закон распределения этой величины часто предполагается Гауссовым; h — доля от разности между общим воздействием на оценку и самой оценкой, определяющая величину текущего изменения оценки; ξ_k^t — оценка в момент t у члена группы k , с которыми контактирует данный представитель; a_k — весовые коэффициенты, соизмеряющие влияние на оценку данного индивида со стороны остальных членов референтной группы k ; f_j^t — дополнительное изменение в момент t оценки у рассматриваемого представителя группы (j — номер внешнего фактора, воздействующего на оценку). В замкнутых социумах, рассматриваемых в данном разделе, изменения f_j^t равны 0.

Используемые здесь линейные модели удобны в силу своей простоты, а нелинейные — требуют более сложных процедур анализа и верификации, приводят к неоднозначности стационарных состояний, а также усложняют содержательную интерпретацию (Гаврилец, Тараканова, 2018).

Таким образом, модель предполагает, что в основе изменения мнений лежит стремление уменьшить собственный дискомфорт (когнитивный диссонанс) от наличного рассогласования между собственным мнением и мнением ближайшего социума. При этом: 1) конкретное соотношение (1) для фиксированного момента времени относится к любому (взятому наугад) представителю данной однородной группы; 2) структура связей между людьми и степень их взаимовлияния (задаваемые коэффициентами a_k) не меняются. Далее мы можем перейти от стохастического соотношения (1) к его математическому ожиданию, т.е. к соотношению между средними величинами, и вместо переменных ξ^t будем пользоваться переменными x^t .

Уточним смысл временных параметров модели t , h . Предполагается, что информационный контакт каждого индивида с другими и внешней средой происходят регулярно через каждые h единиц времени, т.е. время меняется по правилу $t = 0, h, 2h, 3h, \dots$ В зависимости от конкретной ситуации и соответствующих статистических данных, а также желаемой точности модели эти величины h могут быть по-разному связаны с реальностью и принимать значения от нескольких минут до суток и недель.

В качестве простейшего варианта модели рассмотрим следующую ситуацию. Пусть имеется n социальных субъектов, обозначаемых номерами i , с оценками объекта $x_i(t)$, где вектор $x(t)$ с компонентами $x_i(t)$ характеризует набор всех оценок в момент времени t . Предполагается, что изменение состояний (оценок всеми участниками) происходит только в результате информационного общения между участниками от начального состояния $x(0)$ по закону

$$x(t) = x(t-1) + hAx(t-1), \quad (2)$$

где матрица A состоит из коэффициентов, указывающих влияние информации об оценке одного участника на оценки других, а h — малый параметр итеративного процесса.

Пусть E — единичная матрица. Тогда разностные уравнения (1) означают, что при неизменной матрице информационного влияния A в момент t вектор оценок всех членов группы будет равен

$$x(t) = (E + hA)x(t) = (E + hA)^t x(0), \quad t = 0, 1, \dots \quad (3)$$

Как было отмечено выше, при описании реальных процессов подобным образом необходимо придавать четкий смысл параметрам времени t и h . Соотношение (2) порождает не только естественные вопросы о возможностях прогнозирования на фиксированный момент времени t , но и об устойчивости стационарного состояния, если таковое существует. Качественные особенности динамики системы определяются свойствами матрицы A . При различных ненулевых корнях характеристического уравнения решение системы разностных уравнений (3) может быть выражено с помощью правых (столбцовых) V_j и левых (строковых) U_i собственных векторов в виде суммы правых векторов с коэффициентами, зависящими от элементов начального вектора $x(0)$ и собственных чисел λ_i :

$$x(t) = \sum K_j (1 + \lambda_j)^t V_j. \quad (4)$$

Здесь коэффициенты K_j определяются произведениями компонентов векторов $x(0)$ и u_i (вектор $K = Ux(0)$, U — матрица из строк u_i) (см., например, (Ланкастер, 1972)). Из (4) следует, что при $|1 + \lambda_j| < 1$ для всех i будет существовать при $t \rightarrow \infty$ предельное (стационарное) состояние. При этом данное состояние представляет собой линейную комбинацию тех собственных векторов, которым соответствуют нулевые собственные числа. Этот факт часто существенно облегчает анализ динамических систем. Действительно, становится возможным по собственным векторам матрицы взаимовлияний и начальному состоянию сразу вычислять предельное конечное состояние.

3. ПРИМЕР

В качестве начального примера рассмотрим условный социум, состоящий из трех возрастных групп — «молодых», «зрелых» и «старших», которые оценивают качество трех кандидатов по некоторой шкале установок. Значения качеств принадлежат действительной оси от $-\infty$ до $+\infty$. Предполагается, что численности всех групп известны и равны соответственно N_1, N_2, N_3 .

Введем обозначения. Средние оценки каждого кандидата по группам: x_{1t}, x_{2t}, x_{3t} — в группе молодых; y_{1t}, y_{2t}, y_{3t} — в группе зрелых; v_{1t}, v_{2t}, v_{3t} — в группе старших.

Вообще говоря, структура и сила взаимовлияний может быть различной, и число нулей в матрице A — тоже. С кем контактируют индивиды и как часто, кто из них пользуется большим авторитетом и т.п. — все это определяет вид матрицы взаимосвязей. Специально организованные социологические опросы могли бы дать необходимую информацию по особенностям и структуре взаимных контактов, о роли лидеров в социальных группах. Анализ социальных сетей (Губанов, Новиков, Чхартишвили, 2010) позволяют получать непрерывную информацию о контактах и оценках людьми различных сторон жизни, но для получения конкретной информации нужны специальные исследования.

В данной работе нас интересуют только методологические возможности анализа, прогноза и управления общественным мнением. Реальными данными мы не располагаем, а формируем некий виртуальный мир и стремимся разработать компьютерную методологию для возможностей последующего обращения к реальности.

Будем рассматривать ситуацию, когда общественное мнение представляет собой систему оценок населением некоторых явлений общественной жизни, а динамика общественного мнения определяется таким процессом взаимодействия индивидов, в котором члены групп стремятся согласовать оценки кандидатов с оценками ближайших по возрасту членами, т.е. молодые и старшие

ориентируются на средних, а средние — на тех и других. В этом случае модель взаимодействия может быть представлена в виде системы разностных уравнений, связывающих средние значения оценок в группах между собой:

$$\begin{pmatrix} x1_{t+1} \\ x2_{t+1} \\ x3_{t+1} \\ y1_{t+1} \\ y2_{t+1} \\ y3_{t+1} \\ v1_{t+1} \\ v2_{t+1} \\ v3_{t+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} x1_t \\ x2_t \\ x3_t \\ y1_t \\ y2_t \\ y3_t \\ v1_t \\ v2_t \\ v3_t \end{pmatrix} + h \begin{pmatrix} a_{0,1}(y1_t - x1_t) \\ b_{0,1}(y2_t - x2_t) \\ c_{0,1}(y3_t - x3_t) \\ a_{1,0}(0,5(x1_t - v1_t) - y1_t) \\ b_{1,0}(0,5(x2_t - v2_t) - y2_t) \\ c_{1,0}(0,5(x3_t - v2_t) - y2_t) \\ a_{2,1}(y1_t - v1_t) \\ b_{2,1}(y2_t - v2_t) \\ c_{2,1}(y3_t - v3_t) \end{pmatrix}. \tag{5}$$

В системе (5) первые три уравнения описывают изменения оценок в группе молодых, вторая тройка — в группе средних, последние три — в группе старших. Коэффициенты a, b, c (с соответствующими индексами) указывают силу реакции одной группы на отличие от оценок другой. Параметр h характеризует скорость изменений. Очевидно, мы имеем итерационный процесс вида (2). Для модельного расчета использовалась матрица A .

Далее для определенности в последующих расчетах приняты следующие значения начального состояния $x(0)$ и матрицы взаимодействия A :

$$A = \begin{pmatrix} 0,01 & 0 & 0 & 0 & 0,01 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,02 & 0 & 0 & 0,02 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,02 & 0 & 0 & 0,02 & 0 & 0 & 0 \\ 0,015 & 0 & 0 & 0,03 & 0 & 0 & 0,015 & 0 & 0 \\ 0 & 5 \times 10^{-3} & 0 & 0 & 0,01 & 0 & 0 & 5 \times 10^{-3} & 0 \\ 0 & 0 & 5 \times 10^{-3} & 0 & 0 & 0,01 & 0 & 0 & 5 \times 10^{-3} \\ 0 & 0 & 0 & 0,09 & 0 & 0 & 0,09 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,09 & 0 & 0 & 0,09 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,09 & 0 & 0 & 0,09 \end{pmatrix}.$$

Можно убедиться, что собственные значения матрицы A неположительные, поэтому стационарное решение (предельное состояние при $t \rightarrow \infty$) системы (5) устойчиво.

При заданном начальном векторе $x(0)$ и $h = 0,1$ система приходит в стационарное состояние менее чем за 2000 шагов (рис. 1): $x^* = (23,312; 26,597; 46,312; 23,313; 26,595; 46,313; 23,313; 26,595; 46,313)$.

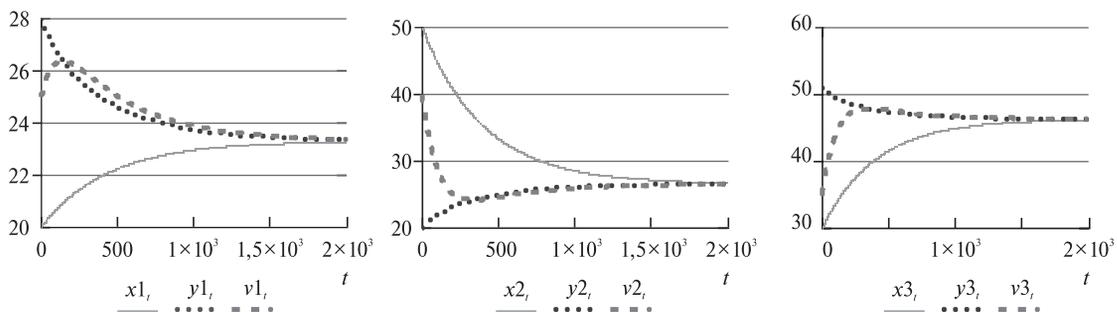


Рис. 1. Состояние системы на 2000-м шаге для каждого кандидата

Это состояние можно получить по формуле (3) или через собственные векторы (V , U) и числа λ (по формуле (4)):

$$(\mathbf{E} + h\mathbf{A})^{2000} x(0) = \begin{pmatrix} 23,27 \\ 26,76 \\ 46,19 \\ 23,36 \\ 26,56 \\ 46,34 \\ 23,37 \\ 26,54 \\ 46,35 \end{pmatrix}, \quad V \mathbf{A}^{2000} U x(0) = \begin{pmatrix} 2,27 \\ 2,76 \\ 46,19 \\ 23,36 \\ 2,56 \\ 46,34 \\ 2,37 \\ 2,54 \\ 4,35 \end{pmatrix}.$$

Заметим, что система (5) построена как стандартная модель, формализующая поведение каждой социальной группы в условиях ее взаимодействия с другими группами. Матрица \mathbf{A} содержит большое множество нулей, разбросанных, на первый взгляд, весьма хаотично. Однако одновременными перестановками строк и столбцов она может быть приведена к виду, указывающему ее истинную структуру. Мы получим блочную матрицу

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0,01 & 0,01 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,015 & 0,03 & 0,015 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,09 & 0,09 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,02 & 0,02 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5 \times 10^{-3} & 0,01 & 5 \times 10^{-3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,09 & 0,09 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,02 & 0,02 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \times 10^{-3} & 0,01 & 5 \times 10^{-3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,09 & 0,09 \end{pmatrix}.$$

Теперь видно, что система представляет три независимые модели формирования группами оценок каждого из трех кандидатов. Такая матрица получилась автоматически, если бы мы начинали рассматривать не поведение групп, а формирование рейтинга каждого кандидата. Однако в общем случае выявление особенностей структуры матрицы взаимосвязей является известной проблемой, решение которой часто облегчает анализ и прогноз социальных ситуаций.

Рассмотрим дополнительно случай, когда коэффициенты взаимодействия между людьми носят случайный характер. Пусть коэффициенты исходной модели, характеризующие непосредственное взаимное сопоставление балльных оценок участников, имеют гауссовскую случайную добавку с нулевым математическим ожиданием и малой стандартной ошибкой $\sigma = 0,25$. Псевдослучайная последовательность порождена в пакете "MATHCAD": $R^{(t)} = \text{norm}(9, 0, 0, 25)$. В этом случае система разностных уравнений записывается в виде:

$$\begin{pmatrix} x1_{t+1} \\ x2_{t+1} \\ x3_{t+1} \\ y1_{t+1} \\ y2_{t+1} \\ y3_{t+1} \\ v1_{t+1} \\ v2_{t+1} \\ v3_{t+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x1_t \\ x2_t \\ x3_t \\ y1_t \\ y2_t \\ y3_t \\ v1_t \\ v2_t \\ v3_t \end{pmatrix} + h \begin{pmatrix} [a_{0,1} + R_0^{(t)}](y1_t - x1_t) \\ [b_{0,1} + R_1^{(t)}](y2_t - x2_t) \\ [c_{0,1} + R_2^{(t)}](y3_t - x3_t) \\ [a_{1,0} + R_3^{(t)}](0,5(x1_t + v1_t) - y1_t) \\ [b_{1,0} + R_4^{(t)}](0,5(x2_t + v2_t) - y2_t) \\ [c_{1,0} + R_5^{(t)}](0,5(x3_t + v3_t) - y3_t) \\ [a_{2,1} + R_6^{(t)}](y1_t - v1_t) \\ [b_{2,1} + R_7^{(t)}](y2_t - v2_t) \\ [c_{2,1} + R_8^{(t)}](y3_t - v3_t) \end{pmatrix}. \quad (6)$$

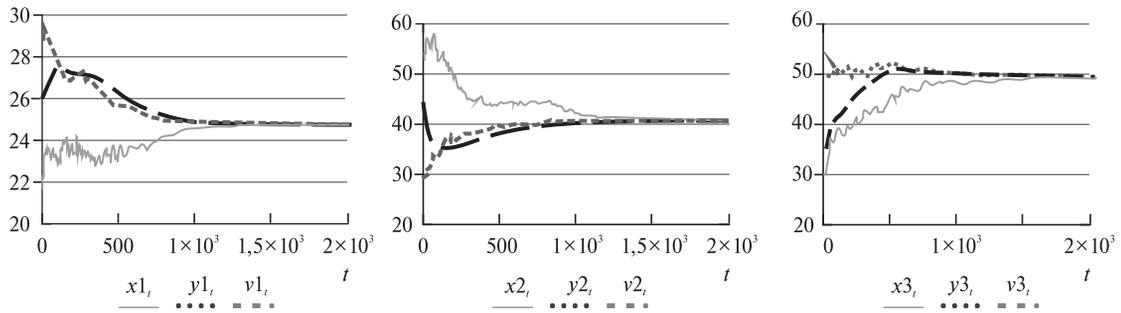


Рис. 2. Траектории процесса сближения оценок в каждой возрастной группе при влиянии возмущений на коэффициенты

Решением системы на момент времени T будет вектор $\mathbf{x}(T) = (19,67; 26,48; 46,28; 21,77; 25,68; 45,89; 22,12; 25,91; 46,57)$.

Как показывают расчеты (рис. 2), в этом случае общий характер, или качество, траекторий сохраняется и все траектории сходятся к состояниям, близким к тем, которые получались в исходном детерминированном случае (5). Случайные возмущения коэффициентов можно интерпретировать либо как ошибки измерений, либо как возможные изменения в ходе самого процесса. Расчеты показывают, что окончательное состояние структурно устойчиво.

4. ВНЕШНИЕ ВЛИЯНИЯ И ИХ УЧЕТ

Наряду с изменениями, вызванными взаимодействиями с другими участниками, в каждый момент времени могут добавляться внешние возмущения, обозначаемые далее вектором \mathbf{F} . Изменения переменных модели (2) зависят от характера этих возмущений. В исходной формуле необходимо суммировать вектор изменений $h(\mathbf{E}+h\mathbf{A})^t\mathbf{x}(t-1)$ с вектором возмущений \mathbf{F} , и вместо формулы (2) мы получим

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}(t-1) + h(\mathbf{A}\mathbf{x}(t-1) + \mathbf{F}(t-1)). \tag{7}$$

При этом необходимо различать ситуации, когда возмущения постоянны во времени или как-то меняются. При неизменности возмущений задача упрощается, и мы получаем

$$\mathbf{x}(t+1) = (\mathbf{E} + h\mathbf{A})^{t+1}\mathbf{x}(0) + h\sum_{k=0}^t [(\mathbf{E} + h\mathbf{A})^k \mathbf{F}]. \tag{7a}$$

Так как собственные числа матрицы $(\mathbf{E}+h\mathbf{A})$ положительны, то последовательность $\mathbf{X}(t)$ при $\mathbf{F} = \text{const}$ будет расходиться, а при невырожденной матрице \mathbf{A} стационарное состояние $(\mathbf{x}(t-1) \rightarrow \mathbf{x}(t))$ будет иметь смысл и согласно (7) выражаться как $\mathbf{x}^* = -\mathbf{A}^{-1}\mathbf{F}$.

На рис. 3 сходящиеся и расходящиеся траектории наглядно демонстрируют это для прежней матрицы \mathbf{A} и некоторого фиксированного вектора возмущений $\mathbf{F} = \mathbf{q}\mathbf{0} = (-1,25; 0; 2,5; -0,75; 1,25; 0,25; 0,75; 0; 2,5)$.

