

*Российская академия наук*

# **ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ**

**Том 57 № 2 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 2, 2021

---

---

## Теоретические и методологические проблемы

Некипелов А.Д. К теории кредита и процентной ставки	5
Самоволева С.А. Экспорт инноваций и абсорбция зарубежных технологических знаний	21
Лакман И.А., Тимирьянова В.М. Пространственная модель воспроизводства на панельных данных	34

## Народнохозяйственные проблемы

Остапюк С.Ф., Фетисов В.П. О структурных изменениях модели государственного управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью	45
Гордин И.В. Природоохранные системы в периоды экономических спадов	55
Зоидов К.Х., Медков А.А. Проблемы эволюции транзитных систем и сопряжения инфраструктурных проектов формирования Большого Евразийского партнерства	64
Бердникова В.Н., Осенняя А.В., Хахук Б.А. Построение качественной модели оценки кадастровой стоимости недвижимости	73

## Математический анализ экономических моделей

Аркин В.И., Слестников А.Д. Модель стимулирования приватизации предприятий	85
Смирнов С.Н., Полиматиди И.В. Гарантированный детерминистский подход к маржированию на срочном рынке	96
Теплова Т.В., Соколова Т.В., Лопушанский Д.И. Опционное хеджирование фондовых индексов: преимущества сигналов фундаментального и технического анализов	106
Ивашенко С.М. Вычислительная эффективность байесовских эконометрических методов для “неудобных” плотностей	121

## Имитационное моделирование

Истратов В.А. Компьютерный алгоритм формирования привычки у человека	135
--	-----

\* \* \*

Г.Б. Клейнеру — 75	148
--------------------	-----

---

---

*Russian Academy of Sciences*

# **ECONOMICS AND MATHEMATICAL METHODS**

**VOLUME 57 No. 2 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. 2, 2021

---

---

## Theoretical and methodological problems

<b>Nekipelov A.D.</b> On the theory of credit and interest rate	5
<b>Samovoleva S.A.</b> Innovation in export and absorption of foreign knowledge	21
<b>Lakman I.A., Timiryanova V.M.</b> Spatial model of reproduction on panel data	34

## Problems of national economy

<b>Ostapyuk S.F., Fetisov V.P.</b> On structural changes in the model of public administration of scientific, scientific-technical and innovation activities	45
<b>Gordin I.V.</b> Environmental protection systems during periods of economic downturns	55
<b>Zoidov K.Kh., Medkov A.A.</b> Problems of the evolution of transit systems and the integration of infrastructure projects in the formation of a Great Eurasian Partnership	64
<b>Berdnikova V.N., Osennyaya A.V., Khakhuk B.A.</b> Constructing a qualitative model for estimating the cadastral value of real estate	73

## Mathematical analysis of economic models

<b>Arkin V.I., Slastnikov A.D.</b> The model of stimulating the privatization process for state-owned enterprises	85
<b>Smirnov S.N., Polimatidi I.V.</b> A guaranteed deterministic approach to margining on exchange-traded derivatives market	96
<b>Teplova T.V., Sokolova T.V., Lopushansky D.I.</b> Option hedging of stock indices: Benefits of signals of fundamental and technical analysis	106
<b>Ivashchenko S.M.</b> Computational efficiency of Bayesian estimation techniques for “unfavorable” density	121

## Simulation modelling

<b>Istratov V.A.</b> Computer algorithm of human habit formation	135
--	-----

\* \* \*

<b>G.B. Kleiner — 75</b>	148
--------------------------	-----

---

---

---

---

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ  
И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**

---

---

**К теории кредита и процентной ставки**

© 2021 г. А.Д. Некипелов

**А.Д. Некипелов,**

*Московская школа экономики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова,  
Москва; e-mail: nekipelov@mse-msu.ru*

Поступила в редакцию 21.01.2021

**Аннотация.** С учетом особенностей методологии чистой экономической теории в статье исследуются корневые предпосылки возникновения кредитных отношений. В качестве объекта анализа избрана модель простой меновой экономики, причем при абстрагировании от явлений и процессов, происходящих вне сферы обращения. Показаны уязвимые пункты двух имеющихся подходов к анализу общей природы кредита: на основе объединения в единой функции полезности текущих и будущих благ и допущения о наличии у потребителей временного предпочтения. При принятых ограничениях достаточным условием для возникновения кредитных отношений оказывается существование благ, порождающих поток потребительских услуг (капитальных потребительских благ), а не единовременное удовлетворение потребностей. В ходе решения поставленной задачи обнаруживается неразрывная связь между текущим и трансвременным обменом, выявляется единая основа у потребительского и производственного кредитов, связанная с их использованием в инвестиционных целях. Становится ясным, что отношения кредита логически предшествуют деньгам, а не наоборот, как это часто предполагается при их анализе.

**Ключевые слова:** чистая экономическая теория, простая меновая экономика, кредитные отношения, чистая торговля и чистый кредит, производственный кредит, потребительский кредит, процентная ставка, функции и функционалы трансвременной полезности, временное предпочтение, капитальные потребительские блага.

**Классификация JEL:** B41, C10, D11, D51, D91, E41.

**DOI:** 10.31857/S042473880014718-8

## 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И ОБЩАЯ ТЕОРИЯ КРЕДИТА

### 1.1. Постановка проблемы

С точки зрения отстаиваемой нами *методологии чистой экономической теории* (Некипелов, 2006, 2017, 2019а) принципиальное значение имеет вопрос о том, на какой стадии исследования возникает возможность вводить в анализ те или иные экономические явления. Ответ на него призван выявить условия, минимально необходимые для формирования соответствующих экономических отношений, и дать на этой основе исходную, наиболее абстрактную характеристику их природы. В ходе последующего анализа эти сведения должны обогащаться и конкретизироваться, что, как предполагается, позволит в конечном счете получить целостное представление об исследуемой экономической системе.

Эти соображения важны для понимания проблемы, которой посвящена настоящая статья. Мы попробуем показать, что условия для появления отношений заимствования (кредита) могут (а потому и должны с точки зрения упомянутой выше методологии) быть выявлены в рамках *модели простой меновой экономики*.

Меновая экономика представляет собой как бы вторую (после модели «робинзоны» (Некипелов, 2019б)) ступеньку, на которой предметом исследования становится взаимодействие экономических агентов, являющихся собственниками производимой ими продукции. Именно на этом уровне анализа появляется возможность выявить природу важнейших для рыночной системы отношений — отношений обмена (пока — натурального), а также обнаружить силы, которые приводят к развитию общественного разделения труда.

Экономическая теория давно установила тот факт, что отношения обычного (текущего) обмена уходят корнями в особенности индивидуальных предпочтений и потому могут быть введены в анализ при абстрагировании от сферы производства. Из анализа *модели чистой торговли* следует, что необходимым условием взаимовыгодного обмена является несовпадение предельных оценок двух благ у его потенциальных участников. Естественно, возникает вопрос, а как обстоит дело с трансвременным обменом, реализующимся через отношения заимствования. Можем ли мы и здесь говорить о *чистом кредите*, т.е. о таком кредите, предпосылки которого складываются в сфере обращения, или для этих целей необходимо выйти за ее рамки? И если нам все же удастся найти основания для того, чтобы вводить в рассмотрение кредитные отношения без обращения к сфере производства, будут ли они в полной мере симметричны тем, которые определяют аналогичную возможность для обычных (текущих) меновых отношений?

Таков комплекс вопросов, являющихся предметом настоящей статьи.

### 1.2. Имеющиеся наработки по общей теории кредита

Изложенный выше методологический подход не является общепринятым. В рамках господствующей эмпирической науки экономическая теория рассматривается как совокупность моделей, каждая из которых опирается на определенные гипотезы и некоторый комплекс наблюдаемых явлений и на их основе формулирует экономические закономерности, подлежащие практической верификации. При этом неизбежным оказывается использование в моделях категорий, отражающих экономические явления, природа которых не была ранее определена. Соответственно, не придается значения и вопросу о том, каковы минимальные условия, необходимые для включения в анализ того или иного явления.

Эти особенности эмпирической науки проявляются и в трактовке природы кредита. Так, в учебниках, претендующих на систематическое изложение предмета, проблематика отношений заимствования возникает, как правило, далеко не в первых главах<sup>1</sup>, причем после того как введено понятие «экономические издержки» (между тем, последние, как известно, включают процент на применяемый капитал). Кроме того, в подавляющем большинстве случаев отношения кредита рассматриваются сторонниками эмпирической теории применительно к условиям денежной экономики. В этом случае объектом этих отношений являются деньги, а процентная ставка выступает в качестве цены денег, т.е. той добавочной суммы, которую заемщик должен отдать кредитору в установленный соглашением срок.

Сказанное не означает, что в ходе изучения отношений заимствования, ведущегося уже не одно столетие, не было получено значимых результатов о причинах возникновения трансвременного обмена и данный вопрос мог остаться вне поля зрения исследователей. Другое дело, что получение ответа на него не рассматривалось как составная часть усилий, направленных на построение упорядоченного интеллектуального макета рыночной экономической системы.

Весьма распространена — и, на наш взгляд, вполне справедливо — точка зрения, в соответствии с которой основное направление исследований в этой области было задано еще Е. Бем-Баверком (Böhm-Bawerk, 1890), сформулировавшим три возможные причины существования кредита:

- 1) экономический рост и связанные с этим ожидания повышения уровня благосостояния (способствует повышению благосостояния благодаря выравниванию уровня потребления);
- 2) предпочтение текущего потребления по отношению к будущему;
- 3) использование околных методов производства.

Первая из указанных причин дала импульс развитию исследований, направленных на выяснение того, каким образом кредит способен содействовать выравниванию уровней потребления на различных этапах жизни людей, и породила особый класс моделей, в которых взаимодействуют так называемые перекрывающиеся поколения. Ключевую роль в развитии этих исследований сыграли труды М. Алле и П. Самуэльсона (Allais, 1947; Samuelson, 1958).

Третья причина породила многочисленные разработки в области экономической динамики и определения оптимального уровня накопления. Среди них можно отметить работы (Malinvaud, 1953; Swan, 1956; Solow, 1956; Weizsacker, 1971; Gale, 1973; Bliss, 1975).

<sup>1</sup> К примеру, в учебнике (Mas-Colell, Whinston, Green, 1995) кредит становится объектом рассмотрения лишь в главе 20, в учебнике (Katzner, 2006) — в главе 13, в учебнике (Silberberg, 1990) — в главе 12.

Однако эти, несомненно, важные исследования находятся за рамками сформулированной нами задачи. С точки зрения методологии чистой экономической теории к этим вопросам следовало бы обратиться на более поздних этапах формирования интеллектуального макета экономической системы. По этой же причине не имеют прямого отношения к нашей теме и публикации по проблемам связи между деньгами и кредитом, среди которых важное место занимает известная работа Л. фон Мизеса «Теория денег и кредита», написанная в 1912 г. (Mises, 1971).

Поэтому здесь нас должны интересовать результаты, полученные прежде всего в ходе исследований, направленных на увязку кредитных отношений с особенностями индивидуальных предпочтений (вторая причина — по Е. Бем-Баверку). Их немало. Прежде всего следует отметить *выявление двух возможных подходов к учету фактора времени* при анализе индивидуальных предпочтений.

Первый подход основан на применении отношений предпочтения не только к различным благам, но и к одним и тем же благам, получаемым потребителем в различные моменты (периоды) времени. В этом случае величина трансвременной полезности оказывается простой функцией, аргументами которой являются уровни потребления всех благ (или агрегированные уровни потребления) во все рассматриваемые моменты времени.

Суть второго подхода состоит во введении особых отношений предпочтения между уровнями благосостояния, реализуемыми индивидуумом в различные моменты времени. В этом случае величина трансвременной полезности оказывается функционалом, аргументами которого являются функции полезности, относящиеся к отдельным моментам времени.

Несложно убедиться, что первый подход позволяет рассматривать натуральные кредитные отношения как обычный обмен двух благ. В самом деле, пусть функция полезности потребителя имеет вид

$$U = U(x_{1t}, \dots, x_{nt}), \quad (1)$$

где  $i = 1, \dots, n$  — виды потребляемых благ,  $t = 1, \dots, T$  — моменты (периоды) потребления. Тогда, если предельная норма замещения блага  $i$  в период  $t$  благом  $i$ , но  $t+1$ -периода (т.е.  $\partial x_{1t+1} / \partial x_{1t}$ ) одного потребителя будет отличаться от аналогичного показателя другого потребителя, то возникают условия для взаимовыгодного обмена между ними. И, как известно, согласно *теории чистой торговли* пропорция обмена должна находиться в промежутке между относительными предельными оценками блага  $i$  у участников обмена. Но разность количества блага  $x_{1t}$  и блага  $x_{1t+1}$ , являющаяся результатом применения одной из таких пропорций обмена, может рассматриваться и как выраженный в натуральной форме процент от сделки предоставления этого блага в кредит одним участником другому. А это значит, что при таком подходе полностью исчезает различие между обычным и трансвременным обменами, между пропорцией обмена и процентной ставкой. Более того, оказывается, что по одним товарам кредитором может быть один контрагент, а по другим — другой.

Поскольку проблематика кредитных отношений в подавляющем большинстве случаев рассматривается сторонниками эмпирической теории применительно к *условиям денежной экономики*, то появляется возможность представить сопутствующее кредиту перераспределение экономическим агентом потребления во времени в удобном скалярном виде — через изменения размера находящегося в его распоряжении денежного дохода. Еще И. Фишер в обоснование этого приема ссылаясь на то, что доход, в сущности, является синонимом потребления: в случае, когда владелец денег воздерживается от его немедленного расходования, происходит всего лишь перераспределение потребления во времени (Fisher, 1970)<sup>2</sup>.

Замена в функции полезности (1) отдельных благ, потребляемых в разные периоды, агрегированным уровнем потребления, или доходом разных периодов (см., например, (Silberberg, 1990)), приводит к необходимости внести небольшое уточнение в представленные выше выводы. Пусть функция полезности имеет вид

$$U = U(y_t), \quad (2)$$

где  $y_t$  — уровни дохода в периоды  $1, \dots, T$ .

Допустим, что  $y_t^0$  — вектор дохода, которым потребитель будет заведомо располагать в периоды  $1, \dots, T$  (эти величины могут быть, а могут и не быть равными друг другу). Если через  $r$

<sup>2</sup> Первое издание книги И. Фишера относится к 1930 г.

обозначить процентную ставку, используя которую потребитель может перераспределять имеющийся у него доход во времени, то  $(1+r)^{t-1}$  будет представлять альтернативные издержки потребления единицы дохода в текущий период, оцененные через утраченную полезность периода  $t$ . Соответственно,  $1/(1+r)^{t-1}$  является выражением альтернативных издержек потребления единицы дохода в период  $t$ , измеренных через утраченную полезность текущего (первого) периода. Тогда текущую величину богатства можно определить как приведенную ценность текущего и будущего дохода  $W = \sum_{t=1}^T (y^t / (1-r)^{t-1})$ . В результате кредитных отношений эта величина богатства  $W$  не может измениться (она может только перераспределиться во времени). Поэтому

$$\sum_{t=1}^T (y_t^0 / (1-r)^{t-1}) = \sum_{t=1}^T (y_t / (1-r)^{t-1}) = W,$$

или

$$\sum_{t=1}^T [(y_t^0 - y_t) / (1-r)^{t-1}] = 0. \quad (3)$$

Максимизация целевой функции (2) при соблюдении ограничения, заданного уравнением (3), требует соблюдения следующих необходимых условий (соблюдение достаточных условий максимума гарантируется квазивогнутостью и возрастающим характером функции полезности (2)):

$$\mathcal{J}_t = \frac{\partial U}{\partial y_t} - \frac{\lambda}{(1-r)^{t-1}} = 0, \quad t=1, \dots, T, \quad (4)$$

$$\mathcal{J}_\lambda = \sum_{t=1}^T [(y_t^0 - y_t) / (1-r)^{t-1}] = 0, \quad (5)$$

где  $\mathcal{J}_t$  и  $\mathcal{J}_\lambda$  — частные производные функции Лагранжа, построенной на основе целевой функции (2) и ограничения (3).

Система уравнений (4)–(5) может быть решена относительно  $y_t$ . В результате получаем маршаллианские функции спроса на потребление (доход) в периоде  $t$ :  $y_t = y_t(r, y_t^0)$ .