Компоненты вектора внешних влияний особенно важны с точки зрения возможности управления всем процессом изменения показателей. Нулевые компоненты означают отсутствие непосредственного влияния извне, когда изменения происходят только в результате прямого взаимодействия между участниками. Отрицательные значения ведут к возможному уменьшению значений этих компонент, положительные — к их росту. Это означает, что лицо, имеющее возможности определять значения

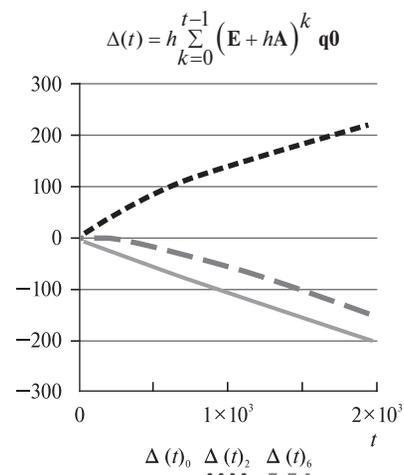


Рис. 3. Неограниченное убывание приростов оценок при $q0_i < 0$ и возрастание при $q0_i > 0$

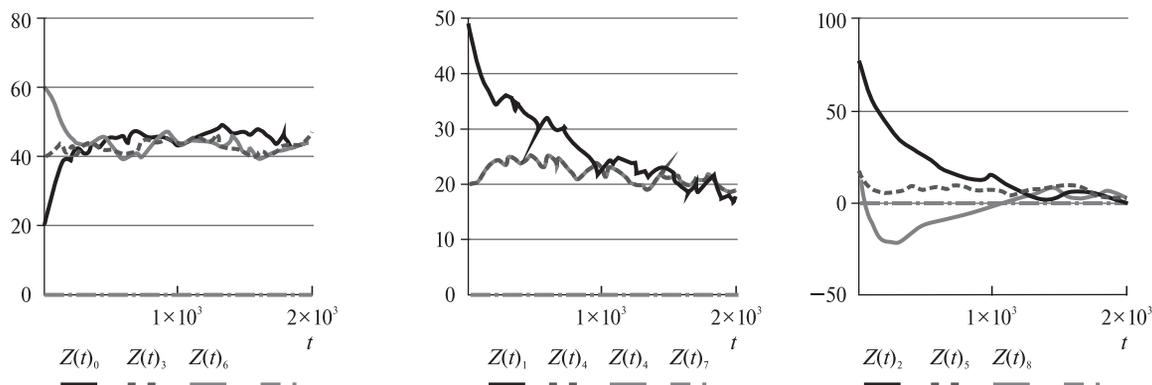


Рис. 4. Траектории изменения оценок кандидатов во всех возрастных группах при наличии случайных возмущений

характеристик внешней среды, может управлять формированием мнений у взаимодействующих субъектов.

Для выхода всей системы в некоторое стабильное состояние необходимо, чтобы влияние извне с какого-то момента было прекращено. Удобно это сделать, связав изменения внешнего управления с затухающей экспонентой. Будем предполагать, что компонента i вектора \mathbf{F} имеет вид $F_i = q_i \exp(-\alpha_i t)$, где параметры q_i, α_i определены внешними условиями либо заданы управленцем.

5. ОБЩИЙ СЛУЧАЙ ВНЕШНЕГО ВЛИЯНИЯ СО СТОХАСТИКОЙ

Рассмотрим теперь случай, когда внешние факторы подвержены случайным возмущениям, т.е. становятся случайными. Для этого будем предполагать, что члены случайной последовательности векторов-возмущений имеют вид

$$\mathbf{F}(t) = \mathbf{q}(t) + \mathbf{R}(t), \quad (8)$$

где компоненты $q_i(t) = q_i \exp(-\alpha_i t)$, а компоненты вектора $\mathbf{R}(t)$ — нормально распределенные случайные величины с нулевым математическим ожиданием и некоторыми дисперсиями σ_i^2 . В момент времени t у величины $\mathbf{F}(t)$ математическое ожидание равно $\mathbf{q}(t)$. Таким образом, мы получаем случайную последовательность векторов $\mathbf{x}(t)$. В целом наличие во внешнем влиянии случайных факторов означает, что динамический процесс (6) является стохастическим, поэтому прогнозирование значений баллов у кандидатов неоднозначно. В силу (7а) каждый член этой последовательности состоит из двух частей — детерминированной и случайной, а все выражение выглядит как

$$\mathbf{Z}(t) = (\mathbf{E} + h\mathbf{A})^t \mathbf{x}(0) + h \sum_{k=0}^{t-1} (\mathbf{E} + h\mathbf{A})^k \mathbf{F}(t-k-1). \quad (9)$$

Как показали расчеты, при заданных дисперсиях в $\mathbf{R}(t)$ ($\sigma = 1,5$) характер сближения оценок каждого кандидата сохраняется (рис. 4).

$$\mathbf{Z}(2000) = (43,19; 17,77; 2,79; 46,31; 20,05; 2,07; 44,16; 19,43; 3,13).$$

6. РАСЧЕТ ЗНАЧЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ И ДИСПЕРСИИ ВЕКТОРА $\mathbf{X}(T)$

Рассмотрим, какими вероятностными характеристиками обладают векторы $\mathbf{z}(t)$ на любой момент времени $t > 0$. Формула (9) показывает, что математическое ожидание $\mathbf{E}(\mathbf{z}(T))$ образуется из двух слагаемых: первое слагаемое формулы не зависит от случайностей и непосредственно входит как часть $\mathbf{E}(\mathbf{z}(T))$. Вторая часть выражения будет складываться из математических ожиданий членов под знаком суммирования. Эти математические ожидания в момент k равны векторам $(\mathbf{E} + h\mathbf{A})^k \mathbf{q} e^{-\alpha(T-k)}$, где $\mathbf{q} e^{-\alpha t}$ обозначает вектор с координатами $q_i e^{-\alpha_i t}$. Таким образом, ожидаемое значение прогнозируемого вектора на момент времени T равно

$$\mathbf{E}(\mathbf{z}(T)) = (\mathbf{E} + h\mathbf{A})^T \mathbf{z}(0) + h \sum_t^T (\mathbf{E} + h\mathbf{A})^t \mathbf{q} e^{-\alpha(T-t)}. \quad (10)$$

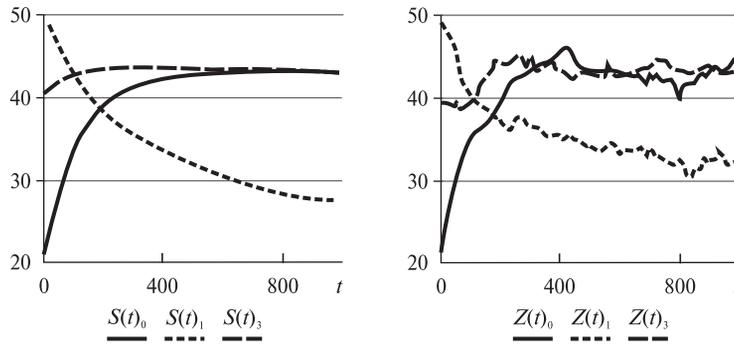


Рис. 5. Изменение во времени средних значений S и прогнозных траекторий Z для трех выбранных переменных 0, 1, 3

Рассмотрим дисперсию случайного вектора $\mathbf{z}(T)$. Так как первая часть выражения (10) не зависит от случая, то дисперсия всего выражения определяется дисперсией второго слагаемого, равного сумме векторов $\sum_k^{T-1} (\mathbf{E} + h\mathbf{A})^k (\mathbf{q}(T-k) + \mathbf{R}(T-k-1))$. Каждый элемент этой суммы содержит только одну составляющую случайной природы $\sum_k^{T-1} (\mathbf{E} + h\mathbf{A})^k \mathbf{R}(T-k-1)$.

Обозначим $\mathbf{B}(k) = (\mathbf{E} + h\mathbf{A})^k$. Теперь для получения дисперсии компоненты i вектора $\mathbf{x}(T)$ надо вычислить дисперсию компонент суммы $\sum_j \mathbf{B}(k)_{i,j} \mathbf{R}(T-k)_j$.

Как известно, для двух независимых случайных величин ξ_1 и ξ_2 с дисперсиями $D1$ и $D2$ дисперсия их линейной комбинации $c_1\xi_1 + c_2\xi_2$ равна $c_1^2D1 + c_2^2D2$. Поскольку первая часть формулы (9) детерминирована, получаем для окончательного выражения дисперсии

$$D(z_i(T)) = h^2 \sum_k \sum_j (B(k)_{i,j})^2 \sigma_j^2, \tag{12}$$

где σ_j^2 — дисперсии величин R_j .

Для полноты анализа рассмотрим, какими статистическими характеристиками обладают прогнозные траектории модели (9), показанные на рис. 5.

Траектория зависимости средних значений определяется по формуле (10) и представлена для трех переменных $S(t)$ на рис. 5. вместе с одной из возможных реализаций $\mathbf{z}(t)$ при названных выше внешних возмущениях $\mathbf{q}(t)$ и $\mathbf{R}(t)$. На рис. 6 ясно видно, что случайные гауссовские отклонения при $\sigma = 1,5$ не сказываются до момента $t = 1000$.

Интересно посмотреть, какими будут априорные ошибки прогнозирования данной модели. Естественно, что с течением времени дисперсия и стандартные ошибки прогнозных значений будут расти, при этом дисперсия обусловлена только случайным слагаемым формулы (9). Коэффициенты (априорные) вариации для всей траектории растут, как это показано на рис. 6. Они, естественно, отличаются от таких же коэффициентов \mathbf{vk} , рассчитанных только для случайного слагаемого формулы (9), где средняя отличается от общего среднего:

$$\begin{aligned} kvar_{i,t} &= D_{i,t} / S(t), \quad vk_{i,t} = D_{i,t} / \Delta(t)_i, \\ \mathbf{kvar}_{i,T} &= (0,09; 0,13; 0,24; 0,08; 0,16; \\ &\quad 0,63; 0,07; 0,15; -2,83), \\ \mathbf{vk} &= (0,26; -4,13; -0,16; 0,28; -7,9; \\ &\quad -0,16; 9,28; -7,98; -0,12). \end{aligned}$$

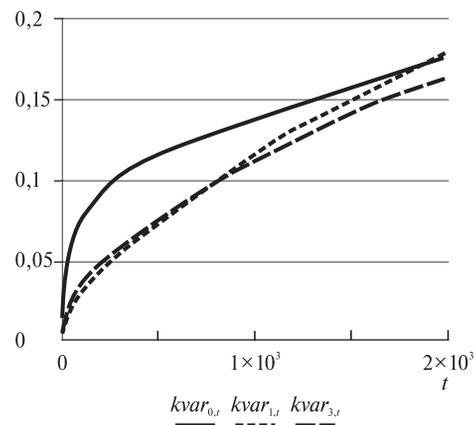


Рис. 6. Траектории изменения коэффициентов вариации во времени

7. ВОЗМОЖНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО МНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЙ РЕЙТИНГОВ ПОЛИТИКОВ

Основная модель (9) описывает изменения оценок социальными группами какого-то одного явления, факта, рейтинга политического деятеля и т.п. Предполагается, что эти оценки могут измеряться количественно, а их изменения могут происходить в результате информационных сообщений СМИ или личных контактов между членами групп (в частности, это описано моделью (4)). Известно, что на субъективные оценки людей серьезно влияют средства массовой информации, условия жизни и другие внешние факторы.

Модель (9) позволит учитывать эти моменты, если будет определено, как компоненты вектора внешних воздействий отражают факторы информационного влияния или условий жизни, и на какие группы это действует. Существенно, что внешние влияния можно рассматривать как не зависящие от наблюдателя и прогнозировать их автономно, а можно управлять некоторыми из них. В первом случае мы будем прогнозировать динамику групповых оценок под влиянием не зависящих от нас факторов, а во втором — выбирая тип воздействия. При этом можно управлять общественным мнением в соответствии с некоторыми своими целями. Кроме того, наличие в модели случайных переменных позволяет понимать неоднозначность будущих состояний и учитывать возможности неопределенных изменений в общественном мнении.

Рассмотрим ситуацию, когда оценки людьми потенциальных кандидатов будут изменены либо с помощью СМИ, либо из-за изменения внешних условий жизни. Пусть начальные групповые оценки кандидатов равны вектору $\mathbf{z}(0) = (20; 50; 80; 40; 20; 22; 60; 40; 15)$. В результате непосредственного взаимодействия по формулам (5) к моменту $T = 2000$ будет получен вектор $\mathbf{z}(T) = (29,881; 26,762; 33,148; 30,146; 26,557; 32,73; 30,194; 26,543; 32,7)$.

Мы видим, что в начальный момент суммарные оценки (при одинаковой численности всех трех групп) первого кандидата равны 120 баллам, второго — 110, третьего — 117. В результате расчетов мы получили, что оценка первого кандидата опускается до 90 баллов, второго — до 80, третьего — до 98 баллов.

Предположим, что некая управленческая структура, имеет возможность влиять на изменение оценок в течение определенного времени и намерена поддержать рейтинг первого кандидата и понизить рейтинг третьего (см. о роли СМИ в (Луман, 2005)). Для этого она вбрасывает положительную информацию для первого и отрицательную — для третьего. Что касается внешнего влияния на оценки второго кандидата, то полагаем для определенности, что в средней группе таковое отсутствует, условия жизни младшей группы ухудшают ее оценки, а старшей группы, наоборот, увеличивают. Все эти влияния отражаются компонентами вектора $\mathbf{q}(t)$, динамика трех компонентов которого изображена на рис. 7. И мы видим, что к такту $t = 300$ внешнее влияние прекращается. Используя для расчетов формулу (9) с вектором $\mathbf{q}(t)$ в качестве внешнего влияния на шаге $t = 2000$, получим конечный (стационарный) вектор: $\mathbf{z}(2000) = (43,06; 26,16; 7,523; 43,088; 25,989; 6,446; 43,093; 25,976; 5,397)$.

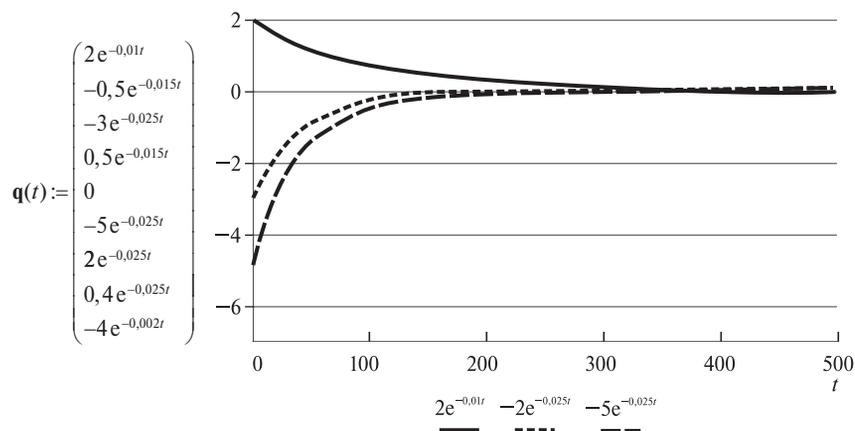


Рис. 7. Изменение внешних влияний \mathbf{q} во времени

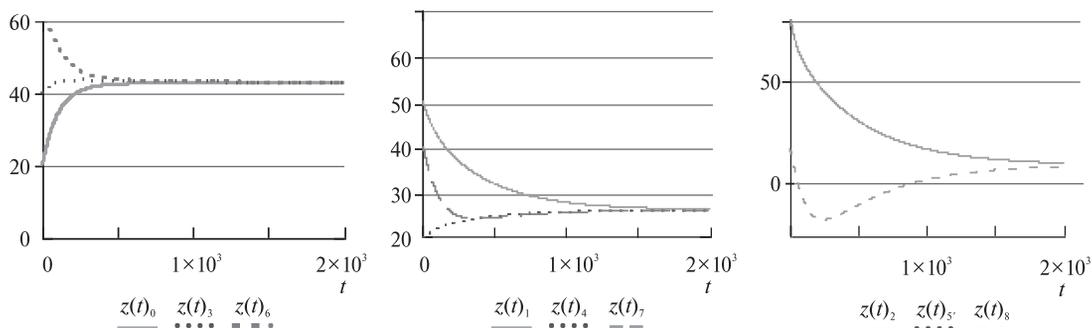


Рис. 8. Кривые выхода в равновесие при наличии внешнего влияния

Как легко убедиться, в результате выполненного воздействия рейтинг первого кандидата вырос до 40 баллов во всех возрастных группах, а рейтинг третьего кандидата упал до 6 баллов. Траектории выхода в равновесие изображены на рис. 8.

8. ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ШАНСОВ КАНДИДАТОВ ЭЛЕКТОРАЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Рассмотрим первоначальную модель оценок трех кандидатов тремя социальными группами. Можно считать, что балльная оценка кандидата, так сказать, его рейтинг, означает возможность его поддержки *при отдельном голосовании* «за» или «против» его кандидатуры. Удобно перейти от рейтинга к вероятности поддержки по известной формуле логистической функции, как мы это делали в (Гаврилец, Тараканова, 2018). В нашем случае эта формула имеет вид

$$f(x) = P e^{rx} / (1 + P(e^{rx} - 1)), \tag{13}$$

где x — рейтинг кандидата, $f(x)$ — вероятность поддержки. Параметры функции должны быть оценены из данных социологического наблюдения. Так, например, если предварительно в группах, указавших рейтинги 20, 50, 80, 90, были установлены проценты поддержки 10, 50, 90, 95, то статистически можно получить следующие значения параметров: $P = 0,025$; $r = 0,073$. Согласно этой формуле вероятности поддержки трех кандидатов в трех группах в начальный момент при $t = 0$ для $x(0)$ будут (0,1; 0,5; 0,19; 0,16; 0,1; 0,53; 0,14; 0,32; 0,25).

Для рейтингов, получившихся в результате внешнего воздействия (см. рис. 7), вероятности поддержки для $z(2000)$ становятся равными (0,42; 0,11; 0,03; 0,38; 0,12; 0,03; 0,42; 0,11; 0,03).

Зная число человек в каждой возрастной группе, можно подсчитать, сколько голосов получит каждый кандидат *при отдельном голосовании*. Если в младшей и старшей группах было по 400 человек, а в средней — 700, то, сложив голоса в группах, получим: 1135; 752; 395. Легко убедиться, что управляющие воздействия на мнения людей привели к радикальному изменению в результатах возможного голосования.

Альтернативная схема возможного расчета числа сторонников.

Очевидно, средняя оценка кандидата группой не означает полного единомыслия со стороны всех членов группы, поскольку мнения в группе могут различаться. Зная средние значения балльных оценок в каждой группе по каждому кандидату (обозначим их через m), можно оценить долю лиц, которые дали оценку кандидатам выше некоторого фиксированного уровня. Для этого необходимо знать закон распределения балльных оценок. Если предположить, что оценки в группе распределяются по нормальному закону с известной дисперсией σ^2 , то доля лиц с оценкой, большей заданного S , будет равна $P = 1 - cnorm((S - m) / \sigma)$, где $cnorm(\cdot)$ обозначает кумулятивное распределение вероятностей со средним, равным 0, и дисперсией, равной 1. Предположив, например, что стандартная ошибка составляет 0,33 от среднего значения m , а заданная величина $S = 0,8m$, для стационарного состояния получим такие значения: $\mathbf{z} = (43,059; 26,163; 7,523; 43,088; 25,989; 6,446; 43,093; 25,976; 5,397)$; $\mathbf{P} = (0,742; 0,552; 0,327; 0,742; 0,55; 0,315; 0,742; 0,55; 0,304)$.

Пусть вектор численностей равен $\mathbf{N} = (400; 400; 400; 700; 700; 700; 400; 400; 400)$. Соответственно этому число людей, которые оценили кандидатов на величину, большую, чем 0,33 от среднего значения, будет равно $S_i = f(z_i)N_i$, $\mathbf{S} = (296,64; 220,88; 130,74; 519,32; 385,03; 220,58; 296,77; 219,9; 121,56)$, откуда число индивидов, доверяющих кандидатам, $S_0 + S_3 + S_6 = 1113$; $S_1 + S_4 + S_7 = 661,7$; $S_2 + S_5 + S_8 = 472,88$.

Далее можно предположить, что число сторонников кандидата определяет вероятность его избрания. Эта вероятность может быть представлена той же логистической функцией, но со своими параметрами, подлежащими оцениванию из статистических наблюдений.

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Несмотря на простоту модели (5), она имеет ценность, указывая требования к статистическим опросам, которые могут вскрыть социально-психологическую структуру формирования личных оценок у взаимодействующих индивидов. Структура матрицы коэффициентов взаимовлияний может иметь такой вид, что небольшое число ее собственных векторов *сразу* позволяет определять конечное решение по начальному вектору. Поэтому грубый прогноз результатов информационного взаимодействия между группами без внешних добавок (как бы внутренняя инерция) имеет смысл сделать до применения управляющих воздействий.

2. Для оценки влияния на прогноз случайных факторов в работе приведены оценки ошибок прогноза. Для реализации потенциальных возможностей модели необходимо иметь не только некоторую массу статистических и других данных, но и формализованную подмодель, соответствующую целям ЛПР. Так, например, для реализации информационного влияния надо знать, какого типа информация обеспечивает какое изменение балльных оценок. Или — как изменение рыночных цен скажется на авторитете того или иного политика и т.д. Как правило, требуется хотя бы приблизительная оценка необходимых параметров, определяющих взаимовлияния между переменными.

3. Модель позволяет анализировать различные варианты внешних влияний на формирование мнений населения (СМИ, изменения условий жизни, экономическая конъюнктура, сезонные изменения и т.п.). Для этого надо заранее знать, как те или иные события внешнего мира влияют на мнения людей. Но даже общие гипотезы о возможном характере связи между внешними событиями и мнениями могут быть полезны для получения столь же общих и гипотетических выводов.

4. Важной особенностью наших моделей является их потенциальная возможность определять наиболее подходящие виды информационного воздействия, т.е. управления процессом посредством формирования различного рода мнений и тем самым — нужного поведения, например изменения рейтингов разных кандидатов путем запуска некоторой информации.

Заметим, что внешние факторы могут быть разносторонне направленными, стабильность мнений во времени может означать лишь их балансировку не за счет равновесия между информационными влияниями.

5. Подчеркнем, что, хотя в основном мы анализировали влияние СМИ и рейтинги кандидатов, содержание общественного мнения, которым интересуется исследователь, может быть другим. Например, для общества могут быть небезразличными морально-нравственный уровень молодежи или уровень общественной безопасности. Прогнозирование показателей социальных мнений и оценок определяет в ряде случаев возможности *прогнозирования социального поведения*, как это было отмечено в случае голосования за разных политических деятелей. Субъективные оценки также определяют виды поведения (массовые протесты, потребительское поведение, посещение культурных мероприятий, выполнение религиозных обрядов и т.п.). В таких случаях необходимо знать вид зависимости поведения не только от мнений, но и от некоторых других факторов.

6. Процессы изменений или поддержания стабильности так называемых социальных норм морально-этического характера (Calabuig, Olcina, Panebianco, 2017) могут описываться моделями, аналогичными представленными нами. В частности, начальные значения некоторых переменных могут иметь смысл фиксированных норм, входящих отдельными компонентами вектора $\mathbf{q}(t)$. Даже следование таким нормам, как юридические (например, о которых говорит Уголовный кодекс), вполне укладывается в описанные выше модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Гаврилец Ю.Н., Тараканова И.В.** (2018). Компьютерный анализ качественных особенностей формирования социально-идеологической структуры социума // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. Т. 11. № 1. С. 116–131. [**Gavrilets Yu.N., Tarakanova I.V.** (2018). Computer Analysis of Qualitative Features in the Formation of the Socio-Ideological Structure of Society. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 11, 1, 116–131 (in Russian).]
- Гаврилец Ю.Н., Тараканова И.В.** (2019). Оптимизация информационного влияния при ограниченных ресурсах // *Вестник ЦЭМИ*. Вып. 2. [**Gavrilets Yu.N., Tarakanova I.V.** (2019). Optimizing information influence with limited resources. *Herald of CEMI*, 2 (in Russian).]
- Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г.** (2010). Социальные сети: модели информационного влияния управления и противоборства. М.: Физматлит. [**Gubanov D.A., Novikov D.A., Chkhartishvili A.G.** (2010). *Social networks: Models of information influence of management and confrontation*. Moscow: Fizmatlit (in Russian).]
- Ланкастер К.** (1972). Математическая экономика. М.: Советское радио. [**Lankaster K.** (1972). *Mathematical Economics*. Moscow: Sovetskoe radio (in Russian).]
- Луман Н.** (2005). Реальность медиа. М.: Праксис. [**Luman N.** (2005). *The reality media*. Moscow: Praxis (in Russian).]
- Михайлов А.П., Петров А.П., Маревцева Н.А., Третьякова И.В.** (2014). Развитие модели распространения информации в социуме. В сб.: «*Математическое моделирование*». Т. 26. № 3. С. 65–74. [**Mikhailov A.P., Petrov A.P., Marevtseva N.A., Tret'yakova I.V.** (2014). Development of the model of information dissemination in society. In: *Mathematical modeling*, 26, 3, 65–74 (in Russian).]
- Прончева О.Г.** (2016). Влияние степени поляризации общества на исход информационного противоборства. *Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша*. № 75. С. 29. [**Proncheva O.G.** (2016). The influence of the degree of polarization of society on the outcome of the information confrontation. *Preprint's Keldysh Institute of Applied Mathematics*, 75, 29 (in Russian).]
- Фантаццини Д., Шаклеина М.В., Юрас Н.А.** (2018). Big Data в определении социального самочувствия населения России // *Прикладная эконометрика*. Т. 50. С. 43–66. [**Fantatstini D., Shakleina M.V., Yuras N.A.** (2018). Big Data in determining the social well-being of the Russian population. *Applied Econometrics*, 50, 43–66 (in Russian).]
- Calabuig V., Olcina G., Panebianco F.** (2017). The dynamics of personal norms and the determinants of cultural homogeneity. *Rationality and Society*, 29 (3), 322–354.
- Gavrilets Y., Kudrov A., Tarakanova I.** (2020). Optimization of the media messages structure for recruiting supporters. In: *50th International Scientific Conference on Economic and Social Development*, 257–263.
- Kimbroug E.O., Vostroknutov A.** (2016). Norms make preferences social. *Journal of the European Economic Association*, 14, 608–638.
- Roos P., Gelfand M., Nau D., Lun J.** (2015). Societal threat and cultural variation in the strength of social norms: An evolutionary basis. *Organizational Behavior and Human Decision, Processes*, 129, 14–23.
- Tankard M.E., Paluck E.L.** (2016). Norm perception as a vehicle for social change. *Social Issues and Policy Review*, 10, 181–211.

A model for changing individual opinions in a group under the influence of interpersonal contacts and external factors

© 2021 Yu.N. Gavrilets, I.V. Tarakanova

Yu.N. Gavrilets,

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

I.V. Tarakanova

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
e-mail: itar40@mail.ru

Received 18.08.2020

Abstract. The paper proposes a technique for computer modeling of the formation of opinions and subjective values of people under the influence of interpersonal information contacts and various external factors. It is assumed that the studied society consists of a fixed number of individuals, each of whom has its own subjective attitude to a certain socially significant phenomenon. This ratio (position) can be expressed in a numeric scale of the interval type. A dynamic model is proposed in the form of a difference system of linear equations. The basis of the interpersonal contact model is a matrix, coefficients of which express the influence of the opinions of some individuals on the positions of others. The properties of these matrices are indicated, which provide stability of stationary states of estimation systems and facilitate forecasting. Based on the derived formulas, the forecast calculations were made on conditional data, which showed the effectiveness of the proposed procedures. At the model level, the possibilities of taking into account the influence of various external factors on opinions and assessments are considered. Such factors may include living conditions, natural conditions, media, political events, etc. It is emphasized that certain external factors can express controlling influences from certain social forces that have their own goals. A specific model of influence on electoral behavior is proposed, which aims to change the proportions of votes between several candidates. The paper considers the influence of random factors on the process of forming opinions. The formulas of estimates of variances and mathematical expectations for possible forecasts are given, and the corresponding calculations for the described model are performed. It is noted that the practical use of the described methods requires the availability of official statistics and serious sociological surveys.

Keywords: subjective estimates, coefficients of mutual influence, difference equations, stationary states, external influences, random factors, electoral behavior, public opinion management.

JEL Classification: C31.

DOI: 10.31857/S042473880014053-7

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

**Информационные технологии формирования предложения на электронной
торговой площадке с технологией «маркетплейс»**

© 2021 г. М.Г. Матвеев

М.Г. Матвеев,

Воронежский государственный университет, Воронеж; e-mail: mgmatveev@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.05.2020

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (проект 41ГС1ЦТС10-D5/56042).

Аннотация. В статье рассматривается задача автоматизированного формирования предложения однородного товара на электронную торговую площадку с технологией «маркетплейс», обеспечивающего максимальное соответствие обобщенному покупательскому спросу и выгоде продавца. Предложена компьютерная формализация предложения и спроса в виде векторов характеристических параметров товара, представленных лингвистическими переменными. Разработан алгоритм построения функции принадлежности обобщенного спроса на основании информации об индивидуальном спросе покупателей, а также способ вычисления локальных, покомпонентных соответствий предложения и обобщенного спроса. Описан оператор агрегирования локальных соответствий в виде дискретного интеграла Шоке с нечеткой мерой. Выбор такого оператора агрегирования обусловлен очевидным взаимодействием характеристических параметров товара и невозможностью использования классических аддитивных операторов. Агрегированное соответствие предложения обобщенному спросу интерпретируется как вероятность совершения сделки. Возможности продавца представлены в форме функционально-стоимостных ограничений, заданных лингвистическими переменными вектора характеристических параметров, структурно эквивалентному вектору спроса. Уровень соответствия предложения функционально-стоимостным ограничениям интерпретируется как выгода продавца. Выбор предложения продавца основан на оптимизации критерия в виде заданного компромисса между вероятностью сделки и выгодой продавца. Выбор осуществляется с помощью генетического алгоритма. Проведено исследование, подтвердившее возможность использования разработанной формализации обобщенного спроса для получения адекватного выбора предложения. В частности, такой подход может применяться при реализации динамического ценообразования на электронной торговой площадке, а разработанные модели и алгоритмы — при создании информационных сервисов на электронных торговых площадках, в том числе ЭТП государственных закупок.

Ключевые слова: электронная торговая площадка; спрос и предложение; лингвистические переменные; агрегирование; интеграл Шоке; нечеткая мера; выбор оптимального предложения.

Классификация JEL: D81.

DOI: 10.31857/S042473880009719-9

ВВЕДЕНИЕ

Существующая тенденция развития рынка в виде схемы коммерческого взаимодействия компаний B2B ведет к глобальной автоматизации процессов взаимодействия продавцов и покупателей (Рис, 2014). Эта тенденция прослеживается в появлении электронных бирж, электронных торговых площадок (ЭТП), маркетплейсов¹, автоматизации торгового документооборота и т. п. Дальнейшее развитие автоматизации процессов намечается на пути создания систем распределенного реестра и формирования смарт-контрактов, автоматизирующих не только рутинные процессы, но и процессы принятия решений, например при выборе рациональных пар «продавец — покупатель».

На рынке целесообразно выделять однородные, взаимозаменяемые товары. Классический подход к выбору продавца однородного товара основывается на оптимизации экономических, стоимостных критериев (см., например, (Amin, Zhang, 2012; Mendoza, Ventura, 2012)). Однако при

¹ Маркетплейс — платформа электронной коммерции, предоставляющая информацию о продукте или услуге третьих лиц.

выборе необходимо учитывать весь спектр потребительских характеристик товара: технические, экономические, эргономические и т.п., — которые должны отражать индивидуальные потребности покупателя (Рис, 2014). Для такого выбора больше подходят процедуры установления парного соответствия по набору характеристик, развиваемые в работах нобелевского лауреата Э. Рота (Roth, 2003; Roth, Rothblum, 1999). В идеальной ситуации покупатель должен приобрести тот товар, который в максимальной степени соответствует его потребностям и возможностям, отображаемым значениями характеристик. Основной преградой достижения идеальной ситуации является недостаток информации у продавцов о потребностях и возможностях покупателя и неполная информация у покупателя о предложениях продавцов. Приближение реальной ситуации к идеальной осуществляется технологией маркетплейса, которая обеспечивает на локальном рынке информацию о потребностях покупателей и предложениях продавцов в рамках единого товарного рубрикатора. Существующая технология работы маркетплейса предполагает, что покупатель, заходя на ЭТП, заявляет о своих потребностях, а ЭТП помогают ему подбирать соответствующие предложения продавцов из своей актуальной базы данных с помощью разнообразных фильтров² или осуществляя выбор по критерию максимального соответствия спроса и предложения (Будяков, Гетманова, Матвеев, 2017; Matveev, Podvalny, 2019).

Имеет место и обратная задача — формирование продавцом своего предложения, максимально соответствующего покупательскому спросу. Как и всякая обратная задача, эта задача сложнее и получить ее решение, используя фильтры, вряд ли возможно. В этом случае большие возможности предоставляет подход, основанный на достижении максимального соответствия спроса и предложения, которые могут быть представлены в параметрической форме по аналогии с (Будяков, Гетманова, Матвеев, 2017; Matveev, Podvalny, 2019). Для решения обратной задачи необходимо описать параметрическое представление спроса покупателей и предложений продавцов и получить формализованное описание задачи.

1. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ

Пусть имеется некоторое подмножество типов однородного товара, различающихся значениями характеристических параметров. Каждый тип товара j , $j = 1, \dots, J$ будем описывать совокупностью характеристических параметров (например, мощность, габариты, цена, условия поставки и т.п.). Параметры являются компонентами вектора $q_j = (q_j^1, \dots, q_j^N)$, каждая компонента n принимает значения x на количественной или качественной шкале, $n = 1, \dots, N$.

Будем считать, что каждый покупатель k , $k = 1, \dots, K$ хочет приобрести однородный товар с желаемыми характеристическими параметрами. Вполне естественно, что желания покупателя будут носить расплывчатый характер, что обуславливается взаимозаменяемостью типов однородного товара. Для этого покупателю необходимо формализовать свои желания и возможности в виде вектора спроса с нечеткими характеристиками однородного товара $\tilde{g}_k = (\tilde{g}_k^1, \dots, \tilde{g}_k^N)$. В данном случае векторные компоненты — это лингвистические переменные с именами, совпадающими с именами соответствующих характеристических параметров описания типа однородного товара. Каждая переменная имеет кусочно-линейные функции принадлежности $f_g(x)$, носители которых $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$ отражают возможности покупателя, а значения функции — его предпочтения (желания). Для дискретных значений носителя функция принадлежности будет иметь табличный вид. Нечеткие характеристики формируют покупательский спрос.