Если взять два уравнения  $\mathcal{J}_t$  ( $t=t$  и  $t=t+1$ ) и разделить их друг на друга, получим важное выражение

$$\frac{\partial U}{\partial y_t} / \frac{\partial U}{\partial y_{t+1}} = \left| \frac{\partial y_{t+1}}{\partial y_t} \right| = 1+r.$$

Оно свидетельствует о том, что в оптимальном положении абсолютная величина предельной нормы замещения дохода периода  $t$  доходом периода  $t+1$  должна равняться единице плюс процентная ставка, т.е. альтернативной оценке дохода первого периода.

Отсюда следует, что если предельная норма замещения потребления периода  $t$  потреблением периода  $t+1$  больше  $1+r$ , то потребителю выгодно привлекать кредит, в противоположном же случае — невыгодно. Очевидным становится и механизм формирования равновесной процентной ставки: она будет установлена рынком на таком уровне, на котором спрос на кредит и его предложение уравновесят друг друга.

Как и в рассмотренном выше случае, мы имеем в этом отношении полную аналогию с текущим обменом. Но в отличие от модели, в которой в качестве аргументов функции (трансвременной) полезности используются все блага, потребляемые во все периоды времени, здесь исключена ситуация, когда во взаимоотношениях двух экономических агентов каждый может выступать и в качестве кредитора, и в качестве заемщика.

Как отмечалось выше, изложенный подход к определению условий формирования кредитных отношений в увязке исключительно с особенностями индивидуальных предпочтений потребителей не является единственным. Дело в том, что его применение сопряжено со своеобразным умалением роли фактора времени, которое оказывается не более чем одной из характеристик благ (уровней потребления, дохода). Это ограничение снимает подход, основанный на введении особых отношений предпочтения между уровнями благосостояния, реализуемыми индивидуумом в различные моменты (периоды) времени (см., в частности, (Silberberg, 1990, p. 419–420; Mas-Colell, Whinston, Green, 1995, p. 732)). В данном случае трансвременная функция (функционал) полезности принимает вид

$$V = V(U_1, \dots, U_T), \quad (6)$$

где  $V$  — трансвременная функция полезности,  $U_1, \dots, U_T$  — текущие уровни полезности в периоды  $1, \dots, T$ .

Использование трансвременного функционала полезности (6) предполагает определенную конкретизацию его свойств, относящихся к характеру зависимости величины трансвременной полезности  $V$  от текущих полезностей  $U_1, \dots, U_T$ .

В середине 1950-х годов Р. Стротц обратил внимание на необходимость того, чтобы трансвременные функции полезности были динамически консистентными (состоятельными). Это означает, что сравнительная величина (предельная норма замещения) полезностей двух периодов должна оставаться неизменной при ее оценке, опирающейся на разные точки отсчета (Strotz, 1956, p. 165–180). Необходимость наложения соответствующих ограничений на структуру функции (6) была фактически безоговорочно принята экономическим сообществом.

Более сложной оказалась судьба гипотезы о наличии у потребителей временного предпочтения, которая была сформулирована еще Е. Бем-Баверком и подробно разработана И. Фишером (Fisher, 1970). Воплощение этой гипотезы возможно различными способами<sup>3</sup>, но наиболее распространенной стала аддитивная функция вида:

$$V(U_1, \dots, U_T) = \sum_{t=1}^T \frac{U_t(y_t)}{(1+\rho)^{t-1}}, \quad \rho \geq 0, \quad (7)$$

где  $y_t$  — уровень потребления экономического агента в период  $t$ ,  $\rho \geq 0$  — показатель, определяющий степень его нетерпения. При этом важно, что функция (7) является динамически состоятельной по Стротцу: предельная норма замещения полезностью любого следующего периода полезности периода предыдущего всегда равняется одной и той же величине  $-(1+\rho)$ .

Наличие временного предпочтения ведет к возможности потребителя получить эффект от участия в кредитных отношениях. Для этого, ради простоты, рассмотрим механизм максимизации трансвременной полезности  $V$  на отрезке времени, состоящем из двух периодов, и при предположении, что в начальный момент каждого периода потребитель обладает одинаковым количеством благ, обеспечивающих уровень потребления  $e$ . В этих условиях модель максимизации трансвременной полезности будет иметь вид

$$V(U_1, U_2) = U_1(y_1) + U_2(y_2) / (1+\rho)$$

при условиях  $y_1 = e + crdt$ ,  $y_2 = e - crdt(1+r)$ , где  $crdt$  — размер кредита, привлеченного («+») / предоставленного («-») потребителем;  $r$  — уровень процентной ставки.

Техника, связанная с использованием функции Лагранжа, позволяет убедиться в том, что, во-первых, размер кредита (привлекаемого или предоставляемого) является функцией процентной ставки (т.е.  $crdt = crdt(r)$ ), а во-вторых, что максимум трансвременной полезности будет достигаться при таком размере кредита, при котором соблюдается равенство

$$\partial y_1 / \partial y_2 = -(1+r) / (1+\rho). \quad (8)$$

Следовательно, когда процентная ставка выше показателя нетерпения, потребителю будет выгодно предоставлять кредит, и наоборот — он будет привлекать кредит в ситуации, когда  $\rho > r$ .

Поскольку условие (8) относится к любому потребителю, несложно сделать вывод, что необходимым условием формирования кредитных отношений является исходное неравенство у двух индивидуумов предельных норм замещения текущего потребления будущим<sup>4</sup>. Соответственно, равновесной будет такая величина процентной ставки, при которой суммарные спрос на кредит и его предложение будут совпадать друг с другом.

Эти выводы очевидным образом коррелируют с теми, которые вытекают из рассмотренной выше модели с простой функцией трансвременной полезности (см. уравнения (2)–(5)) и, соответственно, с условиями текущего обмена: во всех случаях условием взаимовыгодности сделок (и трансвременных, и текущих) является неравенство предельных оценок объектов обмена потребителями. Преимущество модели с трансвременным функционалом полезности состоит в том, что в ней не происходит размывания различия между текущим и трансвременным

<sup>3</sup> В частности, Т. Купманс привлек внимание (Koortmans, 1960) к широкому классу рекуррентных функций полезности, частным случаем которых является и функция (7). Все функции этого семейства предполагают наличие временного предпочтения, хотя показатель нетерпения  $\rho$  может быть не постоянной, а переменной величиной.

<sup>4</sup> Следует иметь в виду, что неравенство у потребителей предельных норм замещения текущим доходом (потреблением) будущего (т.е.  $\partial y_1 / \partial y_2$ ) не противоречит требованию состоятельности функционала трансвременной полезности, которое предполагает равенство минус единице предельной нормы замещения текущей полезностью будущей (т.е.  $\partial U_t / \partial U_{t+1}$ ).

обменами, а следовательно, — и различия между пропорциями обычного обмена и процентной ставкой<sup>5</sup>.

Несмотря на эти достоинства, подход, основанный на гипотезе временного предпочтения, в течение длительного времени остается объектом острой дискуссии. Оппоненты ссылаются на то, что признание предпочтительности благ текущих перед благами будущими равносильно утверждению о близорукости людей<sup>6</sup>. Ф. Рамсей еще в 1920-е годы связывал *нетерпеливость* потребителя со *слабым воображением* (Ramsey, 1928).

Есть свои аргументы и у сторонников гипотезы временного предпочтения. Согласно одному из них дисконт  $1/(1+\rho)$  может рассматриваться и как вероятность дожития до следующего периода (Mas-Colell, Whinston, Green, 1995, p.734), и как отражение роли полезности будущих поколений для полезности текущего поколения (Barro, 1989)<sup>7</sup>.

С учетом сказанного, мы можем конкретизировать сформулированную в начале статьи постановку интересующего нас вопроса. Не отвергая заведомо принципиальную возможность существования у ряда или даже у всех потребителей временного предпочтения, попытаемся выяснить, исключает ли отказ от этой гипотезы всякую возможность объяснения чистых кредитных отношений на стадии анализа простой меновой экономики.

## 2. О ВОЗМОЖНОСТИ ЧИСТОГО КРЕДИТА ПРИ ОТСУТСТВИИ У ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ВРЕМЕННОГО ПРЕДПОЧТЕНИЯ

### 2.1. Случай обычных благ

Интересующую нас проблему мы будем рассматривать в дискретном времени. Такой подход представляется вполне оправданным — он отвечает реальному поведению людей, которые делят непрерывное время своей жизни на отдельные отрезки времени и с учетом этого принимают решения.

Функционал трансвременной полезности, наряду с обычными свойствами — возрастающим характером, квазивогнутостью (следовательно, и убывающей предельной нормой замещения полезности текущей полезностью будущей) и динамической состоятельностью — будет характеризоваться также отсутствием временного предпочтения (т.е.  $\partial U_{t+1}(y^0)/\partial U_t(y^0) = -1$ )<sup>8</sup>.

С учетом отсутствия в нашей модели денег возможны два способа решения вопроса об аргументах функций текущей полезности.

Первый состоит в использовании конструкции *композиционного блага*, представляющего набор, в который входят все блага с фиксированными долями. С математической точки зрения этот подход ничем не отличается от подхода, когда в качестве аргумента функций текущей полезности выступает денежный доход потребителя. Этот подход представляется не самым удачным по трем причинам. Во-первых, выражение динамики потребления через композиционное благо сопряжено с серьезными натяжками: в большинстве случаев изменение потребления различных благ происходит неравномерно. Во-вторых, агрегирование потребительских благ исключает возможность анализа связи между *чистой торговлей* и *чистым кредитом*. В-третьих, композиционное благо (как и доход) лишает нас возможности учитывать специфику удовлетворения потребностей различными видами благ. Значимость этого обстоятельства станет ясна позднее.

<sup>5</sup> Последнее можно наглядно продемонстрировать, если усложнить модель, представив функции текущей полезности как  $U_t(x_{1t}, \dots, x_{nt})$ , где  $x_{it}$  — количество потребляемых благ  $i$  в период  $t$ , и введя ограничения, обеспечивающие неизменность совокупной меновой ценности благ в процессе текущего обмена. Этот прием будет использован нами при анализе модели, не предусматривающей наличия временного предпочтения у потребителей.

<sup>6</sup> Характерно следующее высказывание Ю. Сильберберга: «...Существование временного предпочтения является сомнительным и эмпирически неподтвержденным. Оно предполагает наличие *близорукости* в отношении времени. Если мы знаем, что будущее придет (а неопределенность будущего не рассматривается как источник временного предпочтения), почему будущее должно оцениваться ниже, чем настоящее? Переместив потребление на более близкий срок, не пожелаем ли мы об этом, когда будущее настанет, и разве мы не могли заранее предвидеть это сожаление?» (Silberberg, 1990, p. 420).

<sup>7</sup> С точки зрения применяемой нами методологии эти аргументы не работают, поскольку в той простейшей модели, которая является объектом исследования, потребитель лишен и возраста, и пола, и семейного положения. Все эти факторы должны быть приняты во внимание на более поздних этапах анализа.

<sup>8</sup> Такими свойствами обладают, например, функции типа  $V = \sum_t U_t^\alpha$ .

В силу сказанного мы будем опираться на второй способ решения проблемы — использование в качестве независимых переменных текущих функций полезности количества потребляемых благ  $x_t$ . При этом на первом этапе будем считать, что все блага являются благами разового потребления. Соответственно, функционал трансвременной полезности приобретает вид

$$V = V[U_1(x_{11}, \dots, x_{n1}), \dots, U_T(x_{1T}, \dots, x_{nT})], \quad (9)$$

где  $x_{1t}, \dots, x_{nt}$  — набор потребляемых экономическим агентом благ в период  $t$  ( $t = 1, \dots, T$ ).

Возникают два вопроса, какие именно товары и в каких количествах должны стать предметом трансвременного обмена (натуральных кредитных отношений) и каким образом должны определяться пропорции трансвременного обмена.

В качестве объекта кредитных отношений можно взять любое благо. Дело в том, что при любом выборе оптимальная структура потребления в каждый период будет формироваться с учетом возможностей текущего обмена, тогда как для кредитных отношений важна величина меновой ценности, а не натуральная форма продуктов. С учетом этого удобно рассматривать выбранный для трансвременного обмена товар одновременно и как товар-счетчик для определения меновых ценностей остальных благ. Что касается пропорции трансвременного обмена, то она будет выражаться процентной ставкой в натуральном измерении.

Предполагаем, что в начальный момент каждого периода  $1, \dots, T$  потребитель гарантированно получает в свое распоряжение один и тот же набор благ  $e = (e_1, \dots, e_n)$ . Для определенности можем считать его результатом производственной деятельности предыдущего периода. Пусть первое благо является товаром-счетчиком. Тогда вектор меновых ценностей будет иметь вид  $p = (1, p_2, \dots, p_n)$ . Далее исходим из того, что рассматриваемый экономический агент получает («+») (предоставляет («-»)) натуральный кредит в размере  $h_1$  в начальный момент первого периода на  $T$  периодов. При этом погашение кредита будет осуществляться заемщиком поставками первого блага в равных количествах в начальные моменты всех периодов времени, начиная со второго и заканчивая  $(T + 1)$ <sup>9</sup>.

Легко убедиться, что при такой схеме размеры соответствующих поставок товара-счетчика в каждый период должны составлять  $h_1 / S(r) = (x_{11} - e_1) / S(r)$ , где  $S(r) = \sum_{t=2}^{T+1} (1/(1+r))^{t-1}$ ,  $r$  — процентная ставка<sup>10</sup>.

Предполагаем, что текущий обмен происходит мгновенно в начале каждого периода с первого по  $T + 1$ . Поэтому полученные в результате его блага непосредственно влияют на величину полезности, извлекаемую потребителем в соответствующий отрезок времени. Количество блага  $i$ , переданного («-») (полученного («+»)) в рамках текущего обмена в периоде  $t$ , будем обозначать  $z_{it}$ .

При указанных выше условиях количество благ, потребляемых экономическим агентом в первый и во все последующие периоды, будет составлять:

- первого блага в  $t = 1$ :  $x_{11} = e_1 + h_1 + z_{11}$ ;
- первого блага в  $t = 2, \dots, T + 1$ :  $x_{1t} = e_1 - h_1 / S(r) + z_{1t}$ ;
- остальных благ в  $t = 1, \dots, T + 1$ :  $x_{it} = e_i + z_{it}$ ,  $i = 2, \dots, n$ .

Легко убедиться в том, что все периоды, начиная со второго, оказываются близнецами в том смысле, что в их рамках величина потребления по всем видам благ одинаковая:  $U_2 = U_3 = \dots = U_{T+1}$ . Из природы текущего обмена следует, что суммарные величины меновых ценностей благ, которые потребитель в каждый период передает в обмен и получает из обмена, должны равняться друг другу; следовательно,  $z_{1t} + p_2 z_{2t} + \dots + p_n z_{nt} = 0$ ,  $t = 1, \dots, T + 1$ .

С учетом сказанного интересующая нас модель будет иметь вид

$$\max V = V(U_1, \dots, U_{T+1}) \quad (10)$$

<sup>9</sup> Таким образом, при принятой нами схеме кредит, полученный / предоставленный в первый период, будет влиять на потребление и в периоде  $(T + 1)$ .

<sup>10</sup>  $S(\text{rate})$  представляет собой сумму членов геометрической прогрессии, первый из которых равен дисконту  $D = 1/(1 + \text{rate})$ , а последний  $D^T = (1/(1 + \text{rate}))^T$ . Ее величина может, соответственно, определяться по формуле  $S(\text{rate}) = D(1 - D^T)/(1 - D) = [1 - (1/(1 + \text{rate}))^T] / \text{rate}$ . Легко заметить, что  $S \rightarrow 1/\text{rate}$  при  $T \rightarrow \infty$ .

при условиях<sup>11</sup>:

$$z_{11} + p_2 z_{21} + \dots + p_n z_{n1} = 0, \quad (11)$$

$$z_{1t} + p_2 z_{2t} + \dots + p_n z_{nt} = 0, \quad t = 2, \dots, T+1, \quad (12)$$

где  $U_1 = U_1[x_{11}(z_{11}, h_1), x_{21}(z_{21}), \dots, x_{n1}(z_{n1})]$ ,  $U_t = U_t[x_{1t}(z_{1t}, h_1), x_{2t}(z_{2t}), \dots, x_{nt}(z_{nt})]$ .