Пусть каждый продавец i , $i = 1, \dots, I$ формализует свои возможности и желания в отношении однородного товара в виде векторов с именами лингвистических характеристик, таких как и у покупателя — $\tilde{q}_i = (\tilde{q}_i^1, \dots, \tilde{q}_i^N)$. Желания и возможности продавца отображаются кусочно-линейными функциями принадлежности $f_q(x)$. Предложение продавца i представляет совокупность четких характеристик конкретного типа j однородного товара $q_{ij} = (q_{ij}^1, \dots, q_{ij}^N)$.

Имеет смысл рассматривать два вида соответствий предложения продавца: 1) соответствие обобщенному покупательскому спросу, интерпретируемое как возможность или вероятность совершения сделки; 2) соответствие желаниям и возможностям продавца, интерпретируемое как выгодность совершения сделки для продавца. Тогда задача продавца i состоит в выборе таких

² Инструкция по работе в системе поиска торгов Рустендер (<https://tender-rus.ru/vopros-otvet/poisk-zakupok/instrukciya-po-poiskovoj-sisteme>); Фильтр товаров для WooCommerce (<https://ru.wordpress.org/plugins/woocommerce-products-filter/>).

значений компонент вектора q_{ij} , которые обеспечат компромисс между максимумом вероятности сделки и максимумом ее выгоды.

Обозначим соответствие предложения продавца i совокупному покупательскому спросу \tilde{g} как $\eta_{ij} = \eta(q_{ij}; \tilde{g}) \in [0; 1]$. Значение η_{ij} будем интерпретировать как вероятность продажи продавцом i типа товара j , $\eta_{ij} = 0$ — товар не будет продан; $\eta_{ij} = 1$ — товар будет продан. Соответствие предложения выгоды продавца обозначим как $\mu_{ij} = \mu(q_{ij}; \tilde{q}_i) \in [0; 1]$. Значение μ_{ij} будем интерпретировать как выгоду продажи товара j продавцом i , $\mu_{ij} = 0$ — отсутствие выгоды; $\mu_{ij} = 1$ — максимальная выгода.

Компромисс между вероятностью сделки и выгодностью для продавца i товара j предлагается формализовать выпуклой линейной комбинацией

$$S = \alpha \eta_{ij}(x) + (1 - \alpha) \mu_{ij}(x) \rightarrow \max_x, \tag{1}$$

где $x = (x^1, \dots, x^N)$ — значения характеристических параметров спроса и предложения; α — параметр, задающий предпочтения между вероятностью и выгодностью.

Построение модели выбора (1), решение и исследование задачи выбора оптимального предложения продавца на сформировавшемся рынке — цель настоящей статьи.

2. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ СПРОСА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Для решения задачи (1) необходимо построить функции $\eta_{ij}(x)$ и $\mu_{ij}(x)$. Для оценки вероятности продажи конкретного товара нужно формализовать обобщенный спрос покупателей. Обобщенный спрос имеет ту же структуру, что и спрос каждого покупателя,

$$\tilde{g} = (\tilde{g}^1, \dots, \tilde{g}^n, \dots, \tilde{g}^N), \tag{2}$$

где \tilde{g}^n — обобщенная локальная лингвистическая характеристика товара по параметру n :

$$\tilde{g}^n = \bigcup_{k=1}^K (\tilde{g}_k^n w_k), \tag{3}$$

где $w_k = v_k / v$ — весовой коэффициент для покупателя k , вычисляемый как отношение объема товара, запрашиваемого покупателем k , к общему объему товарного спроса $v = \sum_{k=1}^K v_k$.

Функция принадлежности обобщенного спроса по компоненте n вектора спроса будет иметь вид

$$f_g^n(x) = \sum_{k=1}^K f_{gk}^n(x) w_k; \quad n = 1, \dots, N, \tag{4}$$

где $f_{gk}^n(x)$ — функция принадлежности лингвистической переменной \tilde{g}_k^n : $x_{min}^n \leq x \leq x_{max}^n$, т.е. x принадлежит универсальному носителю всех термов этой лингвистической переменной.

Степень локального соответствия по компоненте n предложения q_{ij} обобщенному спросу по той же компоненте вычисляется подстановкой значения x компоненты предложения q_{ij}^n в соответствующую функцию принадлежности спроса:

$$\eta(q_{ij}^n; \tilde{g}^n) = \eta_{ij}^n(x) = \sum_{k=1}^K f_{gk}^n(x) w_k \in [0; 1], \quad - \tag{5}$$

а степень соответствия предложения q_{ij} обобщенному спросу — агрегированием (agr) локальных соответствий:

$$\eta(q_{ij}; \tilde{g}) = \eta_{ij} = \text{agr}_n [\sum_{k=1}^K f_{gk}^n(x) w_k] \in [0; 1], \quad n = 1, \dots, N. \tag{6}$$

Степень локального соответствия предложения q_{ij} по компоненте n выгоде продавца \tilde{q}_i по той же компоненте вычисляется подстановкой значения x компоненты предложения q_{ij}^n в соответствующую функцию принадлежности компоненты \tilde{q}_i^n :

$$\mu(q_{ij}^n; \tilde{q}_i^n) = \mu_{ij}^n(x) = f_q^n(x) \in [0; 1]. \tag{7}$$

Выражения (5) и (7) показывают, что локальные соответствия находятся как значения функций принадлежности на множестве значений локальных характеристик.

Степень соответствия предложения q_{ij} выгоде продавца i по совокупности всех компонент агрегированием локальных соответствий:

$$\mu(q_{ij}; \tilde{q}_i) = \mu_{ij} = \text{agr}_n [f_q^n(x)] \in [0; 1], \quad n = 1, \dots, N. \tag{8}$$

Оператором агрегирования обычно называют функцию, присваивающую некоторому кортежу действительных чисел одно действительное число (Detyniecki, 2000). Для рассматриваемой ситуации это можно представить в виде

$$\text{agr}: \bigcup_{n=1}^N [0;1]^n \rightarrow [0;1]. \quad (9)$$

Известны различные подходы к выбору оператора агрегирования, обзор которых можно найти в (Detyniecki et al., 2000).

В (Mesiar, Komorníková, 1997) предложен ряд фундаментальных свойств, которым должны отвечать операторы агрегирования (9):

$$\begin{cases} \text{agr}(x) = x; \\ \text{agr}(0, \dots) = 0, \text{agr}(1, \dots, 1) = 1; \\ \text{agr}(x_1, \dots, x_N) \leq \text{agr}(y_1, \dots, y_N), \text{ если } (x_1, \dots, x_N) \leq (y_1, \dots, y_N). \end{cases} \quad (10)$$

Выражения (6) и (8) следует рассматривать как свертку многокритериальной задачи. В этом случае важную роль при агрегировании играет возможность назначения весовых приоритетов компонент векторов η и μ в условиях характерного для рынка взаимодействия этих компонент. Примером такого взаимодействия может служить зависимость цены и качества товара. Веса компонент будем интерпретировать как меру важности параметров. Подход к назначению весов может быть основан на понятии *нечеткой меры* (Аверкин и др., 1986; Ягер, 1986).

Обозначим множество параметров векторов спроса и предложения как множество их индексов $M_{ij} = \{n_{ij}\}, n_{ij} = 1, \dots, N \quad \forall ij$. Нечеткой мерой на множестве M_{ij} является функция

$$\phi: P(M_{ij}) \rightarrow [0;1], \quad (11)$$

где $P(M_{ij}) = (M_{ij}; 2^{M_{ij}})$ — множество всех подмножеств компонент соответствующих векторов. При этом должны выполняться граничные условия и условия монотонности:

$$\phi(\emptyset) = 0, \phi(M_{ij}) = 1 - \quad (12)$$

для подмножеств

$$m_1, m_2 \in P(M_{ij}), \text{ если } m_1 \subseteq m_2, \text{ то } \phi(m_1) \leq \phi(m_2). \quad (13)$$

Таким образом, нечеткая мера представляет отображение подмножеств индексов n на промежуток $[0;1]$ и позволяет учитывать взаимодействие между компонентами векторов $q_{ij}; \tilde{g}; \tilde{q}_i$. В этом случае в качестве оператора агрегирования $\text{agr}(\cdot)$ целесообразно использовать дискретный интеграл Шоке по нечеткой мере (Detyniecki, 2000; Аверкин и др., 1986). Интеграл Шоке рассматривается как обобщение взвешенной суммы, обозначается FEV и интерпретируется как нечеткое математическое ожидание.

Для упрощения обозначений в дальнейшем изложении уберем нижние индексы i и j . С учетом обозначения (5) $\eta^n(x) = \min\left\{\sum_{k=1}^K f_{gk}^n(x)w_k; 1\right\}$ нечеткий интеграл Шоке от функции $\eta: X \rightarrow [0;1]$ на множестве $m \subseteq M$ по нечеткой мере ϕ_η , т.е. агрегирование для выражения (6) определяется по формуле

$$\eta = \text{agr}(\eta^1, \dots, \eta^n, \dots, \eta^N) = \sum_{n=1}^N \eta^{\pi(n)} (\phi_\eta(m_{\pi(n)}) - \phi_\eta(m_{\pi(n+1)})), \quad (14)$$

где $m_1 = M = \{1, \dots, N\}$; $B_{n+1} = \emptyset$; $\pi(n)$ — индекс-функция упорядочивания векторных компонент соответствий, проранжированных в порядке возрастания, значения которых представляются отношением $\eta^{\pi(1)} \leq \eta^{\pi(2)} \leq \dots \leq \eta^{\pi(N)}$, а подмножества компонент определяются формулой $m_{\pi(n)} = \{\pi(n); \pi(n+1); \dots; \pi(N)\}$.

Агрегирование для выражения (8) получается аналогично

$$\mu = \text{agr}(\mu^1, \dots, \mu^n, \dots, \mu^N) = \sum_{n=1}^N f_q^{\pi(n)} (\phi_\mu(m_{\pi(n)}) - \phi_\mu(m_{\pi(n+1)})). \quad (15)$$

Для вычисления интегралов (14) и (15) необходимо определить способ задания функции ϕ . Принято считать, что наиболее конструктивным способом задания функции ϕ является использование λ -нечеткой меры Сугено (Mesiar, Komorníková, 1997; Ягер, 1986). Нечеткая мера ϕ в данном случае рассматривается как мера важности соответствия значения параметра с индексом n

заданным характеристикам спроса и предложения. Такой подход только уточняет интерпретацию ϕ как меру важности параметра. Задание ϕ одинаково формируется как для функции ϕ_η , так и для функции ϕ_μ . Будем рассматривать множество индексов $M = \{n_1 = 1; \dots; n_N = N\}$ и его подмножества. Следуя (Ягер, 1986), введем понятие плотности λ -нечеткой меры, обозначаемое как $\phi(n), n = 1, \dots, N$. Нечеткая мера ϕ_λ , удовлетворяющая λ -правилу:

$$\phi_\lambda(m = n_i \vee n_j) = \phi(n_i) + \phi(n_j) + \lambda\phi(n_i)\phi(n_j), \quad (16)$$

с параметрами нормировки $-1 < \lambda < \infty$, алгебры всех подмножеств $(M, 2^M)$ строятся следующим образом.

Необходимо определить плотности $\phi(n) \in [0; 1]$ для $n = 1, \dots, N$. Для этого обычно используют экспертные методы (Grabisch, Nguyen, Walker, 1995; Grabisch, 1996), позволяющие ранжировать плотности, например с применением метода парных сравнений и переносом результатов ранжирования на шкалу $(0; 1)$. Будем считать, что в рассматриваемом случае продавцы и покупатели в состоянии оценить сравнительную важность характеристических параметров. Если плотности $\phi(n)$ известны, то параметр λ можно найти из уравнения (Аверкин и др., 1986):

$$\lambda + 1 = \prod_{n=1}^N (1 + \lambda\phi(n)); \quad \lambda > -1. \quad (17)$$

3. ПРИМЕР ВЫЧИСЛЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЯ СПРОСУ И ВЫГОДЕ ПРОДАВЦА

Задачей численной апробации является не только проверка работоспособности приведенных алгоритмов, но и пример интерпретации введенных понятий и категорий. Поэтому целесообразно рассматривать в упрощенном виде рынок конкретного однородного товара с конкретными характеристическими параметрами.

Пусть таким рынком будет рынок обуви с вектором характеристических параметров $q_j = (q_j^1; q_j^2; q_j^3)$, где компоненты интерпретируются следующим образом: q^1 — цена, определяемая на условной шкале $[1; 6]$; q^2 — размер, определяемый на условной шкале $[1; 6]$; q^3 — качество, определяемое наименованием производителей, которых эксперт расположил на условной шкале $[1; 6]$.

Пусть эксперты формализовали покупательский спрос, т.е. вектор лингвистических переменных $\tilde{g}_k = (\tilde{g}_k^1; \tilde{g}_k^2; \tilde{g}_k^3)$, нормированными треугольными функциями принадлежности для трех мелкооптовых покупателей ($K = 3$). Здесь и далее нормированная треугольная функция принадлежности задается в виде $(a; m; b)$, где a и b — соответственно левая и правая границы носителя, а m — мода треугольника.

Первая компонента — цена \tilde{g}^1 , желаемая покупателями:

$$f_{g_1^1}(x) = (2; 2; 5); \quad f_{g_2^1}(x) = (2; 6; 6); \quad f_{g_3^1}(x) = (1; 3; 4);$$

вторая — размер \tilde{g}^2 , желаемый покупателями:

$$f_{g_1^2}(x) = (2; 4; 6); \quad f_{g_2^2}(x) = (2; 6; 6); \quad f_{g_3^2}(x) = (3; 3; 6);$$

третья — качество \tilde{g}^3 , желаемое покупателями:

$$f_{g_1^3}(x) = (2; 4; 6); \quad f_{g_2^3}(x) = (2; 6; 6); \quad f_{g_3^3}(x) = (1; 1; 4);$$

объемы покупок каждого покупателя: $v_1 = 10$; $v_2 = 4$; $v_3 = 6$.

Продавец свои возможности по цене, размерам и качеству (т.е. вектор лингвистических переменных $\tilde{q} = (\tilde{q}^1; \tilde{q}^2; \tilde{q}^3)$) представил нормированными треугольными функциями принадлежности:

$$f_q^1(x) = (1; 6; 6); \quad f_q^2(x) = \begin{cases} 1, & E=3; \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases} \quad f_q^3(x) = (1; 6; 6).$$

Необходимо вычислить соответствия предложения продавца $q = (q^1; \dots; q^N)$ обобщенному спросу η и своей выгоде μ .



Рис. 1. Покомпонентное графическое отображение функций принадлежности обобщенного спроса

Таблица. Значения нечеткой меры ϕ_η и ϕ_μ

$\phi_\eta(\emptyset)$	0	$\phi_\mu(\emptyset)$	0
$\phi_\eta(1)$	0,64	$\phi_\mu(1)$	0,30
$\phi_\eta(2)$	0,58	$\phi_\mu(2)$	0,6
$\phi_\eta(3)$	0,4	$\phi_\mu(3)$	0,20
$\phi_\eta(1; 2)$	0,90	$\phi_\mu(1; 2)$	0,85
$\phi_\eta(1; 3)$	0,82	$\phi_\mu(1; 3)$	0,48
$\phi_\eta(2; 3)$	0,78	$\phi_\mu(2; 3)$	0,77
$\phi_\eta(1; 2; 3) = \phi_\eta(M)$	1	$\phi_\mu(1; 2; 3) = \phi_\mu(M)$	1

При заданных функциях принадлежности компонент покупательского спроса по формуле (5) посчитаны значения функций принадлежности компонент обобщенного спроса, кусочно-линейные аппроксимации которых показаны на рис. 1.

Пусть продавец выставил товар с характеристиками $q = (q^1 = 4; q^2 = 3; q^3 = 5)$. Подставляя в полученные аппроксимированные функции принадлежности обобщенного спроса значения компонент предложения $q = (q^1; q^2; q^3)$, получим локальные соответствия предложения обобщенному спросу: $\eta^1 = 0,3; \eta^2 = 0,6; \eta^3 = 0,45$.

Локальные соответствия выгоде продавца $\mu^n(x)$ рассчитываются подстановкой значений q в функции принадлежности компонент вектора $\tilde{q} = (\tilde{q}^1; \tilde{q}^2; \tilde{q}^3)$: $\mu^1 = f_q^1 = 0,6; \mu^2 = f_q^2 = 1; \mu^3 = f_q^3 = 0,8$.

Для агрегирования соответствий эксперты определили плотности нечеткой меры соответствия обобщенному спросу в виде: $\phi_\eta(1) = 0,64; \phi_\eta(2) = 0,58; \phi_\eta(3) = 0,4; \phi_\mu(1) = 0,3; \phi_\mu(2) = 0,6; \phi_\mu(3) = 0,2$.

Уравнение (17) с учетом условия $\lambda > -1$, применительно к соответствию обобщенному спросу, имеет корень $\lambda = -0,85$, а применительно к соответствию возможностям продавца — $\lambda = -0,29$. В соответствии с λ -правилом (17) получены значения нечеткой меры, представленные в таблице.