Построив функцию Лагранжа и приравняв ее частные производные функции нулю, получаем необходимые условия наличия максимума у целевой функции. При этом учитываем, что  $\partial x_{11} / \partial h_1 = \partial x_{it} / \partial z_{it} = 1$ ,  $t = 1, \dots, T+1$ , а  $\partial x_{1t} / \partial h_1 = -1 / S(r)$   $t = 2, \dots, T+1$ . В результате:

$$\mathcal{J}_{z_{11}} = \frac{\partial V}{\partial U_1} \frac{\partial U_1}{\partial x_{11}} + \lambda_1 = 0, \quad (13)$$

$$\mathcal{J}_{z_{i1}} = \frac{\partial V}{\partial U_1} \frac{\partial U_1}{\partial x_{i1}} + \lambda_1 p_i = 0, \quad i = 2, \dots, n; \quad (14)$$

$$\mathcal{J}_{z_{1t}} = \frac{\partial V}{\partial U_t} \frac{\partial U_t}{\partial x_{1t}} + \lambda_t = 0, \quad t = 2, \dots, T+1; \quad (15)$$

$$\mathcal{J}_{z_{it}} = \frac{\partial V}{\partial U_t} \frac{\partial U_t}{\partial x_{it}} + \lambda_t p_i = 0 \quad i = 2, \dots, n; \quad t = 2, \dots, T; \quad (16)$$

$$\mathcal{J}_{h_1} = \frac{\partial V}{\partial U_1} \frac{\partial U_1}{\partial x_{11}} - T \frac{1}{S(r)} \frac{\partial V}{\partial U_t} \frac{\partial U_t}{\partial x_{1t}} = 0, \quad t = 2, \dots, T+1; \quad (17)$$

$$\mathcal{J}_{\lambda_1} = z_{11} + p_2 z_{21} + \dots + p_n z_{n1} = 0; \quad (18)$$

$$\mathcal{J}_{\lambda_t} = z_{1t} + p_2 z_{2t} + \dots + p_n z_{nt} = 0, \quad t = 1, \dots, T. \quad (19)$$

Решение этой системы уравнений дает значения показателей текущей и трансвременной торговли, обеспечивающие максимизацию благосостояния соответствующего экономического агента при заданных величинах меновых ценностей и процентной ставки. Таким образом, эти параметры оказываются аргументами у функции и текущего, и трансвременного спросов:  $z_{it} = z_{it}(\bar{p}, rate)$ ,  $h_1 = h_1(\bar{p}, rate)$ .

Заметим, что в текущем обмене полностью сохраняют силу известные условия: в каждый период предельные нормы замещения одних благ другими должны равняться соотношению их меновых ценностей. В этом легко убедиться, если почленно разделить друг на друга два любых уравнения из (13)–(16) (уравнение (13) на (14), уравнение (15) — на следующее уравнение, характеризующее значение частной производной Лагранжа по  $z_{21}$ , и т.д.). Что же касается предельной нормы замещения настоящего будущим, то здесь возникает более сложная зависимость, чем та, которая проявляется при абстрагировании от отдельных благ при анализе эффекта трансвременного обмена.

Имея в виду, что  $\frac{\partial V}{\partial U_1} / \frac{\partial V}{\partial U_t} = \left| \frac{\partial U_t}{\partial U_1} \right|$ , мы можем представить уравнение (17) в виде

$$\left| \frac{\partial U_t}{\partial U_1} \right| = \frac{T}{S(r)} \left( \frac{\partial U_t}{\partial x_{1t}} / \frac{\partial U_1}{\partial x_{11}} \right). \quad (20)$$

Если предположить, что время, на которое предоставляется кредит, составляет один период (первый), то формула (20) приобретет вид<sup>12</sup>

$$\left| \frac{\partial U_2}{\partial U_1} \right| = (1+r) \left( \frac{\partial U_2}{\partial x_{12}} / \frac{\partial U_1}{\partial x_{11}} \right). \quad (21)$$

Левая часть уравнения — абсолютная величина предельной нормы замещения настоящего будущим, а правая — произведение единицы плюс процентная ставка на соотношение предельных полезностей блага-счетчика во втором и первом периодах<sup>13</sup>. С учетом двух гипотез — отказа от вре-

<sup>11</sup> Так как вектор  $z_t$  один и тот же для всех  $t = 2, \dots, T+1$ , то в ограничениях представлен только один из них.

<sup>12</sup> Не забываем, что кредит, предоставленный на один год, влияет на потребление второго года.

<sup>13</sup> В оптимальном положении взятые по модулю предельные нормы замещения благами друг друга равняются соотношению их меновых ценностей, поэтому второй множитель в правой части уравнения (21) может быть представлен соотношением предельных полезностей в эти периоды любого другого блага.

менного предпочтения и убывающей предельной нормы замещения настоящего будущим — мы можем заключить следующее:

- при  $\frac{\partial U_2}{\partial x_{12}} / \frac{\partial U_1}{\partial x_{11}} = \frac{1}{1+r}$  потребитель не будет заинтересован в установлении кредитных отношений ( $h_1 = 0$ );
- при  $\frac{\partial U_2}{\partial x_{12}} / \frac{\partial U_1}{\partial x_{11}} > \frac{1}{1+r}$  потребитель будет заинтересован в предоставлении кредита ( $h_1 > 0$ );
- при  $\frac{\partial U_2}{\partial x_{12}} / \frac{\partial U_1}{\partial x_{11}} < \frac{1}{1+r}$  потребитель будет заинтересован в привлечении кредита ( $h_1 < 0$ ).

Однако только один из этих вариантов совместим с рассматриваемой нами моделью. И доказать это можно следующим образом.

При отсутствии кредитных отношений текущий обмен приведет к тому, что потребление всех благ во все периоды будет одинаковым, а потому и оптимальная величина предельной полезности благ во все периоды будет одной и той же. Но если  $\frac{\partial U_2}{\partial x_{12}} / \frac{\partial U_1}{\partial x_{11}} = 1$ , то предельная норма замещения настоящего будущим (условие отсутствия трансвременного обмена) может равняться минус единице только при  $r = 0$ . Констатация этого обстоятельства важна для выявления того, каким образом отличающаяся от нуля процентная ставка будет влиять на сравнительную оценку текущего и будущего потребления.

Продифференцируем (21) по величине процентной ставки:

$$\frac{\partial |MRS_{2/1}|}{\partial r} = \left( \frac{\partial U_2}{\partial x_{12}} / \frac{\partial U_1}{\partial x_{11}} \right), \quad (22)$$

где  $|\partial U_2 / \partial U_1| = MRS_{2/1}$ .

Предельные полезности блага-счетчика  $\partial U_1 / \partial x_{11}$  и  $\partial U_2 / \partial x_{12}$  положительные, поэтому изменение процентной ставки приводит к аналогичному по направлению изменению абсолютной величины предельной нормы замещения полезности текущей полезностью будущей. Поэтому  $|\partial U_2 / \partial U_1| > 1$  при  $r > 0$ . С учетом гипотезы о квазивогнутости функции текущей полезности и, соответственно, выпуклости ее кривых безразличия это означает, что при любом положительном уровне процентной ставки потребитель будет заинтересован в предложении кредита. Этот вывод относится ко всем потребителям, формирование кредитных отношений становится невозможным, так как в рассматриваемых условиях отсутствуют экономические агенты, предъявляющие спрос на кредит. Они могут появиться лишь в случае если величина процентной ставки уйдет в отрицательную зону, но тогда исчезнут желающие предоставлять кредит.

Подводя промежуточный итог, мы можем констатировать следующее. После отказа от гипотезы о существовании у потребителя временного предпочтения исчезает симметрия в анализе текущего и трансвременного (чистого) обмена. И это, конечно, не случайно: в исходной ситуации предельная норма замещения текущей полезности будущей оказывается у всех экономических агентов одинаковой — равной минус единице. И тогда вполне естественным кажется вывод, что единственной возможностью обосновать появление чистого кредита является ссылка на различия в ожиданиях экономических агентов в отношении будущего благосостояния. В этом случае у них будет срабатывать стремление выравнять уровень потребления. Подведение же более фундаментальных основ под теорию кредитных отношений и процентной ставки приходится связывать исключительно с выходом за рамки сферы обращения (Silberberg, 1990, p. 430–433).

## 2.2. Возможность, связанная с выделением особого класса потребительских благ

Между тем, имеется еще одна возможность выведения кредитных отношений из модели чистого трансвременного обмена. До сих пор мы исходили из того, что эффект от потребления имеет разовый характер. Это предположение совершенно справедливо в отношении таких благ, как, например, продукты питания. Но существуют блага, которые служат потребителю в течение длительного времени, — начиная от предметов домашней утвари и одежды и кончая жилищами и разнообразными домашними приспособлениями. В отличие от обычных благ приобретение таких предметов имеет инвестиционный характер и оказывается непосредственно связанным

с трансвременной стороной системы индивидуальных предпочтений. Это обстоятельство дает основания предположить, что анализ обмена с участием таких благ позволит раскрыть условия существования чистых кредитных отношений, ввести понятие процентной ставки и раскрыть закономерности формирования ее равновесного уровня в рамках рассматриваемых условий.

Начнем с анализа модели, в которой потребительское благо длительного пользования является объектом обычной торговли, результатом которой становится смена собственников обмениваемых благ.

Пусть имеется  $n$  обычных (т.е. разового использования) благ, с номерами от 1 до  $n$ , причем благо под номером 1 выполняет функции блага-счетчика, и одно капитальное потребительское благо (его номер  $n + 1$ ), срок полезного действия которого составляет  $T$  периодов. На начало первого периода в распоряжении потребителя имеется набор благ (задается экзогенно), представленный вектором  $e = (e_1, \dots, e_n, e_{n+1})$ . В этот момент рассматриваемый экономический агент совершает меновые сделки, направленные на максимизацию уровня его благосостояния, в результате которых в его распоряжении оказывается набор благ  $x = (x_{11}, \dots, x_{n1}, x_{(n+1)1})$ .

К началу каждого следующего периода ( $t = 2, \dots, T$ ) все обычные блага  $x_{1t}, \dots, x_{nt}$  полностью потребляются, и в распоряжении рассматриваемого нами индивидуума снова оказывается  $e_1, \dots, e_n$  обычных благ<sup>14</sup>. Иначе обстоит дело с капитальным потребительским благом. Его количество  $x_{(n+1)t}$ , полученное по итогам обмена, совершенного в начальный момент первого периода, сохраняется у потребителя на протяжении всех  $T$  периодов его существования<sup>15</sup>. Чтобы излишне не усложнять стоящую перед нами проблему, будем считать, что и потребляемое количество услуг этого блага будет одним и тем же в течение всех  $T$  периодов. Иными словами, капитальное благо не станет объектом обмена в начальные моменты  $t = 2, \dots, T$ . С учетом этого вектор всех благ, которые будут у потребителя на начальные моменты  $t = 2, \dots, T$ , примет вид  $e = (e_1, \dots, e_n, x_{n+1})$ .

Обратим внимание на важную особенность функции текущей полезности в условиях существования потребительских благ длительного пользования. Аргументом этой функции является не количество таких благ, а объем оказываемых ими услуг потребителю в течение соответствующего периода. Для простоты будем считать, что этот объем не меняется на протяжении всего срока существования капитального блага. При таком предположении объем услуг, оказанных в течение одного периода такими благами, можно измерять их количеством. Правда, надо иметь в виду, что размерность этих показателей разная: первый является потоковым, второй — моментным; при этом второй показатель служит основой первого. Поэтому объем услуг капитального блага  $x_{(n+1)t}^*$  мы будем выделять звездочкой и рассматривать как функцию его количества:  $x_{(n+1)t}^* = x_{(n+1)}^*(x_{(n+1)t})$ .

С учетом сказанного целевая функция нашей модели будет иметь вид:

$$\max V = V \left\{ U_1 \left[ x_{11}, \dots, x_{n1}, x_{(n+1)1}^* \left( x_{(n+1)1} \right) \right], \dots, U_T \left[ x_{1T}, \dots, x_{nT}, x_{(n+1)T}^* \left( x_{(n+1)T} \right) \right] \right\}. \quad (23)$$

Ограничения модели должны учитывать указанное выше различие между первым и остальными периодами, состоящее в том, что только в первом из них капитальное благо является объектом обмена:

$$(x_{11} - e_1) + p_2(x_{21} - e_2) + \dots + p_n(x_{n1} - e_n) + p_{n+1}(x_{(n+1)1} - e_{n+1}) = 0, \quad (24)$$

$$(x_{1t} - e_1) + p_2(x_{2t} - e_2) + \dots + p_n(x_{nt} - e_n) = 0, \quad (25)$$

где  $p_i$  — меновая ценность потребительских благ ( $i = 2, \dots, n + 1$ );  $t$  — любой из периодов, начиная со второго и заканчивая периодом  $T$ .

Строим функцию Лагранжа и, приравняв ее первые частные производные нулю, получаем необходимые условия наличия максимума у функции трансвременной полезности  $V$ :

$$\mathcal{J}_{x_{i1}} = \frac{\partial V}{\partial U_1} \frac{\partial U_1}{\partial x_{i1}} + p_i \lambda_1 = 0, \quad i = 1, \dots, n; \quad (26)$$

<sup>14</sup> Нас не интересует их происхождение. Но при желании мы можем считать, что этот набор благ является результатом производственной деятельности экономического агента в течение предшествующего периода.

<sup>15</sup> Мы можем считать, что в течение всего этого времени экономический агент постепенно создает соответствующие блага и поэтому они станут доступными лишь к началу периода  $T + 1$ .

$$\mathcal{J}_{x_{it}} = \frac{\partial V}{\partial U_t} \frac{\partial U_t}{\partial x_{it}} + p_t \lambda_2 (T-1) = 0, \quad i=1, \dots, n, \quad t=2, \dots, T; \quad (27)$$

$$\mathcal{J}_{x_{(n+1)t}} = \sum_{t=1}^T \frac{\partial V}{\partial U_t} \frac{\partial U_t}{\partial x_{(n+1)t}^*} + p_{n+1} \lambda_1 = 0; \quad (28)$$

$$\mathcal{J}_{\lambda_1} = (x_{11} - e_1) + p_2(x_{21} - e_2) + \dots + (x_{n1} - e_n)p_n + (x_{(n+1)1} - e_{n+1})p_{n+1} = 0; \quad (29)$$

$$\mathcal{J}_{\lambda_2} = (x_{11} - e_1) + p_2(x_{21} - e_2) + \dots + (x_{n1} - e_n)p_n = 0. \quad (30)$$

Представим уравнения (26) и (28) следующим образом (принимая во внимание, что  $p_1 = 1$ ):

$$\frac{\partial V}{\partial U_1} \frac{\partial U_1}{\partial x_{11}} = -\lambda_1; \quad (31)$$

$$\sum_{t=1}^T \frac{\partial V}{\partial U_t} \frac{\partial U_t}{\partial x_{(n+1)t}^*} = -p_{n+1} \lambda_1. \quad (32)$$

Выражение в левой части (31) представляет собой предельную трансвременную полезность блага-счетчика в первый период, а выражение в левой части (32) — предельную трансвременную полезность капитального блага. Из (31) и (32) следует, что

$$\left( \sum_{t=1}^T \frac{\partial V}{\partial U_t} \frac{\partial U_t}{\partial x_{(n+1)t}^*} \right) / \left( \frac{\partial V}{\partial U_1} \frac{\partial U_1}{\partial x_{11}} \right) = p_{n+1}. \quad (33)$$

Таким образом, для того чтобы в рассматриваемых условиях обеспечить максимальный уровень благосостояния, потребитель должен добиваться в первом периоде при помощи меновых сделок получения такого набора благ, который характеризуется пропорциональностью предельных трансвременных полезностей всех его компонентов (в том числе представляющих капитальные блага) их меновым ценностям. Во всех остальных периодах данное требование распространяется исключительно на блага разового потребления (см. формулу (27)), поскольку обмен капитальными благами в их рамках не производится. В результате оказывается, что характерный для этих временных отрезков оптимальный набор благ отличается от набора первого периода.

Последнее обстоятельство дает основание предположить, что участник обмена увеличил бы свое благосостояние еще больше, если бы дополнительно получил возможность выравнивать уровень потребления всех благ в первом и остальных периодах. Оказывается, что имеется даже не один, а два способа решения этой задачи при помощи *изменений институционального характера*.

Первый из этих способов связан с превращением в самостоятельный объект обмена услуг, предоставляемых капитальными благами. В таком предположении нет ничего выходящего за разумные рамки: фактически мы всего лишь допускаем возможность сдачи таких благ в аренду. Как следует из модели чистой торговли, в состоянии общего равновесия все блага будут таким образом распределены между членами общества, что их меновые ценности окажутся равными предельным нормам замещения этих благ товаром-счетчиком. Такой же вывод применим и к услугам блага длительного пользования, с той особенностью, что меновая ценность  $p_{(n+1)}^*$  будет опираться на их предельную полезность  $\partial U_t / \partial x_{(n+1)t}^*$ , производную от того количества капитального блага, которое потребитель фактически использует — независимо от того, находятся ли они в его собственности или нет. Иными словами, если величина арендуемых услуг этого блага составляет  $z_{(n+1)t}^*$ , то его потребление равно  $x_{(n+1)t}^* = e_{n+1}^* + z_{(n+1)t}^*$ .

В условиях, когда возможна аренда услуг, предоставляемых благами длительного пользования, вектор потребления будет одинаковым во все периоды:  $x_{1t}, \dots, x_{nt}, x_{(n+1)t}^*$ . Следовательно, одинаковыми будут и арендные платежи, осуществляемые в форме поставок товара-счетчика. Их величина составит  $p_{(n+1)}^* z_{(n+1)}^* = p_{(n+1)}^* [x_{(n+1)}^* - e_{n+1}^*]$  (нижний индекс  $t$  мы убрали, так как величины аренды и потребления капитального блага теперь одинаковы во все периоды).

Потребитель в начале каждого периода ( $t=1, \dots, T$ ) берет (сдает) в аренду одно и то же количество капитального блага, поэтому услуги последнего в течение всего срока его функционирования будут в точности такими же, как и тогда, когда экономический агент в самом начале являлся бы собственником соответствующего количества этого блага:  $x_{(n+1)1} = e_{(n+1)} + z_{(n+1)1}$ . Иными словами, поток равных по величине арендных платежей  $p_{(n+1)}^* z_{(n+1)}^*$ , осуществляемых в начальный

момент периода, следующего за использованием потребительского блага, может рассматриваться как альтернативные издержки (выгоды), связанные с изменением заданного экзогенно количества капитального блага  $e_{(n+1)}$  при условии, что во все периоды на одинаковом (оптимальном) уровне будет также находиться количество остальных благ.

Отсюда вытекает возможность альтернативного — по отношению к аренде — решения задачи выравнивания уровня благосостояния. Речь идет об использовании с этой целью кредитных отношений, объектом которых становится капитальное благо: ведь поток равных по величине арендных платежей в течение всего срока функционирования потребительского блага длительного пользования легко может быть замещен потоком таких же платежей по обслуживанию натурального кредита<sup>16</sup>. Легко убедиться, что погашение кредита равными платежами предполагает, что величина соответствующих поставок товара-счетчика в каждый период, начиная со второго и заканчивая периодом  $T + 1$ , должна составлять  $p_{n+1}h_{n+1} / S(r) = p_{n+1} [x_{(n+1)} - e_{(n+1)}] / S(r)$ , где  $h_{n+1}$  — число привлекаемых (+) (предоставляемых (-)) в кредит единиц капитального блага. В этих условиях целевая функция потребителя и ограничения, с которыми ему приходится сталкиваться, будет иметь вид

$$\max V = V \left\{ U_1 \left[ e_1 - h_{n+1} p_{n+1} / S(\text{rate}) + z_{11}, e_2 + z_{21}, \dots, e_n + z_{n1}, x_{(n+1)1}^* (e_{n+1} + h_{n+1}) \right], \dots, \right. \\ \left. U_T \left[ e_1 - h_{n+1} p_{n+1} / S(\text{rate}) + z_{1T}, e_2 + z_{2T}, \dots, e_n + z_{nT}, x_{(n+1)T}^* (e_{n+1} + z_{n+1}) \right] \right\} \quad (34)$$

при условии

$$z_{1t} + p_2 z_{2t} + \dots + p_n z_{nt} = 0, \quad t = 1, \dots, T. \quad (35)$$

Ниже приводятся приравненные нулю частные производные функции Лагранжа, построенной на основе целевой функции (34) и ограничений (35). Следует иметь в виду, что все  $T$  периодов являются близнецами в том смысле, что в их рамках уровни потребления благ, а следовательно, и их предельные полезности  $\partial U_t / \partial x_{it}$  совпадают. В силу динамической состоятельности целевой функции не различаются также и предельные трансвременные полезности  $\partial V / \partial U_t$  отдельных периодов:

$$\mathcal{J}_{z_{it}} = \frac{\partial V}{\partial U_t} \frac{\partial U_t}{\partial x_{it}} + \lambda T = 0, \quad t = 1, \dots, T; \quad (36)$$

$$\mathcal{J}_{z_{it}} = \frac{\partial V}{\partial U_t} \frac{\partial U_t}{\partial x_{it}} + \lambda T p_i = 0, \quad i = 2, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T; \quad (37)$$

$$\mathcal{J}_{h_{(n+1)}} = \sum_{t=1}^T \frac{\partial V}{\partial U_t} \left( \frac{\partial U_t}{\partial x_{(n+1)t}^*} - \frac{\partial U_t}{\partial x_{1t}} \frac{p_{n+1}}{S(r)} \right) = 0; \quad (38)$$

$$\mathcal{J}_{\lambda} = z_{1t} + p_2 z_{2t} + \dots + p_n z_{nt} = 0, \quad t = 1, \dots, T. \quad (39)$$

Из  $nT$  уравнений, представленных формулами (36)–(37), вытекает известный вывод: в оптимальном положении предельные нормы замещения благ друг другом равняются соотношениям их меновых ценностей. Но особый интерес для нас имеет формула (38), из которой легко получить равенство

$$\frac{\partial U_t}{\partial x_{(n+1)t}^*} / \frac{\partial U_t}{\partial x_{1t}} = \frac{p_{n+1}}{S(r)}. \quad (40)$$

За предельными полезностями услуг капитального блага и блага-счетчика, представленными в левой части формулы (40), стоят их оптимальные количества. Более того, эта формула в неявной форме предполагает оптимальные количества и всех других благ, поскольку они также составляют неотъемлемую особенность положения, при котором потребитель максимизирует величину трансвременной полезности. Состав этого оптимального набора зависит от исходного

<sup>16</sup> Мы предположили, что арендные платежи за пользование капитальным благом осуществлялись в каждый период ( $2 \dots, T + 1$ ), поэтому мы должны этот же подход использовать и применительно к кредитным отношениям. Это означает, что платежи по обслуживанию кредита теперь осуществляются в начальный момент каждого периода ( $2 \dots, T + 1$ ). В результате отпадает необходимость учитывать потребление в периоде ( $T + 1$ ): к его началу положение дел в обоих случаях оказывается одинаковым.

количества благ, имевшихся в распоряжении экономического агента (вектор  $\bar{e}$ ), и вектора их меновых ценностей  $\bar{p}$ .

Таким образом, можно заключить, что величина индивидуального чистого спроса на кредит является функцией процентной ставки, вектора меновых ценностей всех благ и их исходного количества, имеющегося в распоряжении потребителя:

$$h_{n+1} = h(r, p_1, \dots, p_{n+1}, e_1, \dots, e_{n+1}). \quad (41)$$

Для того чтобы определить, как изменение процентной ставки влияет на размеры чистого спроса, поступим следующим образом. Опираясь на формулу (40), представим предельную полезность услуг капитального блага  $\partial U_t / \partial x_{(n+1)t}^*$  как функцию выражения  $p_{n+1} / S(r)$  и предельной полезности блага-счетчика  $\partial U_t / \partial x_{1t}$ , и продифференцируем ее по  $r$ :

$$\left( \frac{\partial U_t}{\partial x_{(n+1)t}^*} \right)'_r = -\frac{1}{S(r)^2} p_{n+1} \frac{\partial U_t}{\partial x_{1t}} S'(r). \quad (42)$$

Так как сумма дисконтов  $S$  — убывающая функция от процентной ставки, то изменение последней будет вести к изменению в том же направлении и величины предельной полезности услуг капитального блага. Поэтому в нормальных условиях, т.е. в условиях, когда действует закономерность убывающей предельной полезности, рост процентной ставки будет приводить к уменьшению чистого спроса на капитальное благо и, соответственно, на его привлечение при помощи кредитных отношений. Противоположная ситуация будет иметь место при снижении процентной ставки. А это означает, что функция индивидуального чистого спроса  $h_{n+1}$  является убывающей по размеру процентной ставки.

Важное значение имеет уровень процентной ставки  $r_0$ , при котором чистый спрос потребителя на кредит будет равняться нулю. Этот уровень вытекает из формулы (40), отражающей оптимальное положение, в котором возможности текущего и трансвременного обмена полностью исчерпаны. Поэтому если в этой ситуации происходит увеличение процентной ставки, потребитель оказывается заинтересованным предложить капитальное благо в кредит; если же процентная ставка снижается, потребитель начинает предъявлять спрос на заимствование капитального блага.

Поскольку у различных потребителей процентная ставка, при которой чистый спрос на кредит равняется нулю, может совпадать лишь случайно, становится очевидной их вероятная заинтересованность вступить в отношения, связанные с заимствованиями капитального блага. Механизм формирования таких отношений можно наглядно представить графически (см. рисунок).

Кривые  $h_1 = h_1(r)$  и  $h_2 = h_2(r)$  представляют функции чистого спроса на натуральный кредит двух экономических агентов. При  $r = r_1$  участвовать в кредитных отношениях не будет

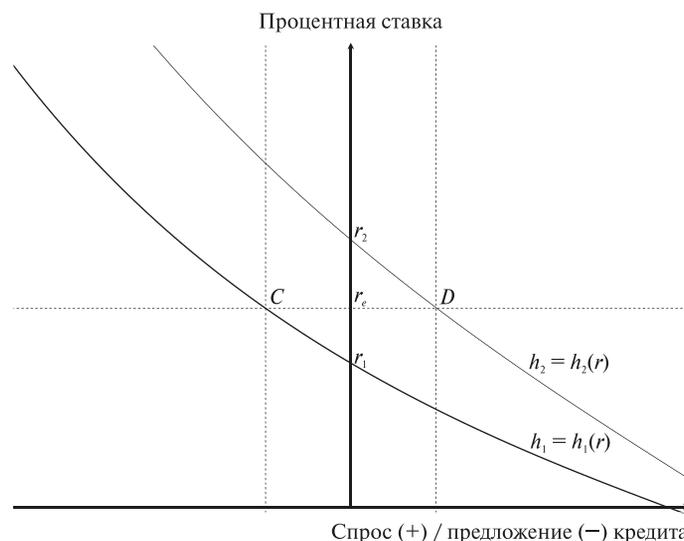


Рисунок. Графическое представление условий формирования кредитных отношений

заинтересован первый потребитель, при  $r = r_2$  — второй. Если  $r < r_1$ , то оба потенциальных участника сделки будут заинтересованы в получении кредита, а при  $r > r_2$  — в предоставлении кредита. Таким образом, кредитные отношения между этими двумя потребителями будут иметь место только в случае, когда  $r_1 < r < r_2$ , причем первый экономический агент будет выступать в качестве кредитора, а второй — в качестве заемщика. Процентная ставка  $r_c$  является равновесной, поскольку размер кредита  $AO$ , в предоставлении которого заинтересован первый потребитель, равняется размеру кредита  $OB$ , в получении которого заинтересован второй.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что оба подхода к максимизации уровня благосостояния потребителя — при помощи аренды услуг капитальных благ и при помощи их превращения в объект кредитных отношений — эквивалентны. Но отсюда прямо вытекает и возможность сочетать эти две формы получения (предоставления) доступа к услугам капитальных благ без потерь в уровне благосостояния экономического агента. Анализ такой смешанной ситуации позволяет выявить взаимосвязь между размерами арендной платы, меновой ценности капитального блага и процентной ставкой. Поскольку

$$\frac{\partial U_t}{\partial x_{(n+1)t}^*} / \frac{\partial U_t}{\partial x_{1t}} = p_{n+1}^*,$$

формула (40) может быть трансформирована в

$$p_{n+1}^* S(r) = p_{n+1}. \quad (43)$$

Таким образом, мы приходим к известному (прежде всего применительно к капитальным благам производственного характера) выводу, в соответствии с которым в равновесном состоянии меновая ценность капитального блага равняется суммарному дисконтированному потоку меновых ценностей предоставляемых им услуг. Равенство левой и правой частей формулы будет достигаться в конечном счете благодаря конкуренции между арендой услуг благ длительного пользования и их классическим обменом.

### 3. ВЫВОДЫ

Основные результаты проведенного исследования можно суммировать следующим образом.

1. Удалось показать, что в число условий кредитных отношений не входит существование денег. Иными словами, кредит логически предшествует деньгам, а не наоборот<sup>17</sup>. А это означает, что в рамках чистой экономической теории категория кредита может (а потому и должна!) вводиться уже на стадии анализа простой меновой экономики, т.е. экономики, основанной на натуральном обмене.

2. Избранная методология исследования позволяет высветить важное отличие между текущим и трансвременным обменами: первый обеспечивает формирование оптимальной структуры текущего потребления, а второй — наилучшее распределение во времени совокупных меновых ценностей, которыми потребитель располагает в различные моменты (периоды). В силу последнего обстоятельства оказывается, что трансвременной обмен, в отличие от текущего, безразличен к натуральной форме блага, являющегося объектом сделки: предметом отношений заимствования может быть любой товар. По этой причине после появления денег эта роль естественным образом фактически закрепляется за ними.

3. Уже на этой стадии анализа выявляется неразрывная связь между текущим и трансвременным обменом. Поэтому в функционале трансвременной полезности в качестве аргументов функций полезностей отдельных периодов имеет смысл рассматривать конкретные потребительские блага, а не показатель агрегированного потребления или денежный доход. Только в этом случае можно увидеть взаимную обусловленность текущего и трансвременного обменов, пропорций текущего обмена и процентной ставки.

4. Как представляется, в статье окончательно решен вопрос о возможности обнаружения достаточных условий для формирования кредитных отношений на основе анализа исключительно сферы обращения, без апелляции к процессам, происходящим в производственной сфере.

<sup>17</sup> Этот вывод в некотором смысле созвучен кредитной (долговой) теории денег, представленной, в частности, в (Masleod, 1889–1891; Mitchell-Innes, 1913; Graeber, 2011). Между тем, в контексте настоящей статьи он никакого отношения к этой теории не имеет.

Проводившиеся ранее исследования ориентировались на два возможных способа решения этой проблемы, однако в каждом были обнаружены уязвимые пункты. Первый, основанный на объединении в единой функции полезности текущих и будущих благ, размывает различие между текущим и трансвременным обменом, пропорциями текущего обмена и процентной ставкой. Второй, связанный с допущением наличия у потребителей временного предпочтения, построен на отказе (по крайней мере — частичном) от гипотезы рационального экономического агента (потребитель здесь оказывается *близоруким*).

В статье показана возможность решить проблему чистого кредита, возникающую в случае выделения из мира потребительских благ товаров длительного пользования (капитальных потребительских благ)<sup>18</sup>. Поскольку приобретение таких благ является актом инвестирования, то кредит превращается в инструмент повышения благосостояния потребителя.

5. Существование чистых кредитных отношений не должно рассматриваться ни как доказательство симметричности процессов, происходящих в рамках текущего и трансвременного обменов, ни как аргумент в пользу отказа от учета процессов, протекающих в производственной сфере. Выше было отмечено, что чистый текущий и трансвременной обмены, будучи неразрывно связанными друг с другом, имеют разные основания и потому прямой параллели между ними проведено быть не может. Точно так же выявление производственных корней кредитных отношений никак не теряет своей значимости из-за того, что также удалось обнаружить и иные условия их возникновения.

Существенно важно другое. Во-первых, мы теперь точно знаем ту стадию, на которой кредитные отношения впервые могут быть введены в анализ, что, как отмечалось в начале статьи, имеет большое значение для чистой экономической теории. Во-вторых, были выявлены причины, приводящие к возникновению особой формы трансвременного обмена — потребительского кредитования. И, наконец, в-третьих, можно утверждать, что у потребительского и производственного кредитов обнаруживается единая основа, связанная с их использованием в инвестиционных целях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Некипелов А.** (2006). Становление и функционирование экономических институтов. От «робинзонады» до рыночной экономики, основанной на индивидуальном производстве. М.: Экономистъ. [**Nekipelov A.** (2006). *Formation and functioning of economic institutes. From Robinson Crusoe model to market economy based on individual production.* Moscow: Ekonomist (in Russian).]
- Некипелов А.** (2017). Общая теория рыночной экономики: учебник. М.: Магистр. [**Nekipelov A.** (2006). *General economic theory. Manual.* Moscow: Magistr (in Russian).]
- Некипелов А.** (2019а). Кризис в экономической науке — природа и пути преодоления // *Вестник Российской академии наук*. Т. 89. № 1. СС. 24–37. [**Nekipelov A.** (2019а). The crisis in economics — nature and ways to overcome it. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 89, 1, 24–37 (in Russian).]
- Некипелов А.** (2019б). Модель робинзонады как исходный пункт чистой экономической теории // *Экономика и математические методы*. Т. 55. № 3. С. 5–20. [**Nekipelov A.** (2019b). Robinson Crusoe model as the starting point of pure economic theory. *Economics and Mathematical Methods*, 55, 3, 5–20 (in Russian).]
- Allais M.** (1947). *Economie et Interet. Presentation Nouvelle des Problemes Fondamentaux Relatifs au Role Economique du Taux de l'Interet et de leur Solutions.* Paris. Dépositaire. Librairie des Publications Officielle.
- Barro R.** (1989). The Ricardian Approach to Budget Deficits. *Journal of Economic Perspectives*, 3, 37–54.
- Bliss C.** (1975). *Capital theory and the distribution of income.* Amsterdam: North-Holland.
- Böhm-Bawerk E.** (1890). *Capital and interest, a critical history of economical theory.* London, N.Y.: Macmillan and Co.
- Fisher I.** (1970). *The theory of interest.* New York. August M. Kelley (1st edition. N.Y.: The Macmillan Co., 1930)).