Агрегирование локальных компонент производится в соответствии с формулами (15) и (16):

$$\eta = \text{agr}(\eta^1; \eta^2; \eta^3) = FEV_\eta = 0,3(1 - 0,78) + 0,6(0,4 - 0) + 0,45(0,78 - 0,4) = 0,49;$$

$$\mu = \text{agr}(\mu^1; \mu^2; \mu^3) = FEV_\mu = 0,6(1 - 0,77) + 0,8(0,2 - 0) + 1(0,77 - 0,2) = 0,87.$$

Будем считать, что совокупный спрос никак не связан с выгодами продавца, поэтому для агрегирования соответствий η и μ можно использовать аддитивный оператор агрегирования (1). Принимая равнозначную важность указанных соответствий ($\alpha = 0,5$), получаем соответствие $S = 0,68$.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ПРЕДЛОЖЕНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Естественным желанием продавца является стремление реализовать как можно больше сделок на рынке, но так, чтобы при этом не потерять своей выгоды. Это желание отображает критерий (1). Выгодность отображается в нем явно, а ожидаемое число сделок — через вероятность, выражаемую через обобщенный спрос. В этой связи возникает вопрос, будет ли вероятность, ориентированная на обобщенный спрос, верно отображать ожидаемое число сделок. Ответ на этот вопрос можно получить двумя способами.

Если на рынке присутствует немного покупателей и индивидуальную вероятность совершения сделки с каждым покупателем можно оценить, нетрудно посчитать математическое ожидание числа сделок,

используя классические формулы теории вероятности. Индивидуальную вероятность сделки можно посчитать, используя вышеописанную методику агрегирования локальных соответствий.

Для рассматриваемого примера эти вероятности составят $p_1 = \eta_1 = 0,46$; $p_2 = \eta_2 = 0,42$; $p_3 = \eta_3 = 0,6$. Выписав полную группу событий, можно посчитать вероятность одной сделки — $P(1) = p_1(1-p_2)(1-p_3) + (1-p_1)p_2(1-p_3) + (1-p_1)(1-p_2)p_3$; двух сделок — $P(2) = p_1p_2(1-p_3) + (1-p_1)p_2p_3 + p_1(1-p_2)p_3$; трех сделок — $P(3) = p_1p_2p_3$. Математическое ожидание сделок — $\bar{n}_{\text{классич}} = P(1) \times 1 + P(2) \times 2 + P(3) \times 3 = 1,48$.

Очевидно, что при большом числе покупателей на рынке классический способ определения математического ожидания не годится. В этом случае можно воспользоваться имитационным моделированием для имитации многократного совершения сделок и подсчета ожидаемого числа сделок ($\bar{n}_{\text{имит}}$). Имитация была организована в среде Simulink Matlab. Для рассматриваемого примера при 100-кратном повторении сделок была получена оценка ожидаемого числа сделок $\bar{n}_{\text{имит}} = 1,49$, что практически совпадает с теоретической оценкой.

Включая в критерий (1) соответствие обобщенному спросу, мы предполагаем, что ожидаемое число сделок можно оценивать как произведение соответствия на число покупателей: $\bar{n} = \eta \times K = \eta \times 3 = 0,49 \times 3 = 1,47$.

Изменение трех оценок ожидаемого числа сделок при различных комбинациях локальных значений предложения показано на рис. 2. Как видно, изменение \bar{n} адекватно изменениям оценок, рассчитанных на основе теории и имитации, коэффициент корреляции \bar{n} с этими оценками составляет 0,99. Полученный результат дает основания для использования соответствия предложения обобщенному спросу при поиске лучшего предложения.

Выбор по критерию (1) был реализован с помощью генетического алгоритма в среде MatLab. Для рассматриваемого примера значение предложения «цена — 3; размер — 4, качество — 4» обеспечило максимум критерия (1) — $\eta = 0,66$, $\mu = 0,85$, $S = 0,75$.

Может оказаться, что для практического применения будет достаточно подбирать предложения, изменяя только цену товара. В этом случае появляется актуальная задача динамического ценообразования, решение которой обеспечивает продавцов рекомендациями по выбору цены предложения в условиях временных изменений спроса.

Представляется, что полученные результаты в виде информационной технологии поддержки принятия решений могут помочь развитию автоматизации разнообразных задач и процессов на товарных рынках B2B, а также организации государственных закупок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силлов В.Б., Тарасов В.Б. (1986). Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. Д.А. Поспелов (ред.). М.: Наука. [Averkin A.N., Batyrshin I.Z., Blishun A.F., Silov V.B., Tarasov V.B. (1986). *Fuzzy sets in artificial intelligence models*. D.A. Pospelov (ed.). Moscow: Nauka (in Russian).]
- Будяков А.Н., Гетманова К.Г., Матвеев М.Г. (2017). Решение задачи выбора ресурсов и их поставщиков в условиях противоречивости технических и коммерческих требований // *Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Системный анализ и информационные технологии*. № 2. С. 66. [Budyakov A.N., Getmanova K.G., Matveev M.G. (2017). Resources and their suppliers selection problem solving within contradictory technical and commercial requirements. *Bulletin of the Voronezh State University, series System analysis and information technologies*, 2, 66 (in Russian).]



Рис. 2. Изменение ожидаемого числа сделок при изменении предложения по трем оценкам: теоретической, имитационной и предложенной в данной работе

- Рис Э.** (2014). Бизнес с нуля: метод Lean Startup для быстрого тестирования идей и выбора бизнес-модели. Пер. с англ. М.: Альпина Паблишер. [**Ries E.** (2014). *The lean startup: How today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses*. Translated from the English. Moscow: Al'pina Publisher. Originally published by Currency, 2011.]
- Ягеп Р.Р.** (1986). Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения. М.: Радио и связь. [**Yager R.** (1986). *Fuzzy sets and possibility theory: Recent developments*. Moscow: Radio & Svjaz. Originally published by Pergamon Press, 1982 (in Russian).]
- Amin S.H., Zhang G.** (2012). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*, 39, 8, 6782–6791.
- Detyniecki M.** (2000). *Mathematical aggregation operators and their application to video querying*. (Unpublished doctoral dissertation). University of Paris VI, France.
- Grabisch M.** (1996). The application of fuzzy integrals in multicriteria decision making. *European Journal of Operational Research*, 89, 3, 445–456.
- Grabisch M., Nguyen H.T., Walker E.A.** (1995). *Fundamentals of uncertainty calculi with applications to fuzzy inference*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Matveev M., Podvalny S.** (2019). Models of centralized equipment procurement based on supplier-consumer matching. 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). *IEEE*, 151–154.
- Mendoza A., Ventura J.A.** (2012). Analytical models for supplier selection and order quantity allocation. *Applied Mathematical Modelling*, 36, 8, 3826–3835.
- Mesiar R., Komorníková M.** (1997). Aggregation operators. *Proceeding of the XI Conference on applied Mathematics PRIM' 96*. Institute of Mathematics, Novi Sad., 193–211.
- Roth A.E.** (2003). The origins, history, and design of the resident match. *Jama*, 289, 7, 909–912.
- Roth A.E., Rothblum U.G.** (1999). Truncation strategies in matching markets — in search of advice for participants. *Econometrica*, 67, 1, 21–43.

Information technologies for supply creation on e-trading platform with marketplace technology

© 2021 M.G. Matveev

M.G. Matveev,

Voronezh State University, Voronezh, Russia; e-mail: mgmatveev@yandex.ru

Received 25.05.2020

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 17-01-00251).

Abstract. The paper discusses the problem of automated creation of supply for the homogenous products with marketplace technology which ensures maximum accordance to generalized demand and supplier's profit. Computer formalization of supply and demand in the form of products' characteristic parameters vectors as linguistic variables is proposed. Algorithm of building membership function based on individual consumer demand is introduced, as well as method of calculation local component-wise matchings of supply and generalized demand. Aggregation operator of local matchings in the form of discrete Choquet integral with fuzzy measure is proposed. The choice of such aggregation operator is driven by obvious interaction of characteristic parameters of the products and unavailability of classic additive operators. Aggregated matching of supply to generalized demand is interpreted as probability of transaction. Supplier profit is presented in the form of functional-cost restrictions, represented as linguistic variables within the vector characteristic parameters, which is structurally equivalent to vector of demand. The matching value of supply to functional-cost restrictions is interpreted as supplier's profit. Selection of the suppliers' offers is based on the optimization criteria in the form of desired trade-off between probability of transaction and seller's profit. The mentioned selection is performed via genetic algorithm. Additional study is conducted, which confirms possibility to use developed formalization of the generalized demand for obtaining the satisfactory offer choice. In particular proposed approach can be used for dynamic pricing realization on e-commerce marketplace platforms. Introduced models and algorithms should be used for creation of information services on e-commerce platforms, as well as on Government procurement market.

Keywords: electronic trading platform, e-trading platform, supply and demand, linguistic variables, aggregation, Choquet integral, fuzzy measure, optimal supply selection.

JEL Classification: D81.

DOI: 10.31857/S042473880009719-9

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

**DCC-GARCH-модель для выявления долгосрочного и краткосрочного
эффектов финансового заражения в ответ на обновление кредитного рейтинга**

© 2021 г. Н.А. Пивницкая, Т.В. Теплова

Н.А. Пивницкая,
аспирант НИУ ВШЭ, Москва; e-mail: npivnickaya@hse.ru

Т.В. Теплова,
*Центр финансовых исследований и анализа данных (ЦНИАнД), НИУ ВШЭ; Москва;
e-mail: tteplova@hse.ru*

Поступила в редакцию 03.06.2020

Аннотация. В статье сопоставляется влияние двух видов информации (о потенциальном и фактическом изменении суверенного кредитного рейтинга) на эффекты заражения на финансовых рынках развивающихся стран Азиатского региона (9 стран). В работе анализируются как долгосрочные, так и однодневные трансграничные реакции рынков. Временной горизонт выборки — с 2000 по 2020 г. Показаны преимущества модели DCC-GARCH для адекватного учета особенностей поведения финансовых данных. Мы обнаружили, что влияние рейтингов и прогнозов сильнее выражено в долгосрочной перспективе, чем в краткосрочной. Были определены пары стран, фондовые рынки которых оказались наиболее чувствительными к информации об изменении суверенных рейтингов. Тайвань является важным ориентиром для инвесторов в Азиатском регионе. Снижение его суверенного рейтинга является сигналом к общему ухудшению инвестиционной среды в регионе и в первую очередь имеет негативный эффект на страны с самыми слабыми кредитными рейтингами: Индонезия, Филиппины и Индия. Экстраполяция явно выражена по паре Китай — Гонконг в обе стороны. Кроме того, были охарактеризованы особенности трансмиссионных процессов с положительными и отрицательными эффектами. Мы обнаружили, что в случае отрицательного эффекта заражения, когда наблюдается экстраполяция реакций на потенциальное или фактическое ухудшение кредитного качества страны за ее пределы, инвесторы склонны смещать силу реакции в сторону одного из факторов заражения: рейтинг или прогноз. В случае положительного эффекта заражения, когда потенциальное или фактическое улучшение кредитного качества страны воспринимается как сигнал к улучшению ситуации в другой стране, сила влияния информации об изменении рейтинга и прогноза имеет положительную зависимость: при более сильном (слабом) влиянии рейтинга наблюдается и более сильное (слабое) влияние прогноза.

Ключевые слова: заражение на финансовых рынках, развивающиеся финансовые рынки, суверенные рейтинги, DCC-GARCH.

Классификация JEL: F30; F32, G14; G15, G41.

DOI: 10.31857/S042473880014080-7

1. ВВЕДЕНИЕ

Суверенные кредитные рейтинги и их прогнозы могут играть важную роль в стимулировании и дестабилизации инвестиционных потоков. В условиях развивающихся рынков, где существуют проблемы асимметрии информации, рейтинги могут серьезно влиять на поведенческие реакции инвесторов. Примечательная особенность состоит в том, что при снижении суверенного кредитного рейтинга одной страны часто наблюдается снижение доходности от активов на соседних развивающихся рынках. Этот аспект имеет важное значение для решений инвесторов о распределении портфеля. Кроме того, изучение эффектов заражения и перетекания волатильности на финансовых рынках имеет важное значение при решении задач оценки условных вероятностей в рамках оценки деривативов или разнообразных мер риска, например VaR.

Целью исследования является выявление особенностей влияния информации о суверенных кредитных рейтингах (измененных или прогнозируемых к изменению) на распространение финансового заражения на рынках акций развивавшихся стран азиатского региона. Под *эффектом заражения* (или просто «заражением») мы понимаем стандартное определение

понятия «*финансовое заражение*», которое используется в работах (Dornbusch, Park, Claessens, 2000; Kaminsky, Schmukler, 2002; Bae, Karolyi, Stulz, 2003; Longstaff, 2010; и др.).

Финансовое заражение — ситуация на финансовом рынке, когда происходит значительное усиление взаимосвязей между финансовыми активами (акций, облигаций, свопов, валюты) рассматриваемых рынков после реализации внешнего шока на одном из рынков. Для достижения цели исследования проводится эмпирический анализ сопоставления влияния двух источников информации: прогнозы к изменению кредитного рейтинга стран и фактический суверенный рейтинг, присвоенный международным рейтинговым агентством S&P.

В рамках данной работы ставятся следующие задачи: оценить моментальные (однодневные) и долгосрочные эффекты заражения между странами Азиатского региона, выявить наиболее чувствительные рынки к информации о рейтингах и изучить поведенческие особенности восприятия рынками рейтинговой информации на основе данных, включающих последние 20 лет.

2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В научной литературе на протяжении последних двух десятилетий появляется все больше работ, так или иначе связанных с изучением эффектов заражения на финансовых рынках. Повышенный интерес к данной тематике можно объяснить усилением глобализации финансовых рынков, растущей неопределенностью и высокой стоимостью сбора достоверных данных, за счет чего обостряется чувствительность поведенческих реакций финансовых рынков на поступающую информацию. В условиях развивающихся рынков, где присутствует сильная асимметрия информации, проблема финансовых заражений еще более актуальна. В работе (Baig, Goldfajn, 1999) выявлено наличие эффектов заражения в период азиатского кризиса 1997 г. на рынках Индонезии, Кореи, Малайзии, Филиппин и Таиланда. Авторы пришли к выводу, что изучаемые эффекты заражения были более выражены в отношении валютных курсов и спредов облигаций, чем доходностей акций. В (Park, Song, 2000) авторы также проанализировали характер распространения кризиса 1997 г. в Азиатском регионе на основе коэффициентов корреляции остатков модели авторегрессии. Результаты анализа показали, что кризис в Юго-Восточной Азии непосредственно не сказался на ухудшении экономической ситуации в Южной Корее, однако особенным образом воздействовал на экономику Тайваня (КНР), спровоцировав там затяжной кризис. В работе (Edwards, 2000) были использованы VAR-модели и проведена декомпозиция дисперсии для изучения взаимосвязи между процентными ставками Чили и других развивающихся рынков в период 1994–1999 гг. Автор подтвердил предположение о наличии трансмиссионных эффектов на этих рынках во время кризиса 1997 г. В (Nagayasu, 2001) было выявлено, что волатильность фондового рынка Таиланда спровоцировала повышение волатильности филиппинской валюты во время кризиса 1997 г. на основе тестов на единичные корни, моделей VAR и тестов причинности Грейнджера. Авторы (Bazdresch, Werner, 2001) использовали модели VAR и разностной декомпозиции для объяснения передачи шоков доходности между фондовыми рынками и обменными курсами в период кризисов в Азии, России и Бразилии. В работах (Dreher, Herz, Karb, 2006; Herz, Tong, 2003) был сделан вывод о том, что возникновению кризисов на биржевых рынках предшествовала нестабильность на долговых рынках.

Академические исследования, занятые изучением воздействия рейтинговой информации на процессы заражения на финансовых рынках, можно условно разделить на два направления. В рамках первого направления авторы изучают особенности влияния информации о рейтингах на внутреннем финансовом рынке страны, испытывающей пересмотр рейтинга (Cantor, Packer, 1996; Reison, Maltzan, 1999). Некоторые исследования показывают, что реакция рынка облигаций на негативные новости более выражена, чем на положительные (см., например, (Brooks et al., 2004)). Однако в последнее время интерес набирает изучение так называемых *трансграничных побочных эффектов* на финансовых рынках. Это направление литературы исследует распространение воздействия изменений рейтинга на финансовый рынок и на экономику за пределами соответствующей страны.

Работа (Gande, Parsley, 2014) посвящена определению влияния уровня развития инфраструктуры рынка и прозрачности на степень заражения на финансовых рынках. Авторы приходят к выводу, что рост доступности информации о государственной политике, совершенствование стандартов бухгалтерского учета и повышение уровня раскрытия информации правительствами и фирмами может снизить реакцию периферийных рынков на шоки от глобальных финансовых центров.

В (Arezki, Candelon, Sy, 2011) изучается эффект заражения во время европейского долгового кризиса. Авторы обнаруживают, что понижения рейтингов в еврозоне повлекли значительные побочные эффекты на рынках акций и кредитных дефолтных свопов (CDS). Объявления изменений кредитных рейтингов серьезно повлияли на распределение капитала во время кризиса в еврозоне в 2011–2012 гг. (Baum, Schäfer, Stephan, 2016). Понижения рейтингов приводили к тому, что инвесторы перераспределяли свои портфели по странам-членам в более стабильные ценные бумаги, что повлияло на доходность долгосрочных суверенных облигаций Франции, Италии, Германии и Испании. В (Kaminsky, Schmukler, 2002) сделан вывод о том, что во время финансового кризиса в Азии в 1997–1998 гг. объявления рейтинговых агентств внесли существенный вклад в негативные побочные эффекты на рынках акций. В (Ismailescu, Kazemi, 2010) выявлено более сильное воздействие объявлений о повышении рейтинга, чем о понижении на основе выборки рынков CDS-стран с развивающейся экономикой.