<sup>18</sup> В исследованиях, касающихся эволюции потребления на разных стадиях жизни индивида и возможностей его выравнивания, традиционно придается значение вопросу о так называемых *долговечных благах* (durable goods). Так, П. Самуэльсон писал: «Для целей настоящего исследования я делаю экстремальное допущение, что *ничто не поддается хранению* (nothing will keep at all). Таким образом, никакая трансвременная торговля с Природой невозможна (т.е. для всех обменов такого рода мы имели бы  $i = -1$ ! [здесь  $i$  — процентная ставка. — *А.Н.*]). Если бы Робинзон Крузо был одинок, то он, очевидно, умер бы, как только достиг пенсионного возраста (at the beginning of his retirement years)» (Samuelson, 1958, p. 468). Как мы видим, речь здесь идет не о *капитальных потребительских благах*, порождающих поток потребительских услуг, а о поддающихся длительному хранению обычных благ.

- Gale D. (1973). On the theory of interest. *American Mathematical Monthly*, 88, 853–868.
- Graeber D. (2011). *Debt: The first 5000 years*. Brooklyn, N.Y.: Melville House.
- Katzner D.W. (2006). *An introduction to the economic theory of market behavior. Microeconomics from a Walrasian perspective*. Chaltenham, Northampton: Edward Elgar.
- Koopmans T. (1960). Stationary Ordinal Utility and Impatience. *Econometrica*, 28, 287–309.
- Macleod H. (1889–1891). *The theory of credit*. London: Longmans, Green, and Company.
- Malinvaud E. (1953). Capital accumulation and efficient allocation of resources. *Econometrica*, 21, 223–268.
- Mas-Colell A., Whinston M., Green J. (1995). *Microeconomic theory*. New York: Oxford University Press.
- Mises L. von (1971). *The theory of money and credit*. N.Y.: The Foundation for Economic Education, Irvington-on-Hudson.
- Mitchell-Innes A. (1913). What is money? *The Banking Law Journal*, May, 377–408.
- Ramsey F. (1928). A mathematical theory of saving. *Economic Journal*, 38, 543–549.
- Samuelson P. (1958). An exact consumption — loan model of interest with or without the social contrivance of money. *The Journal of Political Economy*, 66, 6, 467–482.
- Silberberg E. (1990). *The structure of economics. A mathematical analysis*. 2nd edition. N.Y.: McGraw-Hill Publishing Company.
- Solow R. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70, 65–94.
- Strotz R. (1956). Myopia and inconsistency in dynamic utility maximization. *Review of Economic Studies*, 23 (3), 165–180.
- Swan T. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic Record*, 32, 334–361.
- Weizsacker C. (1971). *Steady state capital theory*. N.Y.: Springer-Verlag.

## On the theory of credit and interest rate

© 2021 A.D. Nekipelov

**A.D. Nekipelov,**

*Moscow School of Economics Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;*  
e-mail: nekipelov@mse-msu.ru

Received 21.01.2021

**Abstract.** Taking into account the peculiarities of the methodology of “pure economic theory” the article explores the issue of the root prerequisites for the emergence of credit relations. To this end, the model of simple exchange economy has been chosen as the object of analysis, being further simplified by abstracting from all phenomena and processes occurring outside the sphere of circulation. The vulnerable points of the two available approaches to analysis of the general nature of credit are shown: of that, which combines current and future goods within a single utility function, and that, which is based upon the assumption that consumers possess the so-called time preference. It has been demonstrated that within the framework of the adopted restrictions, the existence of goods, which generate a flow of services to consumers (“capital consumer goods”), rather than provide them with one-time satisfaction is the sufficient condition for the emergence of credit. In the course of solving the problem set in the article, an inextricable link between the current and transtemporal exchange is revealed, as well as a single basis for consumer and production credit — their use for investment purposes. It also becomes clear that credit relationships logically precede money, not the other way around, as is often assumed when analyzing it.

**Keywords:** pure economic theory, simple exchange economy, credit, “pure trade”, “pure credit”, production credit, consumer credit, interest rate, transtemporal utility functions and functionals, time preference, capital consumer goods.

**JEL Classification:** B41, C10, D11, D51, D91, E41.

**DOI:** 10.31857/S042473880014718-8

---

---

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ  
И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**

---

---

**Экспорт инноваций и абсорбция зарубежных технологических знаний**

© 2021 г. С.А. Самоволева

**С.А. Самоволева,**  
ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: svetdao@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.02.2021

**Аннотация.** Существенным фактором для выхода на внешние рынки национальных компаний выступает технологическая новизна созданных ими инноваций. Для стран, отстающих в технологическом развитии, одним из источников создания таких инноваций служит абсорбция технологических знаний из-за рубежа. Характер этой абсорбции во многом определяет возможности, с одной стороны, технологического развития, с другой — попадания страны в ловушку имитации. Данная работа направлена на поиск основных факторов экспорта инноваций, и прежде всего выявление роли абсорбции зарубежных технологических знаний в деятельности российских организаций на внешних рынках. Чтобы провести детальный анализ этой роли, принимаются во внимание разные типы знаний и каналы их передачи. На основании анализа ряда эмпирических исследований выявляются другие важные факторы экспорта инноваций: интенсивность исследований и разработок, доступ к иностранным инвестициям и т.д. Для выделения совокупности действующих факторов применяется модель логистической регрессии; используются данные Росстата, характеризующие деятельность региональных организаций, осуществлявших технологические инновации, с 2010 по 2018 г. Результаты моделирования позволяют сделать вывод, что для большинства регионов России, как и для многих развивающихся стран, имеет место положительная связь между абсорбцией зарубежных знаний и экспортом инноваций с высокой степенью технологической новизны. Однако существуют значительные отличия от стран, сумевших сократить технологический разрыв, как в характере абсорбции, так и в наборе основных факторов, определяющих процессы создания и экспорта инноваций. В работе предлагается ряд направлений для разработки мер, которые могли бы стимулировать развитие этих процессов в России.

**Ключевые слова:** конкурентоспособность, абсорбционная способность, технологические инновации, новизна, экспорт, зарубежные знания, диффузия технологий, инновационная политика.

**Классификация JEL:** O3, O32, O33, O38, R11, F21, F15.

**DOI:** 10.31857/S042473880014917-7

## ВВЕДЕНИЕ

Выход национальных инновационных компаний на внешние рынки способствует росту конкурентных преимуществ страны, особенно если речь идет о компаниях высокотехнологичных отраслей (Brown, Eisenhardt, 1995; Фролов, Лебедев, 2007; Demir, 2017). Влияние развития технологий на конкурентоспособность лежит в основе объяснения парадокса Калдора, связанного с тем, что «в странах с высоким ростом относительных затрат на рабочую силу часто обнаруживается и быстрый рост их доли экспорта» (OECD, 1997). В то же время экспортно-ориентированные стратегии и участие в глобальных цепочках добавленной стоимости таят в себе угрозы для развивающихся стран: обострение конкуренции; зависимость от иностранных рынков и компаний; ограничение потенциала роста национальных фирм, ставших частью глобальных цепочек; загрязнение окружающей среды и т.д. (Van Dijck, Linnemann, Verbruggen, 1987; UNCTAD, 2013; Rodrik, 2018). Даже при экспорте высокотехнологичных или наукоемких товаров такие страны «могут оказаться в невыгодном положении» (Kumar, Siddharthan, 1993, p. 4).

Некоторым странам все же удалось снизить вышеперечисленные риски и, опираясь на положительное влияние экспорта, не только выйти на внешние рынки высокотехнологичных товаров, но и войти в число лидеров инновационного развития. Как показала практика Китая, Южной Кореи и Израиля, существенным фактором для завоевания новых конкурентных позиций выступала технологическая новизна инноваций, создание которых сопровождалось активной абсорбцией зарубежных знаний (Park et al., 2008; Li, 2011; Lavie, Drori, 2012; Lee, Szapiro, Mao, 2018).

В научной литературе оценка взаимосвязей между абсорбцией знаний и разработкой инноваций в основном сконцентрирована на анализе потоков технологических знаний, воплощенных в результатах исследований и разработок (ИиР), а в качестве канала доступа к новым знаниям рассматриваются прямые иностранные инвестиции (см., например, (Bodman, Le, 2013)). ИиР являются важным, но не единственным источником создания инноваций: в этом процессе используются и другие типы знаний, например неявные знания, носителем которых является высококвалифицированный персонал, а каналами для получения внешних знаний могут выступать миграция такого персонала, процессы партнерства и кооперации, а также импорт знаний как в неовещественной, так и в овещественной формах. Так, «импорт капитальных товаров позволяет местным фирмам приобретать новые технологии, не неся транзакционный багаж лицензий и прямых иностранных инвестиций» (Chandra, 2006, p. 22).

Для разработки адекватных мер инновационной политики необходимо понимать, насколько создание и экспорт инноваций, которые характеризуются существенной новизной, базируются на заимствовании национальными фирмами внешних, особенно зарубежных, знаний; какие типы знаний и каналы их диффузии преимущественно используются в этих процессах, а какие остаются незадействованными. Данное исследование было направлено прежде всего на выявление связей между экспортом инноваций с высоким уровнем технологической новизны и абсорбцией не только результатов ИиР, но и других типов знаний, источники которых в том числе расположены за рубежом (Schmidt, 2010; Самоволева, 2019), при этом во внимание принимались разные каналы передачи знаний (Голиченко, 2012). В условиях кризиса важно учитывать наиболее полный набор факторов, определяющих возможности создания и экспорта инноваций, так как нехватка ресурсов часто вынуждает фирмы сужать направления высокорискованной деятельности, а государство — сокращать их поддержку. Поэтому в работе были приняты во внимание и другие важные факторы экспорта, выделяемые в эмпирических исследованиях.

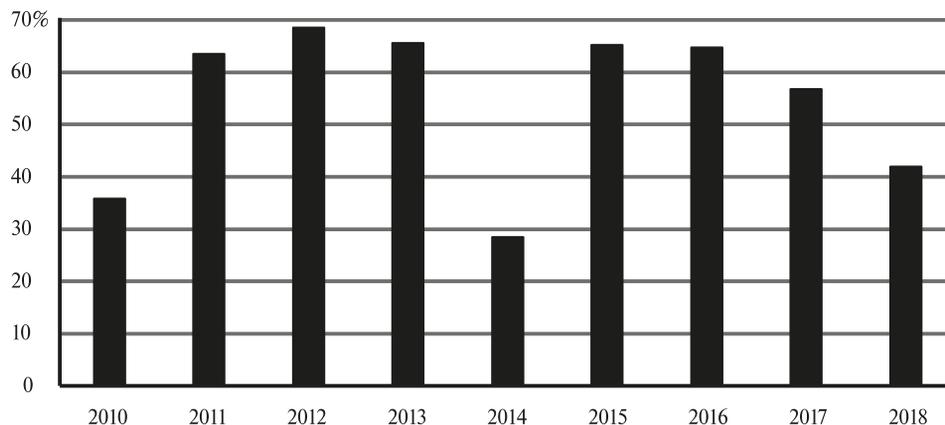
## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В экономической литературе абсорбция фирмами внешних знаний — поиск, усвоение и последующее использование таких знаний — связывается с наличием у фирм соответствующей абсорбционной способности (Cohen, Levinthal, 1990). Такая способность во многом определяет возможности участия фирм в процессах создания и диффузии инноваций. «Лишь небольшая часть инноваторов располагает достаточными ресурсами для освоения возможностей, возникающих благодаря усиливающейся глобализации рынков», поэтому «растет доля инноваций, ставших следствием объединения компетенций различных игроков как в пределах цепочки создания стоимости, так и вне ее» (Гине, Майсснер, 2012, с. 27). Если предприятия, соблюдая режим конфиденциальности технологических процессов, склонны использовать «закрытые двери» для улучшения процессов и технологий, то это значительно ограничивает «глубину и широту» технологических инноваций (Ding, Huang, 2019).

Абсорбция внешних знаний необходима для создания не только инкрементальных инноваций. Высокая стоимость, риски, ускорение времени разработки технологий, необходимость получения новых знаний о потенциальных рынках нередко заставляют фирмы обращаться к внешним источникам знаний и в процессе разработки радикальных инноваций (Flor, Cooper, Oltra, 2018; Самоволева, Балычева, 2020). Однако статистическая связь между абсорбционной способностью фирм и созданием радикальных инноваций обнаруживается в одних исследованиях (см., например, (Xie, Wang, Zeng, 2018)), но не подтверждается в других (Ritala, Hurmelinna-Laukkanen, 2013). Это можно объяснить, наряду с отличиями подходов к анализу, отраслевой спецификой, особенностями выборки национальных предприятий.

Исследование этой связи представляет наибольший интерес, но доступные данные Росстата позволяют выделить в экспортируемых инновациях лишь ту часть, которая обладает высокой степенью технологической новизны. Именно она была положена в основу для расчета зависимой переменной — экспорта вновь внедренных или подвергавшихся значительным технологическим изменениям в течение последних трех лет инновационных товаров, работ, услуг. Для анализа были использованы данные Росстата, характеризующие деятельность организаций, осуществлявших технологические инновации, в региональном разрезе с 2010 по 2018 г.

В соответствии с этими данными за рассматриваемый период средняя доля инноваций с высокой степенью технологической новизны в общей стоимости экспорта инноваций этих организаций



**Рис. 1.** Доля инноваций с высоким уровнем технологической новизны в общем объеме инновационных товаров, работ, услуг, отгруженных за пределы РФ организациями, осуществляющими технологические инновации

составила около 55%. Динамика изменения доли инноваций с высоким уровнем новизны в общем объеме экспорта инноваций косвенно указывает на влияние инновационного цикла (рис. 1), что, вероятно, обусловлено доминированием в экспорте инноваций крупных предприятий. На долю предприятий этого класса размерности традиционно приходится более 90% в стоимостной структуре экспорта вновь внедренных инновационных товаров и услуг. Что касается регионального разреза, лидерами с 2013 по 2018 г. здесь являлись Москва и Московская область, а с 2010 по 2012 г. — Сахалинская область<sup>1</sup>.

Для расчета независимых переменных, характеризующих абсорбцию технологических знаний, в работе были приняты во внимание следующие типы знаний (Самоволева, 2019):

- неовещественные технологии типа 1 (результаты ИиР, приобретенные в форме покупки или получаемые в процессах кооперации и партнерства);
- неовещественные технологии типа 2 (патенты, лицензии, ноу-хау);
- овещественные технологии в виде машин и оборудования.

Кроме того, учитывались знания, полученные в результате сделок, «не имеющих технического содержания, но связанных с реализацией конкретного соглашения по обмену технологиями»<sup>2,3</sup>. Было принято предположение, что если знания приобретены, то они усвоены и использованы при создании инноваций. Таким образом, приобретение этих типов знаний рассматривалось как показатель наличия у фирм соответствующего типа реализованной абсорбционной способности, в отличие от приема на работу специалистов, выступающего характеристикой потенциальной абсорбционной способности (Zahra, George, 2002). Таким образом, в отличие от большинства других эмпирических работ, где центром анализа являются иностранные инвестиции, в этом исследовании акцент перенесен на канал, связанный с импортом технологических знаний.

В связи с отсутствием детальной информации о затратах на покупку зарубежных технологий разного типа, а также о конкретных странах — источниках этих технологий был осуществлен переход к бинарным переменным, значения которых соответствовали данным о количестве абсорбированных технологий из стран дальнего зарубежья: 0 — если соответствующие технологии не приобретались, 1 — если приобретались. Так как данные о получении результатов ИиР в партнерстве и кооперации не отражаются в статистике, то для оценки соответствующего процесса абсорбции использовалась

<sup>1</sup> Основные направления экспорта (и импорта) этой области определяет ее близость к странам Азиатско-Тихоокеанского региона.