Отметим, что несмотря на проявленный интерес научного сообщества к исследованию заражений на финансовых рынках, влияние рейтинговой информации на трансмиссионные процессы изучено недостаточно.

По методологии и объекту исследования наша работа продолжает направление, заданное (Christopher, Kim, Wu, 2012). Мы включили в выборку финансовый рынок Китая как ключевой развивающихся стран Азиатского региона. Выборка нашего анализа охватывает девять стран за период с 2000 по 2020 г. Мы моделируем эффекты заражения отдельно для каждой пары рассматриваемых нами стран и определяем характерные особенности трансмиссионных процессов, протекающих в Азиатском регионе.

3. ОПИСАНИЕ НАБОРА ДАННЫХ

3.1. Ежедневные котировки индексов акций по странам

Выборка данных охватывает период с 1 марта 2000 г. по 1 марта 2020 г. и включает информацию стран Азиатского региона. Страны включались в выборку по следующим критериям:

- 1) страна относится к развивающейся группе в соответствии с ЕМИС¹;
- 2) имеются данные национального индекса рынка акций за весь период выборки;
- 3) страна испытала пересмотр суверенного кредитного рейтинга Standard and Poor's (S&P) хотя бы один раз в течение периода выборки.

Страны, включенные в выборку, приведены в табл. 1. От ежедневных котировок индексов акций по отобранным странам был осуществлен переход к логарифмическим доходностям.

3.2. Данные о суверенных рейтингах

В качестве информации о суверенных кредитных рейтингах используются исторические долгосрочные суверенные рейтинги и прогнозы к изменениям рейтингов S&P в иностранной валюте по странам выборки, поскольку известно, что S&P является наиболее активным рейтинговым агентством. Прогнозы отличаются от фактических рейтингов, поскольку они представляют оценки потенциальных изменений в направлении кредитного рейтинга в среднесрочной перспективе (как правило, в течение периода от двух месяцев до двух лет).

Шкала рейтингов S&P варьирует от AAA (наивысшее кредитное качество) до D/SD (дефолт/выборочный дефолт). Прогнозы, связанные с каждым кредитным рейтингом, могут быть позитивными, стабильными или негативными. Как и другие авторы, мы используем стандартное линейное

Таблица 1. Страны, включенные в выборку

Страна	Обозначение	Страна	Обозначение
Гонконг	HNG	Индия	IND
Китай	CHI	Индонезия	IDO
Тайвань (КНР)	TAI	Малайзия	MAL
Таиланд	THA	Филиппины	PHI
Южная Корея	KOR		

¹ <http://www.securities.com/>

преобразование рейтинга для получения временных рядов для каждой страны. В Приложении в табл. А1 показано преобразование рейтинговой шкалы S&P в количественную оценку, а в табл. А2 — распределение положительных и отрицательных изменений суверенных рейтингов и прогнозов по суверенному долгу. Прогнозы на суверенные рейтинги принимают следующие значения: «1» — позитивный прогноз по стране; «-1» — негативный прогноз по стране; «0» — отсутствие прогноза по стране. Описательная статистика переменных по странам приведена в Приложении в табл. А3.

4. МЕТОДОЛОГИЯ

В данном исследовании расчет рядов условных динамических корреляций между парами рыночных индексов производится на основе DCC-GARCH-модели, впервые описанной в (Engle, 2000).

DCC-GARCH-модель может быть представлена в виде:

$$H_t = D_t R_t D_t = \begin{bmatrix} h_{ii,t} & h_{ij,t} \\ h_{ji,t} & h_{jj,t} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где H_t — условная ковариационная матрица; R_t — условная корреляционная матрица; D_t — двумерная GARCH-модель,

$$D_t = \text{diag} \left\{ \sqrt{h_{i,t}} \right\}. \quad (2)$$

Составляющие D_t процесса можно записать как одномерные GARCH(1,1)-модели

$$h_{i,t} = \omega_i + \alpha_i r_{it-1}^2 + \beta_i h_{it-1}, \quad (3)$$

где $\alpha_i + \beta_i < 1$. Матрица R_t вычисляется по формуле

$$R_t = Q_t^{*-1} Q_t Q_t^{*-1}, \quad (4)$$

где $Q_t = (1 - \alpha - \beta) \bar{Q} + \alpha (\epsilon_{t-1} \epsilon'_{t-1}) + \beta Q_{t-1}$, $\alpha + \beta < 1$,

$$Q_t^* = \begin{bmatrix} \sqrt{q_{11}} & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{q_{22}} & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{q_{33}} \end{bmatrix},$$

\bar{Q} — безусловная ковариация стандартизированных остатков.

Динамические условные корреляции рассчитываются по формуле:

$$\rho_{ij,t} = h_{ij,t} / \sqrt{h_{ii,t} h_{jj,t}}. \quad (5)$$

Парные ряды динамических условных корреляции (DCC) используются в качестве зависимых переменных.

Следующим шагом мы моделируем ежедневные колебания условных корреляций как функцию суверенного рейтинга и прогноза с помощью LTE-модели (long-term effect):

$$DCC_{ij,t} = \alpha_{oi} + \alpha_{1i} Rating_{i,t} + \alpha_{2i} Outlook_{i,t} + \epsilon_{i,t}, \quad (6)$$

где для момента времени t : $DCC_{ij,t}$ — динамическая условная корреляция между индексами i и j ; $Rating_{i,t}$ — кредитный суверенный рейтинг в числовом выражении страны i ; $Outlook_{i,t}$ — прогноз на повышение/понижение кредитного суверенного рейтинга в числовом выражении страны i ; $\epsilon_{i,t}$ — случайная ошибка модели LTE для страны i .

Кроме того, мы оцениваем мгновенную реакцию рынка на изменения кредитного рейтинга и прогноза с помощью модели TE (transitory effect):

$$\Delta DCC_{ij,t} = \beta_{oi} + \beta_{1i} \Delta Rating_{i,t} + \beta_{2i} \Delta Outlook_{i,t} + \beta_{3i} \epsilon_{i,t-1} + \beta_{4i} FXVOL_{i,t} + \beta_{5i} VIX_{i,t} + u_{i,t}, \quad (7)$$

где $\Delta DCC_{ij,t}$ — разница между значениями динамических условных корреляций пары индексов i и j , посчитанными в момент времени t и $t-1$; $\Delta Rating_{i,t}$ — разница между значениями суверенного рейтинга страны i в момент времени t и $t-1$; $\Delta Outlook_{i,t}$ — разница между значениями прогноза суверенного рейтинга страны i в момент времени t и $t-1$; $\epsilon_{i,t-1}$ — случайная ошибка LTE-модели страны i в момент времени $t-1$ (лаг первого порядка); $FXVOL_{i,t}$ — волатильность обменного курса валюты страны i и доллара США в момент времени t (используется в качестве контрольной переменной); $VIX_{i,t}$ — индекс волатильности страны i в момент времени t , используется в качестве

контрольной переменной и является индикатором ожидания волатильности (изменчивости) рынка; $u_{i,t}$ — случайная ошибка ТЕ-модели для страны i в момент времени t .

В качестве зависимой переменной берется разность первого порядка рядов динамических условных корреляций, в качестве независимых переменных — разницы первого порядка рядов рейтинговой информации, используемых в LTE-модели, а также контрольные переменные, доступные с ежедневной периодичностью, которые могут серьезно повлиять на краткосрочную динамику рынков.

Модели LTE и TE оцениваются отдельно по каждой паре стран, включенных в выборку.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 2, 3 приводятся оценки коэффициентов при переменных в моделях LTE и TE для Гонконга (КНР). В первом столбце приведены страны, рейтинговая информация по которым включалась в модели TE и LTE. Оценки коэффициентов для других стран предоставляются по запросу.

Статистическая значимость коэффициентов α_1 и α_2 свидетельствует о подтверждении наличия долгосрочных эффектов воздействия рейтинга и прогноза его изменения на динамическую корреляцию между фондовыми индексами практически для всех стран Азиатского региона. В то же самое время значимость коэффициентов β_1 и β_2 для модели мгновенного эффекта подтвердилась лишь для небольшого числа пар фондовых индексов азиатских стран. Данные результаты

Таблица 2. Коэффициенты LTE модели для Гонконга

Источник заражения	Целевая переменная: DCC в паре с HGK		
	α_0	α_1	α_2
CHN	-0,483545*** (0,0000)	0,063954*** (0,0000)	-0,04255*** (0,0000)
THA	0,248359*** (0,0000)	0,028411*** (0,0000)	-0,02858*** (0,0000)
TAI	2,0421363*** (0,0000)	-0,1135868*** (0,0000)	-0,00078 (0,7843)
MAL	-0,129484*** (0,0000)	0,046956*** (0,0000)	0,046173*** (0,0000)
IND	0,153088*** (0,0000)	0,040970*** (0,0000)	0,017053*** (0,0000)
KOR	-0,0353742*** (0,0000)	-0,000457 (0,1360)	0,00350* (0,0222)
IDO	0,429820*** (0,0000)	0,00948* (0,02845)	0,00550*** (0,0000)
PHI	0,038759*** (0,0000)	0,02858*** (0,0000)	0,02308*** (0,0000)

Примечание. Символы «*», «**», «***» соответствуют значимости на уровне 10, 5 и 1% соответственно.

В круглых скобках приведены стандартные ошибки.

Таблица 3. Коэффициенты TE модели для Гонконга

Источник заражения	Целевая переменная: Δ DCC в паре с HGK					
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
CHN	0,0002063* (0,0499)	0,0011800 (0,8687)	0,0005904 (0,9071)	-0,0980338 (0,3618)	-5,2268e-03** (0,0063)	-0,0024015 (0,1089)
THA	-5,301e-04 (0,1643)	6,252e-03 (0,6378)	-1,751e-03 (0,8861)	-4,325e-02 (0,0805)	3,444e-05 (0,7582)	-2,067e-02*** (0,000)
TAI	1,831e-03** (0,0040)	-4,974e-02*** (3,15e-05)	-1,266e-02* (0,0661)	8,785e-04*** (0,0000)	-9,738e-05** (0,0012)	9,220e-03*** (0,0007)
MAL	2,701e-04** (0,0000)	2,448e-03 (0,2584)	3,750e-04 (0,9791)	-1,290e-03* (0,0395)	-1,599e-02, (0,0694)	-1,919e-02*** (3,81e-08)
IND	1,039e-03*** (0,0000)	6,252e-03 (0,7144)	1,377e-03 (0,8457)	-1,450e-02* (0,03486)	-5,213e-05* (0,0182)	-2,924e-02*** (2,82e-14)
KOR	7,506e-04*** (0,0000)	-8,011e-03 (0,3497)	-1,758e-03 (0,8846)	7,505e-02*** (0,0000)	-5,636e-05, (0,0995)	-1,813e-01*** (0,0000)
IDO	4,395e-03** (0,0062)	3,526e-05 (0,1435)	2,776e-03 (0,5277)	-3,506e-02* (0,0345)	-7,137e-04* (0,0081)	-1,244e-02*** (7,62e-13)
PHI	2,102e-04 (0,6762)	-2,161e-03 (0,4957)	-1,587e-03 (0,8468)	7,085e-02 (0,3588)	-3,368e-05 (0,3565)	-0,813e-06 (0,3977)

Примечание. Символы «*», «**», «***» соответствуют значимости на уровне 10, 5 и 1% соответственно.

В круглых скобках приведены стандартные ошибки.

Таблица 4. Рейтинги и прогнозы S&P по Тайваню (КНР)

Рейтинг	Прогноз	Дата обновления
AA-	Стабильный	10 июня 2010 г.
AA-	Негативный	14 апреля 2009 г.
AA-	Стабильный	11 апреля 2008 г.
AA-	Негативный	30 ноября 2004 г.
AA-	Стабильный	18 декабря 2002 г.
AA	Негативный	26 июля 2001 г.
AA+	Негативный	6 декабря 2000 г.

соотносятся с результатами работы (Christopher, Kim, Wu, 2012), где авторы использовали модели долгосрочного и краткосрочного эффектов для корреляций классов активов между определенной страной и регионом в целом (в обобщенном виде).

Рассмотрим интерпретацию знаков коэффициентов. Значимые положительные коэффициенты означают, что инвесторы интерпретируют повышение кредитного качества не только как улучшение перспектив фондового рынка в стране, которая переживает это повышение, но также экстраполируют эту информацию за ее пределы. При этом понижение кредитного качества воспринимается как специфичное событие, характерное только для страны, переживающей понижение рейтинга. Значимые отрицательные коэффициенты, в свою очередь, предполагают, что улучшение кредитного качества страны рассматривается инвесторами как специфичное событие данной страны, не распространяющее свое влияние за ее пределами. Однако падение кредитного рейтинга интерпретируется как сигнал потенциального повышения рисков инвестирования и в другие страны региона.

Перейдем к оцененным коэффициентам модели мгновенного эффекта (TE). Было выявлено, что понижение рейтинга Тайваня (КНР) воспринимается как сильный сигнал общего ухудшения инвестиционной среды в регионе, что в первую очередь негативно сказывается на странах с самыми слабыми кредитными рейтингами в регионе: Индонезия, Филиппины и Индия. На момент начала выборки Тайвань имеет самый высокий рейтинг (AA+ в соответствии в S&P) среди стран выборки и продолжает оставаться высоким. Исторические данные изменения рейтингов и прогнозов S&P Тайваня приведены в табл. 4. Данный факт может лежать в основе восприятия инвесторами рейтинга Тайваня как ориентира инвестиционной среды региона в целом. Было также выявлено наличие экстраполяции информации об улучшении кредитного качества Китая на Гонконг, и наоборот, Гонконга на Китай. Данный эффект объясняется сохранением значительной политической и экономической зависимости Китая и Гонконга, несмотря на их формальную автономность в рамках курса «Одна страна — две системы».

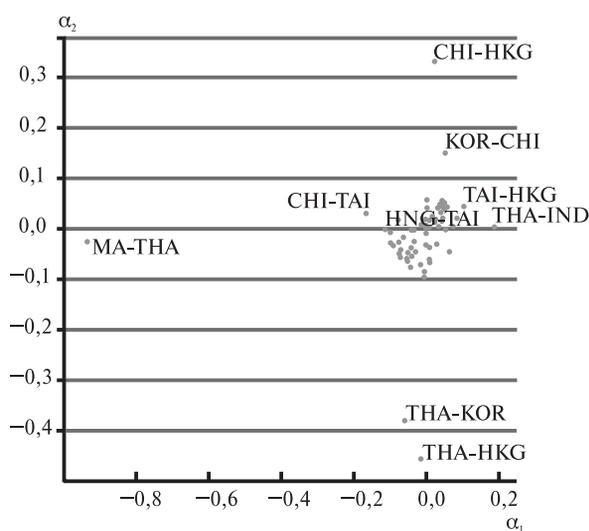


Рис. 1. Распределение коэффициентов в модели долгосрочного эффекта (LTE)

Перейдем к рассмотрению значимых коэффициентов при переменных в модели долгосрочных эффектов (LTE). На рис. 1 обозначены пары стран, для которых оказался значительным эффект влияния информации об изменении рейтинга или прогноза в LTE-модели. Парам стран со значительным эффектом признаются те, у которых оба коэффициента в модели LTE не равны нулю и хотя бы один из них лежит за диапазоном $(-0,1; 0,1)$. Ось X отражает влияние обновления рейтинга, ось Y — изменение прогноза. В каждой паре первая страна — акцептор заражения, вторая страна — источник заражения, в которой происходит обновление рейтинга или прогноза.

Анализируя график на рис. 1, можно отметить, что не наблюдается пар, в которых одновременно присутствовал бы значительный эффект как рейтинга, так и прогноза, т.е. нет пар, где оба коэффициента лежат за диапазоном $(-0,1; 0,1)$.