<sup>2</sup> Приказ Росстата от 26.12.2014 № 725 (ред. от 13.11.2017) «Об утверждении Указаний по заполнению формы федерального статистического наблюдения № 1 лицензия “Сведения о коммерческом обмене технологиями с зарубежными странами (партнерами)”».

<sup>3</sup> Эта переменная была включена в модель, так как значения ее попарных коэффициентов корреляции с другими независимыми переменными оказались крайне низкими (см. Приложение, п. 1).

информация о наличии совместных проектов в ИиР. Участие в этих проектах свидетельствует о наличии у организаций развитой базы собственных знаний, привлекающей зарубежных партнеров, и достаточного уровня способности усваивать знания в процессах партнерства и кооперации.

Также во внимание принимались такие факторы экспорта инноваций, как: активность фирм в создании технологических инноваций и уровень развития высокотехнологичных отраслей (Lall, 2000; Li, 2011; Flor et al., 2018); доступ к иностранным инвестициям (Aitken, Hanson, Harrison, 1994; Chandra, 2006; Park et al., 2008); интенсивность ИиР (Filipescu et al., 2013). Так, интенсивность ИиР положительно влияет на экспорт «за счет стимулирования роста возможностей для производства высокотехнологичной продукции, увеличения и улучшения национального интеллектуального капитала, числа патентных заявок» (Sandu, Ciocanel, 2014, p. 82). В исследовании интенсивность ИиР соотносилась с показателем наукоемкости созданных технологических инноваций: долей затрат на исследования и разработку новых продуктов, услуг и методов их производства (передачи), новых производственных процессов в общем объеме инновационных товаров, работ, услуг организаций, осуществляющих технологические инновации. Дополнительно рассматривался показатель числа патентов на изобретения, выданных Роспатентом российским заявителям, чтобы учесть эффективность ИиР, а также использование неовещественных технологий, созданных в стране.

Мерой активности фирм в инновационной деятельности выступала доля организаций, осуществляющих технологические инновации: так как исследование сконцентрировано на анализе инноваций, обладающих технологической новизной, из всей выборки инновационно активных организаций был выделен именно этот класс. Следует отметить, что влияние показателя, характеризующего инновационную активность, на экспорт инноваций с высоким уровнем новизны на макроуровне связано и с доминированием в этой деятельности разных размерных классов предприятий. Так как в России в ней явно преобладают крупные предприятия, как отмечалось выше, то можно предположить, что соответствующая переменная не должна существенно влиять на экспорт.

Для учета влияния высокотехнологичных отраслей был использован показатель доли продукции, работ и услуг, созданных в таких отраслях, в валовом региональном продукте, а для иностранных инвестиций — их доля в затратах на технологические инновации.

Чтобы учесть временной лаг между вышеперечисленными факторами и зависимой переменной, в том числе между абсорбцией внешних знаний и экспортом продуктов и услуг, обладающих существенной технологической новизной, исходные статистические данные усреднялись за три года: 2010—2012; 2013—2015 и 2016—2018 гг. Это сократило число наблюдений в выборке до 240. Переход к ряду бинарных переменных обусловил выбор логистической регрессии в качестве модели для анализа. Соответственно значения зависимой переменной были приведены в бинарный вид: 1 — если региональные организации экспортировали инновации с высокой степенью новизны, 0 — в обратном случае.

Основная гипотеза ( $H_0$ ) была сформулирована следующим образом: если в большинстве российских регионов экспорт инноваций с высокой степенью новизны базируется на диффузии знаний, созданных внутри страны, то абсорбция зарубежных технологий не оказывает влияния на повышение вероятности экспорта таких инноваций. Также проверялось отсутствие связи для российских региональных организаций между экспортом инноваций и другими вышеперечисленными факторами.

Перед включением предикторов в модель были проведены расчеты коэффициентов корреляции Пирсона, Мэтьюса (для бинарных переменных) и бисериальной корреляции между количественными (непрерывными) и бинарными переменными модели (см. Приложение, п. 1). В результате из модели была исключена переменная, характеризующая активность региональных организаций в совместных проектах ИиР с зарубежными партнерами (*Dev\_projRD*).

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭМПИРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Построение модели логистической регрессии осуществлялось в пакете Anaconda Jupyter Notebook (Python 3). Описание переменных приведено в табл. 1. Из приведенных в ней данных следует, что соотношение классов для зависимой переменной сильно не сбалансировано. Исследователи расходятся во мнениях о необходимости балансировки классов в вероятностных моделях. В ряде работ, в том числе (Audrino, Kostrov, Ortega, 2018), такая балансировка считается излишней, поэтому решение об отборе предикторов принималось на основании расчетов без дополнительной балансировки

Таблица 1. Основные характеристики переменных модели

Переменная	Характеристики
<i>Dev_Idisemb</i> — приобретение результатов ИиР региональными организациями, осуществляющими технологические инновации ( <i>бинарная</i> )	1(да) — 24,5%
<i>Dev_2disemb</i> — приобретение неовещественных технологий типа 2 ( <i>бинарная</i> )	1(да) — 45,4%
<i>Dev_emb</i> — приобретение овещественных технологий ( <i>бинарная</i> )	1(да) — 85,4%
<i>Dev_other</i> — приобретение знаний, связанных с реализацией конкретных соглашений по обмену технологиями ( <i>бинарная</i> )	1(да) — 40,8%
<i>Dev_specialist</i> — приобретение знаний в результате приема на работу высококвалифицированных зарубежных специалистов ( <i>бинарная</i> )	1(да) — 19,2%
<i>Dev_projRD</i> — участие в совместных проектах ИиР с зарубежными партнерами ( <i>бинарная</i> )	1(да) — 85,0%
<i>Share_OTI</i> — доля организаций, осуществляющих технологические инновации в регионе	Среднее — 7,83, Минимальное — 0, Максимальное — 23,87
<i>HtechshareVPR</i> — доли продукции, работ и услуг, созданных в высокотехнологичных отраслях, в валовом региональном продукте	Среднее — 20,15, Минимальное — 7,03, Максимальное — 37,33
<i>ShareFI_Exp</i> — доля иностранных инвестиций в затратах региональных организаций на технологические инновации	Среднее — 0,006, Минимальное — 0, Максимальное — 0,17
<i>ShareRD_InnProd</i> — доля затрат на ИиР новых продуктов, услуг и методов их производства (передачи), новых производственных процессов в общем объеме инновационных товаров, работ, услуг региональных организаций, осуществляющих технологические инновации (без НДС, акцизов и других аналогичных платежей)	Среднее — 0,61, Минимальное — 0, Максимальное — 60,42
<i>Patent</i> — число патентов на изобретения, выданных Роспатентом российским заявителям (в расчете на 1 млн человек)	Среднее — 93,56, Минимальное — 0, Максимальное — 661,5
<i>ExpNew</i> — экспорт инноваций высокой степени технологической новизны ( <i>зависимая, бинарная</i> )	1(да) — 79,2%

классов. По результатам расчетов (включая перебор разных наборов предикторов) из модели были исключены следующие переменные: *Dev\_Idisemb*; *Dev\_specialist*; *Share\_OTI*; *ShareFI\_Exp*; *ShareRD\_InnProd*, *HtechshareVPR*.

Причина исключения переменных, связанных с опорой инновационной деятельности на результаты ИиР (*Dev\_Idisemb* и *ShareRD\_InnProd*), может заключаться в недостаточно точном учете лага: переход от результатов ИиР к экспорту созданных на их основе инноваций может требовать более длительного периода времени. В то же время в России доля продукции наукоемких и высокотехнологичных отраслей в экспорте традиционно невелика: так, в 2017 г. эти доли в экспорте вновь введенных или подвергавшихся значительным технологическим изменениям в течение последних трех лет инновационных товаров, работ, услуг соответственно составили 13 и 19%, а в 2018 г. — 12 и 21%. Поскольку эти отрасли не доминируют в экспорте, то и вложения в ИиР слабо коррелируют с зависимой переменной. Также, так как речь идет о технологической, но не рыночной новизне, вероятно, основными рынками для таких инноваций являются рынки развивающихся стран (здесь может влиять и такой фактор, как географическая близость).

Прием на работу зарубежных специалистов на протяжении всего рассмотренного периода осуществлялся нечасто, и соответствующий предиктор (*Dev\_specialist*) имел самый низкий показатель тесноты связи с результирующей переменной. В то же время отсутствие зависимости может быть вызвано как нелинейным характером связи, так и переводом значений в бинарный код (Попова, Ротмистров, 2016).

Исключение переменной *Share\_OTI* подтвердило предположение, что инновационная активность может не оказывать существенного положительного влияния на экспорт инноваций из-за доминирования в этой деятельности крупных предприятий.

Отсутствие влияния доли иностранных инвестиций в текущих затратах на технологические инновации (*ShareFI\_Exp*), с большой долей вероятности, обусловлено тем, что ее значения в большинстве случаев оказались нулевыми (см. табл. 1).

Results: Logit							Results: Logit						
Model:	Logit		Pseudo R-squared:		0,469		Model:	Logit		Pseudo R-squared:		0,655	
Dependent Variable:	ExpNew		AIC:		140,4374		Dependent Variable:	ExpNew		AIC:		131,5256	
Date:	2020-12-30 14:53		BIC:		157,8406		Date:	2021-01-12 16:15		BIC:		149,2123	
No. Observations:	240		Log-Likelihood:		-65,219		No. Observations:	254		Log-Likelihood:		-60,763	
Df Model:	4		LL-Null:		-122,82		Df Model:	4		LL-Null:		-176,06	
Df Residuals:	235		LLR p-value:		5,6623e-24		Df Residuals:	249		LLR p-value:		9,8378e-49	
Converged:	1,0000		Scale:		1,0000		Converged:	1,0000		Scale:		1,0000	
No. Iterations	37,0000						No. Iterations	9,0000					
	Coef.	Std.Err.	z	$P >  z $	[0,025	0,975]		Coef.	Std.Err.	z	$P >  z $	[0,025	0,975]
const	-2,2402	0,6438	-3,4798	0,0005	-3,5020	-0,9784	const	-4,6616	1,1357	-4,1046	0,0000	-6,8875	-2,4357
Dev_2disemb	1,3824	0,5592	2,4720	0,0134	0,2864	2,4785	Dev_2disemb	2,4168	0,6900	3,5025	0,0005	1,0644	3,7692
Dev_emb	3,6189	0,6794	5,3268	0,0000	2,2873	4,9504	Dev_emb	5,6155	1,2579	4,4641	0,0000	3,1500	8,0811
Dev_other	2,4189	0,7171	3,3734	0,0007	1,0135	3,8243	Dev_other	4,5993	1,3019	3,5329	0,0004	2,0477	7,1509
Patent	1,1070	0,3509	3,1549	0,0016	0,4193	1,7947	Patent	2,8019	0,5629	4,9771	0,0000	1,6985	3,9052

А. Вариант 1: модель без балансировки классов

Б. Вариант 2: модель с балансировкой классов

**Рис. 2.** Параметры модели логистической регрессии после отбора признаков (перевод терминов см.: Приложение, п. 2.)

После исключения вышеперечисленных переменных и стандартизации непрерывных признаков были получены параметры для двух вариантов модели, на основании которых гипотеза  $H_0$  может быть отвергнута (рис. 2)<sup>4</sup>.

Для полученных вариантов модели с помощью модуля GridSearchCV были подобраны оптимальные параметры (дающие наименьшее значение функции потерь). Модуль предусматривал перебор значений параметров модели при разделении выборки на тестовую и прогнозную части и последующего перемешивания этих частей (кросс-валидации). В ходе дальнейшей проверки качества вариантов модели было проведено тестирование их прогнозной силы также с применением метода кросс-валидации: расчет метрик матрицы ошибок, доли общих верных прогнозов (*accuracy*) и площади под ROC-кривой<sup>5</sup> (*roc\_auc\_score*).

Для предотвращения переобучения модели при проверке качества прогноза в набор оптимизированных параметров была добавлена балансировка классов. Такой набор для исходной модели логистической регрессии без балансировки классов содержал следующие параметры: *C*:1 (сила регуляризации), *penalty*: *l2* (метод наложения штрафов: гребневая регрессия), *solver*: *liblinear* (линейный метод аппроксимации функции потерь), *class\_weight*: *'balanced'* (балансировка классов); для исходной модели с балансировкой классов — *C*: 6, *penalty*: *l1* (регрессия LASSO), *solver*: *liblinear*. После оптимизации модели коэффициенты независимых переменных сохранили и размерность, и знаки (см. Приложение, п. 3).

Метрики матрицы ошибок, полученные при расчете прогнозной силы двух вариантов модели, представлены в табл. 2.

**Таблица 2.** Метрики матрицы ошибок

Метрики	Вариант 1. Исходная модель без балансировки классов		Вариант 2. Исходная модель с балансировкой классов	
	0	1	0	1
Класс	0	1	0	1
Точность (precision)	0,56	0,95	0,89	0,93
Полнота (recall)	0,82	0,83	0,93	0,88
f1-мера (f1-score)	0,67	0,89	0,91	0,90
Среднее невзвешенное ( <i>macro avg</i> ) точности	0,75		0,91	
Среднее взвешенное ( <i>weighted avg</i> ) точности	0,87		0,91	
Среднее невзвешенное ( <i>macro avg</i> ) полноты	0,83		0,91	
Среднее взвешенное ( <i>weighted avg</i> ) полноты	0,83		0,91	
Среднее невзвешенное ( <i>macro avg</i> ) f1-меры	0,78		0,91	
Среднее взвешенное ( <i>weighted avg</i> ), f1-меры	0,84		0,91	

<sup>4</sup> По сравнению со значениями коэффициента детерминации, используемого для оценки линейной регрессии, значения псевдо- $R^2$  МакФаддена значительно ниже при расчетах на статистических данных (Hu, Shao, Palta, 2006; Smith, McKenna, 2013).

<sup>5</sup> Впервые эту (ROC, receiver operating characteristic) кривую стали использовать во время Второй мировой войны в США для анализа обработки сигналов от японских самолетов. ROC-кривая показывает соотношение (при варьировании порога отсеечения) доли верно определенных объектов положительного (1) класса в общем числе объектов этого класса (по оси *Y*) к доле ошибочно отнесенных к положительным объектов отрицательного (0) класса в общем числе объектов этого класса (по оси *X*). Чем больше значение этого соотношения, тем больше площадь под этой кривой и, следовательно, — выше качество модели.

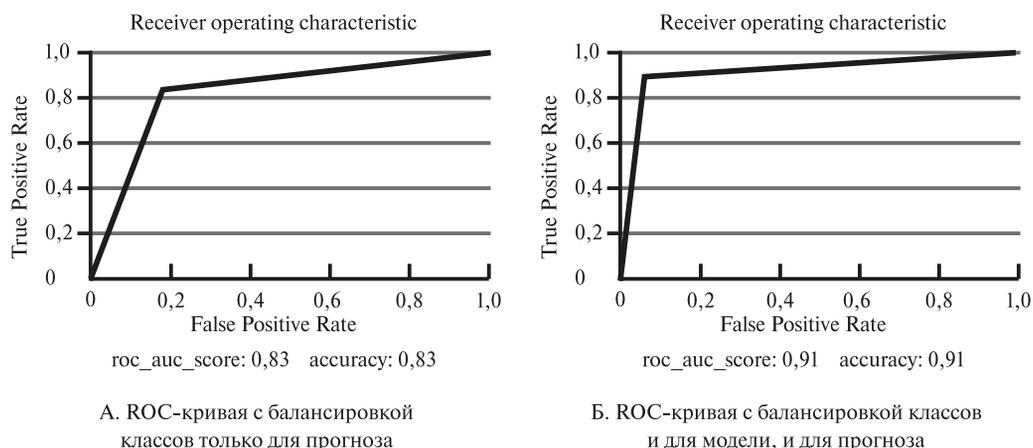


Рис. 3. Кривая ошибок (ROC-curve)

Доля общих верных прогнозов (ассурасу) для модели, основанной на исходном соотношении классов в выборке, составила 82,9%, а для модели с балансировкой классов – 91%, площадь под рок-кривой заняла соответственно 82,6 и 91% (рис. 3).

Данные метрики свидетельствуют о хорошем уровне прогнозной силы обоих вариантов модели<sup>6</sup>. Таким образом, в пределах доверительного интервала можно сделать вывод о статистически значимой положительной связи между вероятностью экспорта инноваций с высоким уровнем новизны и независимыми переменными, включенными в модель: абсорбцией из-за рубежа патентов, лицензий, ноу-хау, овеществленных технологий и сопутствующих сделкам по обмену технологий знаниям, а также числом созданных в стране патентов.