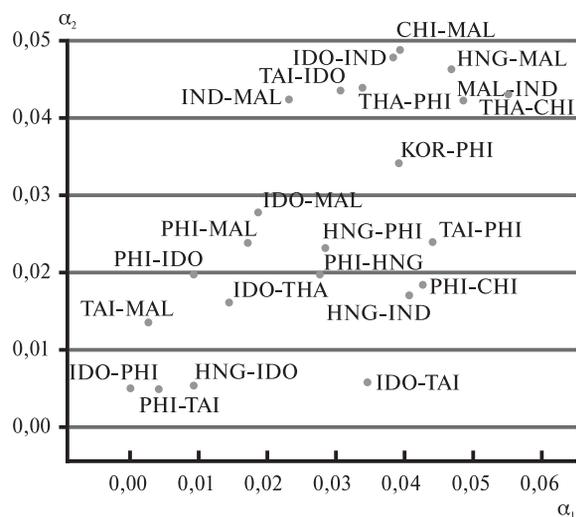


Рис. 2. Пары стран группы 1

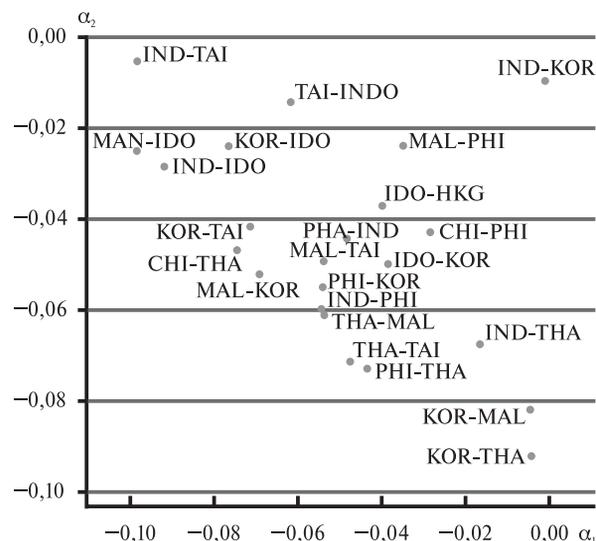


Рис. 3. Пары стран группы 2

Пары стран, где присутствует значительный положительный эффект прогноза (высокое значение коэффициента α_2): Китай — Гонконг и Корея — Китай. Это означает, что в долгосрочной перспективе инвесторы воспринимают прогноз повышения суверенного рейтинга Гонконга как сигнал улучшения инвестиционной среды в Китае. Аналогичный положительный эффект наблюдается на финансовом рынке Кореи при повышении рейтинга Китая. Именно рейтинговый прогноз в данных парах является триггером эффекта заражения. Иными словами, эффект заражения проявляется на этапе появления прогноза к изменению рейтинга, а в момент фактического обновления рейтинга проявляется менее выражено, о чем свидетельствует более низкий коэффициент α_1 .

Выявленные пары стран со значительным отрицательным эффектом прогноза: Таиланд — Корея и Таиланд — Гонконг. Таким образом, негативные рейтинговые прогнозы в Корею и Гонконг воспринимаются как сильный сигнал к потенциальному ухудшению инвестиционной среды в Таиланде. В данном случае эффект заражения также в большей мере проявляется на этапе появления прогноза к изменению рейтинга, чем при фактическом обновлении рейтинга.

Пары стран со значительным положительным эффектом рейтинга: Таиланд — Индия, Тайвань — Гонконг. Пары стран со значительным отрицательным эффектом рейтинга: Малайзия — Таиланд, Гонконг — Тайвань, Китай — Тайвань. В данных парах наблюдаются аналогичные эффекты, однако инвесторы серьезнее воспринимают информацию об изменении рейтинга, а не его прогноза.

Обратим внимание на коэффициенты для центральных пар стран на рис. 1, где оба коэффициента лежат в диапазоне $(-0,1; 0,1)$, разделив их на 4 сектора по знаку коэффициентов согласно табл. 5.

Рассмотрим характер зависимости между влиянием информации о прогнозе и рейтинга. На рис. 2, где оба коэффициента положительные, прослеживается положительная зависимость, а на рис. 3, где оба коэффициента отрицательные, ярче выражена отрицательная зависимость.

Таким образом, в случае положительного эффекта заражения, когда потенциальное или фактическое улучшение кредитного качества страны воспринимается как сигнал к улучшению ситуации в другой стране, сила влияния информации об изменении рейтинга и прогноза имеет положительную зависимость. При более сильном (слабом) влиянии рейтинга наблюдается и более сильное (слабое) влияние прогноза. Однако в случае отрицательного эффекта заражения, когда наблюдается экстраполяция реакций на потенциальное или фактическое ухудшений кредитного качества

Таблица 5. Распределение коэффициентов по группам

Группа	Знак α_1	Знак α_2
1	> 0	> 0
2	< 0	< 0
3	≥ 0	≤ 0
4	≤ 0	≥ 0

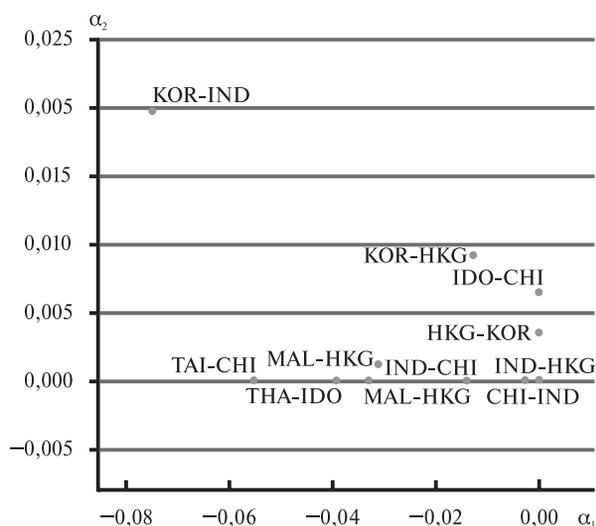


Рис. 4. Пары стран группы 3

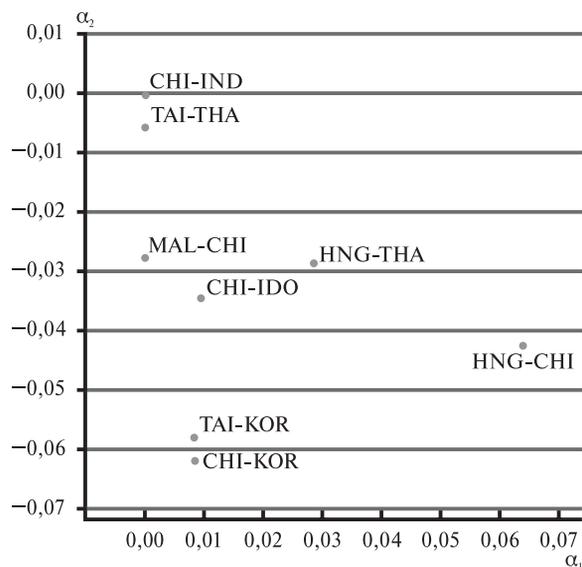


Рис. 5. Пары стран группы 4

страны за ее пределы, инвесторы склонны смещать силу реакции в сторону одного из факторов заражения: рейтинг или прогноз.

Число пар стран, находящихся на рис. 4–5 заметно меньше, чем на рис. 2–3. Это говорит о том, что рейтинги и прогнозы в большинстве случаев одинаково влияют в рамках одной пары стран, подразумевая, что оба коэффициента либо положительны, либо отрицательны. Таким образом, учитывая, что изменения и рейтингов, и прогнозов отражают информацию одного характера — изменение кредитоспособности определенной страны, реакция инвесторов на такие события в основном имеет одно направление, хотя может значительно отличаться по силе. Можно заметить, что многие пары стран присутствуют на рис. 4–5 не из-за разной направленности знаков коэффициентов, а за счет того что один или оба коэффициента равны нулю, как, например, в случае пары Китай — Индия. В этом случае один или оба фактора заражения оказались незначимыми. Данное наблюдение еще сильнее подтверждает, что факторы, как правило, действуют в одном направлении для рассматриваемой пары стран.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный нами эмпирический анализ подтверждает, что международные суверенные рейтинговые агентства играют важную роль в формировании структуры динамических корреляций на азиатских рынках.

Динамика движения акций изучаемых стран гораздо сильнее связана с обновлениями рейтингов и прогнозов в долгосрочной перспективе, чем в краткосрочной. Сильное влияние на эффекты заражения в Азиатском регионе оказывает Тайвань. Понижение суверенного кредитного рейтинга Тайваня негативно сказывается в первую очередь на странах с низкими рейтингами: Индонезия, Филиппины и Индия. Кроме того, было также выявлено, что инвесторы экстраполируют информацию о повышении кредитных рейтингов с рынка Китая на Гонконг, и наоборот. Для других пар значимость коэффициентов в модели мгновенного эффекта не подтвердилась.

В работе были охарактеризованы трансмиссионные процессы с положительными и отрицательными эффектами. Было выявлено, что в случае, когда потенциальное или фактическое ухудшение кредитного качества страны воспринимается как сигнал к ухудшению ситуации в другой стране, инвесторы более склонны смещать силу реакции на один из факторов заражения — рейтинг или прогноз. В случае положительного эффекта заражения, когда наблюдается экстраполяция реакций на потенциальное или фактическое повышения кредитного качества страны за ее пределы, сила влияния информации об изменении рейтинга и прогноза имеет положительную зависимость: при более сильном (слабом) влиянии рейтинга наблюдается и более сильное (слабое) влияние прогноза.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица А1. Линейное преобразование шкалы S&P

Рейтинг S&P	Численное преобразование	Рейтинг S&P	Численное преобразование
AAA	16	BBB–	7
AA+	15	BB+	6
AA	14	BB	5
AA–	13	B	4
A+	12	CCC	3
A	11	CC	2
A–	10	C	1
BBB+	9	D	0
BBB	8		

Таблица А2. Распределение изменений рейтинговой информации по странам Азии

Страна	Рейтинг S&P		Прогноз	
	повышение	понижение	позитивный	негативный
Гонконг	6	0	3	1
Китай	6	0	5	2
Тайвань (КНР)	0	2	0	4
Таиланд	2	0	3	2
Южная Корея	6	0	2	0
Индия	2	0	3	3
Индонезия	11	3	7	3
Малайзия	2	0	3	0
Филиппины	5	1	3	3

Таблица А3. Описательная статистика рейтинговых переменных по странам

Переменная	Среднее	Стандартное отклонение	Медиана	Минимальное	Максимальное
Китай					
Rating S&P	14,97	2,21	16,00	11,00	17,00
Outlook S&P	–0,27	1,04	–1,00	–1,00	1,00
CHI Stock Index	0,000	0,019	0,000	–0,144	0,167
Гонконг					
Rating S&P	13,08	3,41	14,00	5,00	16,00
Outlook S&P	0,01	0,38	0,00	–1,00	1,00
HNG Stock Index	0,000	0,015	0,000	–0,141	0,162
Индия					
Rating S&P	6,46	0,82	7,00	5,00	7,00
Outlook S&P	–0,20	0,58	0,00	–1,00	1,00
IND Stock Index	0,000	0,018	0,000	–0,156	0,211
Малайзия					
Rating S&P	9,43	1,62	10,00	7,00	12,00
Outlook S&P	0,22	0,68	0,000	0,000	1,000
MAL Stock Index	0,000	0,008	0,000	–0,102	0,067
Филиппины					
Rating S&P	10,84	1,48	11,00	9,00	14,00
Outlook S&P	0,18	0,41	0,00	1,00	–1,00
PHI Stock Index	0,000	0,013	0,000	–0,144	0,162
Индонезия					
Rating S&P	7,31	2,76	9,00	1,00	13,00
Outlook S&P	0,04	0,72	0,00	1,00	–1,00
IDO Stock Index	0,000	0,035	0,000	–0,294	0,313

Окончание таблицы А3

Таиланд					
Rating S&P	8,59	0,77	9,00	7,00	9,00
Outlook S&P	0,00	0,468	0,00	-1,00	1,00
THA Stock Index	0,00	0,02	0,00	-0,18	0,24
Тайвань (КНР)					
Rating S&P	13,21	0,55	13,00	13,00	15,00
Outlook S&P	-0,32	0,46	0,00	-1,00	0,00
TAI Stock Index	0,000	0,017	0,000	-0,132	0,154
Южная Корея					
Rating S&P	11,29	1,69	11,00	14,00	8,00
Outlook S&P	0,13	0,33	0,00	1,00	0
KOR Stock Index	0,000	0,024	0,001	-0,206	0,251

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Arezki R., Candelon B., Sy A.** (2011). Sovereign rating news and financial markets spillovers: Evidence from the European debt crisis. *IMF Working Papers, International Monetary Fund*, 11/68.
- Бае К.Н., Karolyi G., Stulz R.** (2003). A new approach to measuring financial contagion. *Review of Financial Studies*, 16 (3), 717–763.
- Baum C., Schäfer, D., Stephan A.** (2016). Credit rating agency downgrades and the Eurozone sovereign debt crises. *Journal of Financial Stability*, 24 (7), 117–131.
- Baig T., Goldfajn I.** (1999). Financial market contagion in the Asian crisis. *IMF Staff Papers*, 46 (2), 3.
- Bazdresch S., Werner A.** (2001). Contagion of International financial crises: The case of Mexico. *International Financial Contagion*. Claessens E., Forbes K. (eds.). Boston: Kluwer Academic Publishers. DOI: 10.1007/978-1-4757-3314-3_12
- Brooks R., Faff R., Hillier D., Hillier J.** (2004). The national market impact of sovereign rating changes. *Journal of Banking & Finance*, 28 (1), 233–250.
- Cantor R., Packer F.** (1996). Sovereign risk assessment and agency credit ratings. *European Financial Management*, 2 (2), 247–256.
- Christopher R., Kim S.J., Wu E.** (2012). Do sovereign credit ratings influence regional stock and bond market interdependencies in emerging countries? *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 22 (4), 1070–1089. DOI: 10.1016/j.intfin.2012.01.003
- Dornbusch R., Park Y.C., Claessens S.** (2000). Contagion: Understanding how it spreads. *World Bank Research Observer*, 15 (2), 177–197.
- Dreher A., Herz B., Karb V.** (2006). Is there a causal link between currency and debt crises? *International Journal of Finance and Economics*, 11 (4), 305–25. DOI: 10.1002/ijfe.300
- Edwards S.** (2000). Interest rates, contagion and capital controls. *Working Papers No. 7801*, NBER, National Bureau of Economic Research.
- Engle R.** (2000). Dynamic conditional correlation — a simple class of multivariate GARCH Models. *University of California at San Diego, Economics Working Paper Series*. Department of Economics, UC San Diego.
- Gande A., Parsley D.** (2014). Sovereign credit ratings, transparency and international portfolio flows. *Working Papers 122014*. Hong Kong Institute for Monetary Research.
- Herz B., Tong H.** (2003). The interactions between debt and currency crises — common causes or contagion? *NBER Working Paper No. 9190*. DOI: 10.2139/ssrn.1002543
- Ismailescu I., Kazemi H.** (2010). The reaction of emerging market credit default swap spreads to sovereign credit rating changes. *Journal of Banking & Finance*, 34 (12), 2861–2873.
- Kaminsky G., Schmukler S.** (2002). Emerging market instability: Do sovereign ratings affect country risk and stock returns? *World Bank Economic Review*, 16 (2), 171–195.
- Longstaff F.** (2000). The subprime credit crisis and contagion in financial markets. *Journal of Financial Economics*, 97 (3), 436–450.
- Nagayasu J.** (2001). Currency crisis and contagion: Evidence from exchange rates and sectoral stock indices in Philippines and Thailand. *Journal of Asian Economics*, 14, 527–545.

- Park Y., Song C.** (2000). Financial contagion in the East Asian crisis: With special reference to the Republic of Korea. *International Financial Contagion*. Claessens S., Forbes K. (eds.). Boston: Kluwer Academic Publishers, 2 (2), 88–101.
- Reisen H., Maltzan P.** (1999). Boom and Bust and Sovereign Ratings. *International Finance*, 2 (2), 273–93.

DCC-GARCH-model for identifying long-term and short-term effects of financial contagion in response to the credit rating updates

© 2021 N.A. Pivnitskaya, T.V. Teplova

N.A. Pivnitskaya,

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

T.V. Teplova,

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

Received 03.06.2020

Abstract. Our research investigates the impact of potential and actual changes in the sovereign credit ratings on the “contagion effects” in developing financial markets of the Asian region (9 countries). The paper analyzes both long-term and one-day cross-border market reactions. The time horizon of the data sample is from 2000 to 2020. Advantages of the DCC-GARCH-model for adequately accounting for the behavior of financial data are shown. We have found that the impact of ratings and outlooks is stronger in the long term than in the short term. We identified pairs of countries with greatest “contagion effects” as the reaction to sovereign ratings updates. Taiwan is an important reference point for investors in the Asian region. The downgrade of its sovereign rating is a signal for a general deterioration of the investment environment in the region and primarily has a negative effect on the countries with the lowest credit ratings: Indonesia, Philippines and India. Extrapolation of sovereign rating information updates strongly expressed in the “China-Hong Kong” pair in both directions. In addition, we characterized the features of transmission processes with positive and negative effects. We found that in the case of a negative contagion effect, when there is an extrapolation of reactions to a potential or actual deterioration in a country's credit quality outside its borders, investors tend to have stronger reaction towards one of the contagion factors: rating or outlook. When a potential or actual improvement in a country's credit quality is perceived as a signal for an improvement in another country, the strength of the influence of the rating and outlook has a positive relationship: the stronger (weaker) the influence of the rating, the stronger (weaker) the influence of the outlook.

Keywords: contagion effect on financial markets, emerging financial markets, sovereign ratings, DCC-GARCH.

JEL Classification: F30, F32, G14; G15, G41.

DOI: 10.31857/S042473880014080-7

В.Н. Лившицу — 90

«Витамину» (так его звали в Челябинской области, куда Лившиц был направлен водить паровозы после окончания в 1953 г. Московского энергетического института, а выговорить «Вениамин» работягам было обременительно) Наумовичу Лившицу всего (уже, еще... — нужно подчеркнуть) девять десятков лет. Все эти 90 лет он был и остается глубоко мыслящим Ученым, Учителем, Исследователем и Гражданином большой страны.

Вениамин Наумович многообразно, обширно умен, наделен редким талантом мыслителя. Его мозг неустанно трудится и тонко настроен на научную деятельность. Он — многослойная личность с такими чертами характера, которые редко уживаются в одном человеке. Окончив МЭИ и Мехмат МГУ, Лившиц продолжает развиваться, учить и учиться.

Ему очень дорога Россия, которую он самоотверженно и непрерывно любит и болеет за нее страстно. Очень переживает, когда у нее что-то не получается, и хочет всегда ей помочь, даже если она сопротивляется...