Вместе с тем, поскольку модель имеет ряд ограничений, вопрос о силе этой связи остается открытым: интерпретировать точные количественные связи представляется преждевременным, но можно выделить преобладающее влияние абсорбции овеществленных технологий.

### ОГРАНИЧЕНИЯ МОДЕЛИ

Помимо отмеченных выше проблем определения лага и переходу к бинарному виду для части переменных, модель имеет еще ряд ограничений.

1. Прежде всего, к сожалению, на данной выборке невозможно выделить экспорт в развитые страны: такой экспорт мог бы служить дополнительным подтверждением высокого уровня новизны инноваций, хотя даже в этом случае существует вероятность, что при высоком уровне технологической новизны рыночная новизна невысока, а конкурентные преимущества приобретаются за счет более низкой цены на инновационные товары и услуги.

2. Несмотря на то что получены подтверждения корректности результатов моделирования (в том числе в тесте Рамсея нулевая гипотеза не отвергается при 16,3%-ном уровне значимости), все же можно предположить нелинейный характер связей между абсорбцией технологических знаний и экспортом, а также продолжить поиск регрессоров: возможно, требуется переход к другим измерениям характеристик, исключенных из модели.

3. Организации, осуществляющие технологические инновации, могут не абсорбировать зарубежные знания в результате отсутствия финансовых возможностей или, напротив, приобретать их, например, из-за существующей патентной защиты. Однако первое приводит в конечном итоге к снижению абсорбционной способности (Samovoleva, Balysheva, 2018), а второе — напрямую связано со снижением барьеров для экспорта.

4. Выход на новые рынки позволяет предприятиям получить новые знания о рынках и технологиях (Arvanitis, Gkypali, Tsekouras, 2014). В свою очередь, доступ к новым знаниям и более высокий уровень конкуренции на внешних рынках положительно влияют на склонность

<sup>6</sup> Базовыми являются коэффициенты предикторов варианта модели без балансировки классов.

предприятий к инновационной деятельности (Autio, 2000). Таким образом, экспорт положительно связан и с доступом к новым знаниям, и с формированием стимулов к инновациям. Эти обратные связи в модели не учитывались, но при интерпретации результатов их наличие было принято во внимание.

5. В создании инноваций с высокой степенью технологической новизны важную роль играет отраслевой аспект. Поскольку экономика многих регионов России слабо диверсифицирована, то результаты исследования можно отчасти соотнести и с этим аспектом.

6. Результаты моделирования соответствуют ситуации большинства регионов. При этом регионы России сильно различаются по уровню инновационного развития (см., например, (Щепина, 2012)), включая развитие высокотехнологичных и наукоемких отраслей, абсорбционных способностей предприятий. Так, организации, осуществляющие инновации, например в Калужской области, выступают для зарубежных стран донорами результатов ИиР, а предприятия Калининградской области, экспортирующие инновации высокого уровня новизны (правда, доля такого экспорта незначительна), не приобретали зарубежных технологий с 2014 по 2018 г. В то же время в тех регионах, где на протяжении всего периода отсутствовала абсорбция зарубежных технологических знаний, как правило, не осуществлялся и экспорт инноваций с высоким уровнем новизны. К таким регионам, в частности, относятся некоторые республики, входящие в Северо-Кавказский федеральный округ.

## ВЫВОДЫ

В результате исследования была опровергнута гипотеза об отсутствии связи между абсорбцией зарубежных технологических знаний российскими организациями, осуществляющими технологические инновации, и вероятностью экспорта инноваций с высоким уровнем технологической новизны. Экспорт таких инноваций также опирается на использование знаний, созданных в стране и воплощенных в патентах. Однако акцент на заимствование зарубежных овеществленных технологий может свидетельствовать о росте угрозы попадания в ловушку имитации (Дементьев, 2006). Конечно, импорт машин и оборудования позволяет избежать «деградации фирм в результате износа мощностей» (Полтерович, 2017), но такая абсорбция стала во многих случаях практически единственной возможностью обновить и модернизировать отечественное производство. К тому же роль высокотехнологичных отраслей в экспорте инноваций невелика, а такой канал, как иностранные инвестиции, фактически не развит. При этом и иностранные инвестиции, и другие формы международного сотрудничества серьезно влияют на возможность успешного использования не только заимствованных, но и существующих в стране технологий (Keller, 2004). Такая ситуация сильно отличается от практики стран, сумевших преодолеть технологический разрыв: национальные компании этих стран активно использовали внешние, в том числе зарубежные, источники ИиР и иностранные инвестиции для создания инноваций (Li, 2011).

Это не означает необходимости полного отказа от абсорбции зарубежных знаний. Напротив, в условиях, когда технологические и собственные базы знаний большинства российских предприятий еще недостаточно развиты, ограничение доступа к новым зарубежным знаниям скорее всего приведет к падению инновационной активности, а не к переходу на собственные инновации. Некоторые страны Латинской Америки пытались использовать защиту рынка и импортозамещение, чтобы «ускорить процесс переноса промышленности на свои территории», и «такие стратегии часто приводили к положительным результатам роста в 1950-х, 1960-х и даже 1970-х» (Storper, 1995, p. 398). Видимо, возможности этих стратегий практически исчерпаны, поскольку эти государства в отличие от Южной Кореи и Китая так и не смогли приблизиться к технологической границе, задаваемой лидерами. «К реализации установки на импортозамещение следует подходить взвешенно, понимая риски того, что перенос всех стадий создания стоимости в рамки национальной экономики может при определенных обстоятельствах стать тормозом технологического развития» (Дементьев, Новикова, Устюжанина, 2016).

Сегодня важно не только сохранить действующие силы, способствующие экспорту инноваций, но и пытаться использовать незадействованные факторы для стимулирования деятельности компаний на внешних рынках. В ситуации жесткого экономического кризиса, когда платежеспособный спрос внутри страны на часть инновационной продукции сокращается, экспорт может позволить сохранить рынки и доступ к новым знаниям для части инновационно

активных предприятий. В частности, необходимо создавать условия для расширения роли высокотехнологического сектора в экспорте инноваций, а также для абсорбции внешних результатов ИиР, созданных в стране и за ее пределами, так как такие знания являются одним из важных источников радикальных инноваций.

Абсорбция внешних знаний может способствовать и росту экспорта, и собственной базы знаний отечественных предприятий, так как при этом происходит обучение персонала, адаптация знаний к производству. Важно, что такую адаптацию может дополнять и проведение ИиР. Однако технологическое обучение — сложный процесс, и механистическое воспроизведение мер, принятых в странах, успешно реализовавших возможности абсорбции зарубежных знаний, не приведет к желаемым результатам, но из опыта этих стран могут быть извлечены полезные уроки. Они, в частности, позволяют понять, что для перехода к собственным инновациям нужно заранее создавать поддерживающие этот переход институты, благоприятные условия для предпринимательства и научной деятельности, вкладывать в развитие человеческого капитала, умело сочетать открытость с автономией. В то же время в ситуации пандемии и этого уже недостаточно: необходимо выработать более быстрые и гибкие формы поддержки исследований (OECD, 2021) и мобильности знаний, развивать новые формы и направления сотрудничества в инновационной деятельности, чтобы использовать все возможности наращивания имеющейся в стране базы знаний.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Коэффициенты корреляции

Таблица П1. Коэффициенты корреляции Мэттьюса для бинарных переменных модели

Фактор	<i>Dev_projRD</i>	<i>Dev_1disemb</i>	<i>Dev_2disemb</i>	<i>Dev_emb</i>	<i>Dev_specialist</i>	<i>Dev_other</i>
<i>Dev_projRD</i>	1					
<i>Dev_1disemb</i>	0,212740	1				
<i>Dev_2disemb</i>	0,266006	0,412115	1			
<i>Dev_emb</i>	0,619919	0,235909	0,305774	1		
<i>Dev_specialist</i>	0,115619	0,238267	0,27869	0,081231	1	
<i>Dev_other</i>	0,230282	0,332881	0,212679	0,175134	0,241567	1
<i>Exp_New</i>	0,531563	0,292884	0,344297	0,601982	0,171599	0,321798

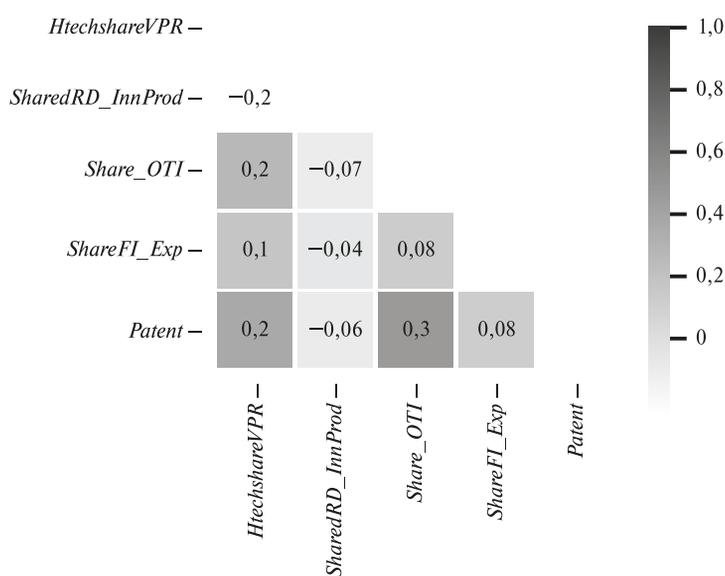


Рис. П1. Коэффициенты корреляции Пирсона количественных предикторов модели

**Таблица П2.** Коэффициенты точечной бисериальной корреляции между количественными (непрерывными) и бинарными переменными модели

Фактор	<i>HtechshareVPR</i>	<i>ShareRD_InnProd</i>	<i>Share_OTI</i>	<i>ShareFI_Exp</i>	<i>Patent</i>
<i>Dev_Idisemb</i>	<i>corr</i> = 0,1010405, <i>pvalue</i> = 0,11849	<i>corr</i> = -0,0343834, <i>pvalue</i> = 0,596083	<i>corr</i> = 0,2504995, <i>pvalue</i> = 8,7383e-05	<i>corr</i> = 0,111524, <i>pvalue</i> = 0,0846914	<i>corr</i> = 0,3204384, <i>pvalue</i> = 3,9223-07
<i>Dev_2disemb</i>	<i>corr</i> = 0,2122925, <i>pvalue</i> = 0,00093	<i>corr</i> = -0,0350722, <i>pvalue</i> = 0,5887	<i>corr</i> = 0,2208888, <i>pvalue</i> = 0,0005673	<i>corr</i> = 0,0905133 <i>pvalue</i> = 0,1621805	<i>corr</i> = 0,2111841 <i>pvalue</i> = 0,000995
<i>Dev_emb</i>	<i>corr</i> = 0,0488285, <i>pvalue</i> = 0,45148	<i>corr</i> = 0,0162262, <i>pvalue</i> = 0,802526	<i>corr</i> = 0,2958014 <i>pvalue</i> = 3,1104e-06	<i>corr</i> = 0,0735978, <i>pvalue</i> = 0,2560565	<i>corr</i> = 0,1330850 <i>pvalue</i> = 0,0393838
<i>Dev_specialist</i>	<i>corr</i> = 0,056480 <i>pvalue</i> = 0,38369	<i>corr</i> = -0,0522381 <i>pvalue</i> = 0,420476	<i>corr</i> = 0,1522639 <i>pvalue</i> = 0,0182589	<i>corr</i> = 0,1087867, <i>pvalue</i> = 0,0926635	<i>corr</i> = 0,2346094 <i>pvalue</i> = 0,000246
<i>Dev_other</i>	<i>corr</i> = 0,0742037, <i>pvalue</i> = 0,25215	<i>corr</i> = 0,0808518 <i>pvalue</i> = 0,21201	<i>corr</i> = 0,1388784, <i>pvalue</i> = 0,0315003	<i>corr</i> = 0,0432799, <i>pvalue</i> = 0,5045797	<i>corr</i> = 0,2279559 <i>pvalue</i> = 0,0003708

## 2. Характеристики модели (к рис. 2): перевод терминов

*AIC* — информационный критерий Акаике, *BIC* — Байесовский информационный критерий.

*Coef.* — коэффициент.

*Const* — константа.

*Converged* — сходимоссть.

*Date* — дата.

*Dependent Variable* — зависимая переменная.

*Df* (Degrees of Freedom) *Model* — число степеней свободы модели.

*Df Residuals* — число степеней свободы остатков.

*Log-likelihood*, *LL* — логарифмическая функция правдоподобия (максимальное значение)

*LL-null* — логарифмическая функция правдоподобия при отсутствии независимых переменных (максимальное значение).

*LLR* (*Log-likelihood ratio*) — критерий отношения правдоподобия ( $-2\log(LL-null/LL)$ ).

*LLR p-value* — вероятность того, что критерий отношения правдоподобия равен 0 (по сути, вероятность того, что нулевая гипотеза верна).

№ *Iteration* — число итераций (для обучения модели).

№ *Observation* — число наблюдений.

*p-value* — значение вероятности.

*Pseudo R-squared* — псевдо-R-квадрат (коэффициент детерминации).

*Scale* — шкала.

*Std. Err.* — стандартная ошибка.

## 3. Оптимизированные параметры модели логистической регрессии

Вариант модели без балансировки классов для прогноза:

$$F(\text{Exp\_New}) = 1/(1 + \exp\{-(1,27 \text{Dev\_2disemb} + 2,52 \text{Dev\_emb} + 1,65 \text{Dev\_other} + 0,9 \text{Patent} - 2,42)\}).$$

Вариант модели с балансировкой классов для прогноза:

$$F(\text{Exp\_New}) = 1/(1 + \exp\{-(2,32 \text{Dev\_2disemb} + 4,98 \text{Dev\_emb} + 4,02 \text{Dev\_other} + 2,64 \text{Patent} - 4,1)\}).$$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Гине Ж., Майсснер Д. (2012). Открытые инновации: эффекты для корпоративных стратегий, государственной политики и международного «перетока» исследований и разработок // *Форсайт*. № 6 (1). С. 26–37. [Guinet J., Meissner D. (2012) Open innovation: Implications for corporate strategies, government policy and international R&D spillovers. *Foresight-Russia*, 6 (1), 26–37 (in Russian).]