Столько, сколько написал Вениамин Наумович — 500 публикаций и 50 монографий, — не под силу одному человеку, если он не Лившиц. За одну только работу «Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика» (1300 стр. удивительного текста) ему должны были бы дать Госпремию, все имеющиеся в стране ордена и знаки отличия, а также присвоить звание академика РАН. Его знает и приветствует весь научный мир, который вечно будет благодарен ему за самоабвенное служение науке.

Сейчас всюду — где надо и не надо — говорят об оптимизации, не очень понимая, о чем идет речь. Профессор Лившиц точно знает, где, когда и как применять этот термин. Лучшее, на мой взгляд, определение слову «оптимизация» дала одна из его учениц, студентка Университета «Дубна», которому Лившиц отдал более 20 лет своей жизни: «Оптимизация — это от слова “оптимист”!» Как нельзя лучше такое понимание подходит В.Н. Лившицу — именно с этих позиций он проектировал оптимальное развитие транспортной сети страны, решал задачу совместного размещения производственных и транспортных комплексов.

В 1971 г. В.Н. Лившиц защитил докторскую диссертацию «Оптимизация при перспективном планировании и проектировании». Мало найдется диссертаций в СССР, которые защищались бы более двух суток. В 1988 г. при активном участии Вениамина Наумовича Лившица были выпущены «Методические рекомендации по комплексной оценке эффективности мероприятий» — такие нужные нашей стране для принятия разумных и долгоиграющих решений.

В.Н. Лившиц удивительно многогранен и многообразен. Если перечислить все его работы, заслуги, выступления, упомянуть всех его учеников, то становится очевидно, что речь идет о работнике науки и образования высочайшей квалификации. Он всегда оживлял экономику математическим и аналитическим моделированием и всегда был органически прав, чувствуя (может быть, интуитивно), как сделать правильно. Он мог бы быть историком и написать не хуже Н. Карамзина или С. Соловьева историю новейшей России. И этот труд остался бы в истории человечества! Единственное, что у него не получилось — он не смог управлять поездом с вагонами. Поезд почему-то часто его не слушался и не до конца понимал, какой великий человек им управляет.

В.Н. Лившиц неистов и упорен. Если я ему сейчас позвоню и скажу, что завтра в Хабаровске будет научная конференция и есть парочка любопытных докладов, то я не успею закончить разговор, как он уже будет мчаться в такси в аэропорт, чтобы успеть на очередной праздник науки.

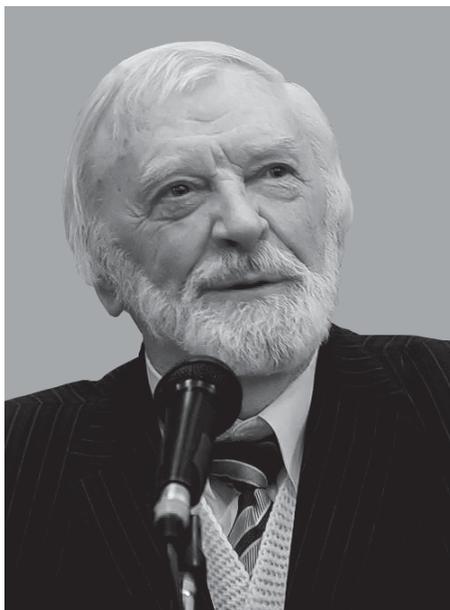
Славный Вениамин Наумович Лившиц! Живи долго-долго, читай лекции студентам и аспирантам долго-долго. И пусть нам еще долго-долго будет везти в этой жизни, освещенной твоими поисками, мыслями и трудами.

Счастлив знакомством и дружбой с тобой — ты чудный и необыкновенный человек!

С.А. Панов,

д.э.н., профессор, Государственный университет «Дубна»

Редакция журнала присоединяется к поздравлениям в адрес юбиляра!



М.Я. Лемешев

6 января 2021 г. ушел из жизни выдающийся советский и российский ученый экономист-эколог, ветеран Великой Отечественной войны, заведующий отделом экономических проблем природопользования ЦЭМИ (1972–1985 гг.), депутат Государственной думы России первого созыва, доктор экономических наук, профессор, академик РАЕН Михаил Яковлевич Лемешев.

Михаил Яковлевич родился 1 января 1927 г. в селе Теменичи Брянской области. Отец его — Яков Кириллович (1886–1944) — был заведующим колхозной конефермой. Мать — Василиса Давыдовна (1886–1972) — работала в полеводческой бригаде. Михаил с малых лет, в свободное от школьных занятий время, работал с отцом на ферме. С этого времени у него появилась большая привязанность к лошадям, которую он сохранил на всю жизнь. Школу Михаил Яковлевич закончил с похвальной грамотой в мае 1941 г. В июне началась Великая Отечественная война, а 10 октября 1941 г. в село вошли немецкие оккупанты. Весной 1942 г., когда Михаилу Яковлевичу было всего 15 лет, он ушел в партизанский отряд, был тяжело ранен и потерял кисть правой руки.

В 1947 г. М.Я. Лемешев с отличием заканчивает Кокинский сельскохозяйственный техникум, после чего работает на Зимовниковском конном заводе в Сальских степях Дубовского района Ростовской области. В 1953 г. с отличием окончил Московский зоотехнический институт коневодства, а в 1956 г. — аспирантуру экономического отдела Всесоюзного института животноводства Министерства сельского хозяйства СССР. С этого времени началась плодотворная, нередко драматическая, научная деятельность М.Я. Лемешева, которая с удивительной интенсивностью продолжалась в течение 65 лет. Все это время Лемешев был убежден, что здоровая и эффективная экономика может быть только тогда, когда эффективно развивается сельское хозяйство.

В 1958 г. М.Я. Лемешев защитил кандидатскую диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук, а в 1968 г. — докторскую диссертацию по экономическим наукам. С 1956 по 1969 г. М.Я. Лемешев работал в Научно-исследовательском экономическом институте Госплана СССР. В этот период он активно исследовал проблемы использования различных моделей межотраслевого баланса для целей анализа и планирования народного хозяйства. Итогом этих исследований явились фундаментальные монографии М.Я. Лемешева «Экономическое обоснование структуры сельскохозяйственного производства» и «Межотраслевые связи сельского хозяйства». Будучи сотрудником института Госплана, Михаил Яковлевич обратился к А.Н. Косыгину с предложением об установлении государственной пенсии для колхозников. И когда он

приехал к матери в деревню на Брянщину, она с радостью сообщила ему о получении государственной пенсии. Знала ли она тогда, что эта реформа была принята, в частности, благодаря инициативе ее сына!

Однако следует отметить, что за свои рыночные воззрения М.Я. Лемешев в эти же годы подвергался жесткой необоснованной критике. Многие его работы не допускались к публикациям, а уже принятые к печати не публиковались. Это побудило Михаила Яковлевича принять предложение руководства Сибирского отделения АН СССР переехать на работу в новосибирский Академгородок.

С 1969 по 1972 г. М.Я. Лемешев работал в Сибири. Здесь он создал сектор эффективности общественного производства в Институте экономики и организации промышленного производства СО АН СССР, где вел интенсивные исследования проблем системного анализа и программно-целевого планирования и управления. В 1972 г. ему было присвоено ученое звание профессора по специальности «Политическая экономия».

В конце лета 1972 г. по приглашению директора ЦЭМИ АН СССР академика Н.П. Федоренко Михаил Яковлевич возвратился в Москву, с 1 сентября 1972 г. приступил к работе в ЦЭМИ АН СССР, где создал отдел экономических проблем природопользования, которым руководил до 30 декабря 1985 г. С тех пор и до последних дней жизни Михаил Яковлевич вел интенсивные исследования в области экономических, социальных и экологических аспектов охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Он разработал теорию управления экономикой и экологией как единой метасистемой. Эта концепция в последующем была положена им в основу теории эколого-экономического управления общественным развитием, за которую Михаил Яковлевич был награжден Серебряной медалью Петра I и Золотой Звездой Вернадского.

В 1974 г. М.Я. Лемешев избирается экспертом Программы ООН по охране окружающей среды (ЮНЕП), в качестве которого оставался до 1995 г.

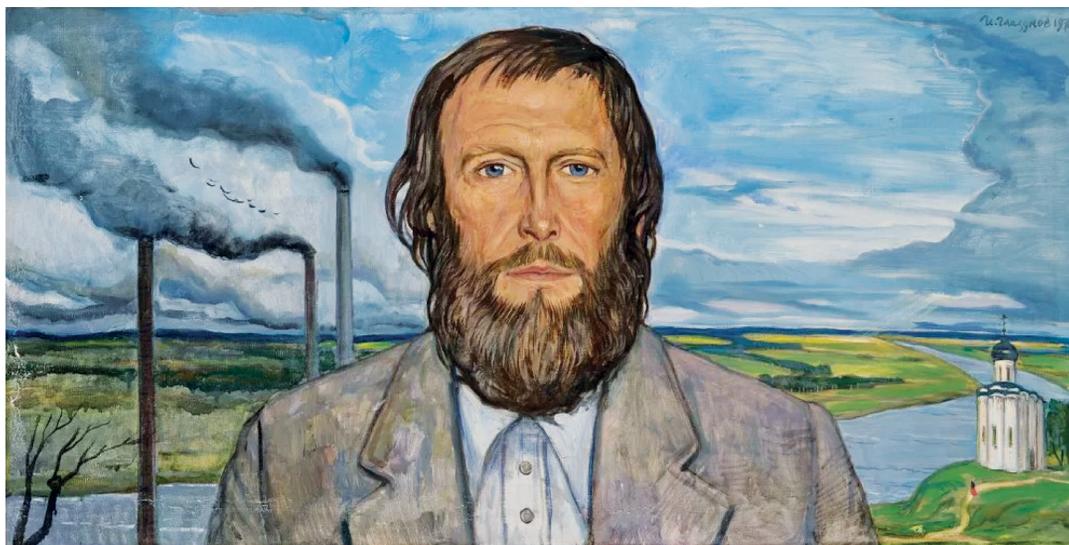
В начале 1980-х годов М.Я. Лемешев одним из первых публично выступил против переброски северных и сибирских рек, таившей в себе немыслимые экономические и социальные бедствия.

По его инициативе при Президиуме АН СССР была создана специальная комплексная комиссия под председательством вице-президента академии А.Л. Яншина. Михаил Яковлевич возглавлял эколого-экономическую секцию. Ему удалось опубликовать в газете «Советская Россия» от 20.12.1985 г. (тираж 5 млн экз.) статью «Против течения». По предложению комиссии и под давлением общественности в августе 1986 г. власти отклонили преступный «проект века» и работы по переброске рек были прекращены.

Одновременно М.Я. Лемешев вел большую педагогическую работу. Он читал лекции в МГУ им. М.В. Ломоносова, в Академии народного хозяйства при Совете Министров СССР, в Московском институте радиотехники, электроники и автоматики (МИРЭА), являлся членом Высшей аттестационной комиссии. За 14 лет работы в ЦЭМИ ему удалось подготовить 68 кандидатов и 12 докторов экономических наук по специальности 08.00.13. Он имел много учеников, до сих пор успешно продолжающих его эколого-экономические исследования. Им создана крупная научная школа экономистов-экологов, представители которой ныне ведут исследования во всех бывших республиках Советского Союза, странах бывшего социалистического содружества, а также в Норвегии, Германии, Канаде, США.

В 1986–1993 гг. Михаил Яковлевич работал заведующим лабораторией эколого-экономических проблем в Комиссии по изучению производительных сил и природных ресурсов при Президиуме Академии наук СССР. В этот период М.Я. Лемешев много внимания уделял изучению производительных сил и экологической обстановки в конкретных регионах страны, в частности Севера, Сибири, Северного Кавказа, Большой Волги. Одновременно он активно работал в Экспертном совете Госкомприроды СССР и Минприроды РФ.

В 1993 г. М.Я. Лемешев избирается депутатом Государственной думы и председателем Комитета по экологии этого законодательного органа, где ему удалось добиться принятия Госдумой важных федеральных законов социально-экологической направленности, таких как «Об экологической безопасности населения», «Об особо охраняемых территориях», «Водный кодекс», «Об охране животного мира».



И.С. Глазунов. Портрет академика М.Я. Лемешева (1978 г.)
(из коллекции М.Я. Лемешева)

В последние годы М.Я. Лемешев продолжал активно работать главным научным сотрудником отдела институционального анализа аграрной экономики ФГБНУ «ВИАПИ им. А.А. Никонова» в Москве.

Михаил Яковлевич — автор 30 книг и более 600 статей, в которых красной нитью проходит убежденность автора о том, что самая главная проблема — это сохранение и рациональное использование природных ресурсов.

В 2017 г. Михаил Яковлевич был удостоен премии Международного научного фонда экономических исследований академика Н.П. Федоренко «За выдающийся вклад в развитие экономической науки в России».

Светлая память о прекрасном человеке, выдающемся ученом, верном традициям ЦЭМИ, истинном патриоте России Михаиле Яковлевиче Лемешеве навсегда останется в наших сердцах!

Одна встреча — и на всю жизнь (памяти М.Я. Лемешева)

Это была осень 1985 г. На защиту своей диссертации выходил единственный ученик Льва Николаевича Гумилева Константин Павлович Иванов. Вокруг Л.Н. Гумилева опять сгустились тучи, только что вышел роман В. Чивилихина «Память», удостоенный Государственной премии, в котором автор упрекал Гумилева в отсутствии патриотизма — потому что Гумилев отрицал монгольское иго, которое называл «симбиозом Руси с Ордой». Перед председателем диссертационного (как тогда писали и говорили, специализированного) совета на географическом факультете Ленинградского государственного университета С.Б. Лавровым стояла непростая задача добиться утверждения в ВАКе кандидатской диссертации Кости «Эколого-географическое исследование сельской местности Нечерноземной зоны РСФСР», научным консультантом которой был Л.Н. Гумилев.

Для спасения Кости из Москвы был вызван видный специалист по российскому Нечерноземью, известный и уважаемый в ВАКе Михаил Яковлевич Лемешев. Он согласился стать оппонентом диссертации Иванова. Я тогда был в начале второго года аспирантуры, впереди была защита диссертации, и пример Константина был для меня окрыляющим на собственные творческие пробы. Поэтому события той защиты запомнились на всю жизнь.

Михаил Яковлевич начал свое выступление с того, что «в наше время, чтобы выбрать тему российского Нечерноземья, нужно иметь большую смелость». Действительно, все государственные программы по этой проблемной, вымирающей и депрессивной зоне России заканчивались провалами. Старики умирали, молодежь уезжала в города, десятки сел пустели... и все усилия партийного руководства не могли переломить ситуации. Блестящие советские социологи Т.И. Заславская и Р.В. Рывкина констатировали кризис крестьянского уклада в колыбели русского этноса. Используя теорию этногенеза Л.Н. Гумилева, Константин доказывал на графиках и корреляциях, что необратимый распад крестьянского хозяйства начинается с утраты коровы в личном подсобном хозяйстве.

Михаил Яковлевич прямо не комментировал этот тезис, но тон его выступления был очень позитивный. Тогда я впервые услышал про самоедскую советскую экономику, которую Лемешев понимал как мало кто. Он рассказал про Курскую магнитную аномалию, которая ценой уменьшения площади черноземов обеспечивает первое место страны по производству железной руды, из которой потом делают самые мощные в мире тракторы К-700 «Кировец», которые распахивают все новые и все менее плодородные площади, для чего их нужно все больше, и поэтому площади Курской аномалии все расширяются, уничтожая черноземы, чтобы произвести на добытое железо все больше тракторов «Кировец», и т.д. Для нас, ленинградских экономико-географов, это было убийственно убедительно и ново. И это было то, что Лемешева — блистательного экономиста не по искусству формул, а по духу, по глубокому человеческому чувству патриота страны, — глубоко заботило и волновало тогда, на излете не выдержавшего подобных сумасшедших трат СССР.

Таким мне на всю жизнь запомнился блестящий экономист из Москвы, который на этой защите поставил перед нами самые сердцевинные экономические проблемы умирающей страны! Михаил Яковлевич был настоящим патриотом и при этом предельно скромным, непафосным (каковыми были, например, С.С. Шаталин и многие другие представители советской интеллектуальной научной элиты) человеком.

Светлая Вам память, Михаил Яковлевич!

Профессор МГУ им. М.В. Ломоносова,
д.г.н., генеральный директор
АНО «Институт регионального консалтинга»
А.Н. Пилясов

ГАУГН-ПРЕСС

«ГАУГН-ПРЕСС» осуществляет свою деятельность на базе Государственного академического университета гуманитарных наук (ГАУГН) и научно-исследовательских институтов Российской академии наук социогуманитарного профиля в рамках их сетевого взаимодействия.



КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

- формирование учебно-методических комплексов
- развитие научной периодики
- внедрение новых стандартов научной коммуникации



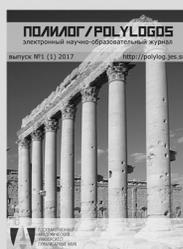
ПРИНЦИПЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- интеграция науки и образования
- модульный характер актуализации гуманитарного знания
- сетевое взаимодействие научных и методических центров

НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА



СЕТЕВАЯ ПЕРИОДИКА



По вопросам приобретения научной и учебной литературы, печатных изданий журналов Российской академии наук, а также оформления подписки на сетевую периодику обращаться по адресу press@gaugn.ru



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.).