- Голиченко О. Г.** (2012). Модели развития, основанного на диффузии технологий // *Вопросы экономики*. № 4. С. 117–131. [**Golichenko O.** (2012). Models of development based on technology diffusion. *Voprosy Ekonomiki*, 4, 117–131 (in Russian).]
- Дементьев В. Е.** (2006). Ловушка технологических заимствований и условия ее преодоления в двухсекторной модели экономики // *Экономика и математические методы*. Т. 42. № 4. С. 17–32. [**Dementiev V.** (2006). A trap of the technological adoptions and the condition of its overcoming in the two-sector model of economy. *Economics and Mathematical Methods*, 42, 4, 17–32 (in Russian).]
- Дементьев В. Е., Новикова Е. С., Устюжанина Е. В.** (2016). Место России в глобальных цепочках создания стоимости // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*, 1 (334). С. 17–30. [**Dement'ev V.E., Novikova E.S., Ustyuzhanina E.V.** (2016). Russia's place in global value chains. *National Interests: Priorities and Security*, 1, 17–30 (in Russian).]
- Полтерович В. М.** (2017). Теория эндогенного экономического роста и уравнения математической физики // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 2. С. 193–201. [**Polterovich V.M.** (2017). The theory of endogenous economic growth and equations of mathematical physics. *Journal of the New Economic Association*, 2, 193–201 (in Russian).]
- Попова П. А., Ротмистров А. Н.** (2016). Регрессия с категориальными предикторами: критика применения фиктивных переменных и логлинейный анализ как альтернативный подход // *Социологический журнал*. Т. 22. № 3. С. 8–31. [**Popova P., Rotmistrov A.** (2016). Regression with categorical predictors: criticizing dummy-variable usage and log-linear analysis as an alternative approach. *Sociological Journal*, 22 (3), 8–31 (in Russian).]
- Самоволева С. А.** (2019) Абсорбция технологических знаний как фактор инновационного развития // *Вопросы экономики*. № 11. С. 150–158. [**Samovoleva S.A.** (2019). Technological knowledge absorption as a factor of innovation development. *Voprosy Ekonomiki*, 11, 150–158 (in Russian).]
- Самоволева С. А., Бальчева Ю. Е.** (2020) Характеристики качества инновационного процесса и абсорбция зарубежных знаний // *Инновации*. № 6 (260). С. 69–79. [**Samovoleva S., Balycheva Y.** (2020). Quality characteristics of innovation process and absorption of foreign knowledge. *Innovations*, 6 (260), 69–79 (in Russian).]
- Фролов И. Э., Лебедев К. К.** (2007). Оценка влияния высокотехнологичного экспорта на темпы роста и структуру российской экономики // *Проблемы прогнозирования*. № 5. С. 62–76. [**Frolov I.E., Lebedev K.K.** (2007). Assessing the impact of high-technology exports on the growth rate and structure of the Russian economy. *Studies on Russian Economic Development*, 5, 62–76 (in Russian).]
- Щепина И. Н.** (2012). Анализ инновационной деятельности регионов России: многоуровневый подход. Диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук. М.: ЦЭМИ РАН. [**Shchepina I.N.** (2012). Analysis of the Russian regions' innovation activities: A multilevel approach. *Dissertation for the degree of Doctor of Economics*. Moscow: CEMI RAN (in Russian).]
- Aitken B., Hanson G.D., Harrison A.** (1994). Spillover, foreign investment, and export behavior. *NBER Working Paper*, No. 4967, December.
- Arvanitis S., Gkypali A., Tsekouras K.** (2014). Knowledge base, exporting activities, innovation openness and innovation performance: A SEM approach towards a unifying framework. *KOF Working Papers*, No. 361, ETH Zurich, KOF Swiss Economic Institute, Zurich.
- Audrino F., Kostrov A., Ortega J.P.** (2018). Extending the logit model with Midas aggregation: The case of US bank failures. Available at: SSRN3117877
- Autio E.** (2000). Learning processes in high-technology clusters. *Working Paper Series* 2000, 5–32. Finland. Helsinki University of Technology.
- Bodman P., Le T.** (2013). Assessing the roles that absorptive capacity and economic distance play in the foreign direct investment-productivity growth nexus. *Applied Economics*, 45 (8), 1027–1039.
- Brown S.L., Eisenhardt K.M.** (1995). Product development: Past research, present findings, and future directions. *Academy of Management Review*, 20 (2), 343–378.
- Chandra V.** (ed.) (2006). Technology, adaptation, and exports: How some developing countries Got it right. Washington, DC: World Bank.
- Cohen W.M., Levinthal D.A.** (1990). Absorptive-capacity — a new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35 (1), 128–152.
- Demir O.** (2017). Does high tech exports really matter for economic growth? A panel approach for upper middle-income economies. *Academic Journal of Information Technologies*, 9 (30), 43–54.
- Ding M., Huang, X.** (2019). Research on the effect of external resource acquisition on process innovation. *Open Journal of Business and Management*, 7 (02), 755–775.
- Filipescu D.A., Prashantham S., Rialp A., Rialp J.** (2013). Technological innovation and exports: Unpacking their reciprocal causality. *Journal of International Marketing*, 21 (1), 23–38.

- Flor M.L., Cooper S.Y., Oltra M.J.** (2018). External knowledge search, absorptive capacity and radical innovation in high-technology firms. *European Management Journal*, 36 (2), 183–194.
- Hu B., Shao J., Palta M.** (2006). Pseudo-R2 in logistic regression model. *Statistica Sinica*, 847–860.
- Keller W.** (2004). International technology diffusion. *J. Econ. Lit.*, 42 (3), 752–782.
- Kumar N., Siddharthan N.** (1993). Technology, firm size and export behaviour in developing countries: The case of Indian enterprises. United Nations University, Institute for New Technologies.
- Lall S.** (2000). Skills, competitiveness and policy in developing countries. *QEH Documento de trabajo*.
- Lavie D., Drori I.** (2012). Collaborating for knowledge creation and application: The case of nanotechnology research programs. *Organization Science*, 23 (3), 704–724.
- Lee K., Szapiro M., Mao Z.** (2018). From global value chains (GVC) to innovation systems for local value chains and knowledge creation. *The European Journal of Development Research*, 30 (3), 424–441.
- Li X.** (2011). Sources of external technology, absorptive capacity, and innovation capability in Chinese state-owned high-tech enterprises. *World Development*, 39 (7), 1240–1248.
- OECD (1997). Ioannidis E. and Schreyer P. technology and non-technology determinants of export share growth. *Economic Studies*, 28–205.
- OECD (2021). OECD science, technology and innovation Outlook 2021: Times of crisis and opportunity. Paris: OECD Publishing.
- Park B.I., Giroud A., Mirza H., Whitelock J.** (2008). Knowledge acquisition and performance: The role of foreign parents in Korean IJVs. *Asian Business & Management*, 7 (1), 11–32.
- Ritala P., Hurmelinna-Laukkanen P.** (2013). Incremental and radical innovation in coopetition — the role of absorptive capacity and appropriability. *Journal of Product Innovation Management*, 30 (1), 154–169.
- Rodrik D.** (2018). New technologies, global value chains, and developing economies (No. w25164). National Bureau of Economic Research.
- Samovoleva S., Balycheva Y.** (2018). Absorptive capacity as a factor of firms' innovative behaviour. *European Conference on Innovation and Entrepreneurship*. Academic Conferences International Limited, 709–716.
- Sandu S., Ciocanel B.** (2014). Impact of R&D and innovation on high-tech export. *Procedia Economics and Finance*, 15, 80–90.
- Schmidt T.** (2010). Absorptive capacity: One size fits all? a Firm-Level Analysis of Absorptive Capacity for Different Kinds of Knowledge. *Managerial and Decision Economics*, 31(1), 1–18.
- Smith T.J., McKenna C.M.** (2013). A comparison of logistic regression pseudo R2 indices. *Multiple Linear Regression Viewpoints*, 39 (2), 17–26.
- Storper M.** (1995). Territorial development in the global learning economy: The challenge to developing countries. *Review of International Political Economy*, 2 (3), 394–424.
- UNCTAD (2013). World investment report 2013: Global value chains: Investment and trade for development. Chapter IV. Global Value Chains: Investment and trade for development.
- Van Dijk P., Linnemann H., Verbruggen H.** (1987). Export-oriented industrialization in developing countries. NUS Press.
- Xie X., Wang L., Zeng S.** (2018). Inter-organizational knowledge acquisition and firms' radical innovation: A moderated mediation analysis. *Journal of Business Research*, 90, 295–306.
- Zahra S., George G.** (2002). Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension. *The Academy of Management Review*, 27 (2), 185–203.

## Innovation in export and absorption of foreign knowledge

© 2021 S.A. Samovoleva

**S.A. Samovoleva,**

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

Received 14.02.2021

**Abstract.** The study focuses on a possible link between the different types of knowledge that firms acquire and the export of new products and services. Technological knowledge absorption from abroad is one of the sources of innovation for developing countries. On the one hand, this absorption leads to technological development. On the other hand, it can cause falling into the trap of technological dependence. The study tests the hypothesis about no relationship between foreign knowledge absorption and export of innovations by the Russian firms. The analysis uses the regional panel data from 2010 to 2018 to build the logistic regression model. Also, the paper considers other factors of export and innovation, for example, foreign investment and R&D intensity. The results show for most Russian regions a positive relationship between foreign knowledge absorption and the export of new products and services, as for many developing countries. However, there are significant differences from developing countries closing the technology gap, like the prevailing types of knowledge absorption and main factors of creating and exporting innovation. The paper suggests some policy recommendations to develop exporting activities of the innovative Russian firms.

**Keywords:** competitiveness, absorptive capacity, product and process innovation, novelty, export, foreign knowledge, technology diffusion, public policy.

**JEL Classification:** O3, O32, O33, O38, R11, F21, F15.

**DOI:** 10.31857/S042473880014917-7

---

---

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ  
И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**

---

---

**Пространственная модель воспроизводства на панельных данных**

© 2021 г. И.А. Лакман, В.М. Тимирьянова

**И.А. Лакман,**

*ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет, ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа; e-mail: lackmania@mail.ru*

**В.М. Тимирьянова,**

*ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет, Уфа; e-mail: 79174073127@mail.ru*

Поступила в редакцию 25.09.2020

*Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FZWU-2020-0027).*

**Аннотация.** Воспроизводственный процесс характеризует движение товарных и встречных им финансовых потоков в экономике, оказывая влияние на ее развитие, что и определяет интерес ученых, органов государственного управления и предпринимательских структур к его изучению. В данной статье воспроизводство рассматривается как процесс, изменяющийся во времени и имеющий пространственную зависимость в силу территориального несовпадения мест производства и потребления. Учесть одновременно пространственное и динамическое изменение фаз производства, обмена и потребления в рамках воспроизводственного процесса позволили методы пространственно-панельного анализа. В работе приведены результаты статистических тестов, подтверждающих возможность конструирования панельных и пространственных моделей и позволяющих определить их спецификацию, оценена пространственная автокорреляция данных, построены эконометрические модели с наложением пространственной матрицы и без нее, проведено сравнение полученных моделей. Расчеты проводились по данным 83 субъектов РФ за период 2010–2019 гг. Модели позволили выделить индивидуальные эффекты территорий, эффекты по периодам, а также оценить влияние расположения территорий на изменение производства. Результаты выявили двунаправленное влияние региональных систем воспроизводства друг на друга. Положительное значение пространственного авторегрессионного коэффициента указывает на положительную связь регионального производства в рамках национальной воспроизводственной системы, отрицательное — на то, что между соседними территориями присутствуют обратные связи. Полученные результаты значительно расширяют возможности прогнозирования и управления изменениями воспроизводственного процесса в регионах и в стране в целом.

**Ключевые слова:** панельные данные, панельная модель с фиксированными эффектами, панельная модель со случайными эффектами, пространственная модель на панельных данных, воспроизводство, пространственная автокорреляция данных.

**Классификация JEL:** C23, D51.

**DOI:** 10.31857/S042473880011338-0

## ВВЕДЕНИЕ

Воспроизводство товаров представляет собой последовательную смену фаз производства, распределения, обмена и потребления. Исследование процесса воспроизводства, циклической смены фаз, в том числе с выделением контуров движения промежуточных и потребительских товаров, проводится уже давно. В настоящее время сложилось общепринятое понимание сущности этого явления (Шнипер, Воевода, Гузнер, 1986; Ахунов, Юсупов, Янгиров, 2011; Клилин, 2013). В каждом регионе формируется своя воспроизводственная система, основанная на специфическом, присущем именно ему сочетании ресурсов воспроизводства. Различная территориальная локализация воспроизводства определяет объем и структуру межрегиональных связей как необходимых для завершения воспроизводственных циклов в региональных каналах движения товаров.

Первые исследования региональных воспроизводственных систем концентрировали внимание на региональных пропорциях воспроизводства, размещении производительных сил (Шнипер и др., 1986), в том числе в рамках межотраслевых моделей (Leontief, Strout 1963). Эти исследования нашли отражение в разрабатываемых модификациях модели «затраты–выпуск» (Килин, 2013), которые (в случае построения связанных региональных моделей) позволяют оценить межрегиональные потоки (Sonis, Hewings, Gazel, 1995) и выйти на пространственный аспект воспроизводства. Однако в рамках таких моделей сложно исследовать динамические изменения в региональных воспроизводственных системах.

Также проводились оценки региональных пропорций воспроизводства и процесса формирования валовой добавленной стоимости в рамках воспроизводственного цикла (Новоселов, 2006). Было проанализировано развитие регионального воспроизводственного потенциала, в том числе в динамике (Ахунов и др., 2011). Однако в подобных работах акцент делался на выявление региональных различий и анализ взаимного расположения региональных воспроизводственных систем не предусматривался. Такой подход упрощал представление о пространственном аспекте воспроизводственных процессов.

В работах, направленных на выявление пространственных связей, преимущественно рассматриваются только отдельные фазы воспроизводства (Demidova, 2015; Zemtsov, Tsareva, 2018), что не позволяет анализировать воспроизводство как процесс последовательной смены зависящих друг от друга фаз производства, распределения, обмена и потребления. Для анализа смены фаз воспроизводства предложено много моделей. Как правило, они раскрывают связи доходов с оборотом розничной торговли и объемами производства (Никоноров, 2018; Васильчук, 2018; Зимин, Тимирьянова, 2016; Полякова, Симарова, 2014; Пришляк, 2005). Однако в таких моделях редко выделяются пространственные эффекты и не учитывается оборот оптовой торговли, что во многом связано с его высокой концентрацией в отдельных субъектах РФ и слабым проявлением эффекта при оценке региональных наблюдений (так называемые кросс-секционные наблюдения) в рамках одного года.

Целью проведенного нами исследования является количественная оценка во времени и пространстве факторов, влияющих на процессы воспроизводства товаров. Актуальность исследования определяется ключевой ролью воспроизводственного процесса в экономическом развитии территорий и стремлением всех ее участников к его расширению.

## 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОСПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Связь фаз воспроизводства определяется их естественной последовательностью: вначале товар производится, в последующем он реализуется посредниками и в конце цикла его приобретают для конечного потребления. Здесь зависимой переменной служит показатель «Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по виду экономической деятельности «Обрабатывающие производства»<sup>1</sup> в расчете на 1 человека» (ОП<sub>it</sub>).

В модели индекс  $i$  указывает номер региона РФ ( $i = 1, \dots, 83$ );  $t$  — год наблюдения динамики.

В качестве факторных переменных, влияющих на объемы производства, в модель включены:

— переменная, характеризующая распределение и обмен. Она описывает оборот оптовой торговли с дорасчетом на объемы деятельности, не наблюдаемой прямыми статистическими методами<sup>2</sup>, в среднем на 1 жителя в субъекте РФ  $i$  в период времени  $t$  (ОТ<sub>it</sub>). Дорасчет показателя осуществляется Федеральной службой государственной статистики в соответствии с утвержденной ею методикой;

— переменная, описывающая потребление. Она отвечает за оборот розничной торговли на душу населения<sup>3</sup> (РТ<sub>it</sub>).

<sup>1</sup> Источник: Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) (<https://www.fedstat.ru/indicator/58464>).

<sup>2</sup> Источник: ЕМИСС (<https://www.fedstat.ru/indicator/40538>).

<sup>3</sup> Источник: ЕМИСС (<https://www.fedstat.ru/indicator/33533>).

Значения всех переменных пересчитаны на душу населения, чтобы акцентировать внимание на результативности, исключив влияние фактора «Заселенность территорий».

**1 этап.** Проведены тесты, позволяющие определить возможность применения инструментов панельного анализа данных к уже существующим и выдвинуть предварительные гипотезы о спецификации панельных моделей: тесты проверки наличия единичных корней в панельных переменных, предложенные в (Im, Pesaran, Shin, 2003; Hadri, 2000); проверка панельной коинтеграции (Pedroni, 1999) на выявление ненаблюдаемых эффектов и на остаточную последовательную корреляцию (Baltagi, Li, 1995; Wooldridge, 2002)). Выбор длины лага запаздывания в соответствующих тестах осуществлялся автоматически, согласно методу А. Холла (Hall, 1994). Тесты проводились без экзогенных переменных, с общей или индивидуальными константами в панельных регрессиях, а также — включением временных трендов.

**2 этап.** Построение моделей спецификаций:

— *модель панельных данных* (pooling model, или сквозная регрессия, обобщенная модель) — обычная линейная модель регрессии (без учета панельной структуры данных), в которой предписывается одинаковое изменение всех объектов выборки во все периоды времени;

— *модель с фиксированными эффектами* (fixed effect model) предполагает, что каждый объект выборки уникален и его развитие не может рассматриваться как случайный результат. В рамках такой модели можно применить два варианта оценки — *between* и *within*<sup>4</sup>;

— *модель со случайными эффектами* (random effects model), в которой индивидуальные отличия объектов наблюдения имеют случайный характер.

Если спецификации ни одной из перечисленных моделей не подходят, считается, что имеет место *семейство несвязных регрессионных уравнений*.

Для моделей с фиксированным и случайным эффектами применялись три варианта спецификации включения панельных эффектов: *individual* — предназначен для оценки индивидуальных эффектов (независимых объектов наблюдения) панелей (фиксированных или случайных), *time* — учитывает эффекты по периодам, *two ways* — включает оба типа эффектов (двухнаправленная модель).

В обобщенном виде модель панельных данных выглядит следующим образом:

$$ОП_{it} = \alpha + \mu_i + \gamma_t + \beta_1 PT_{it} + \beta_2 OT_{it} + \varepsilon_{it},$$

где зависимая переменная  $ОП_{it}$  — объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по виду экономической деятельности «Обрабатывающие производства», в расчете на 1 человека; независимая переменная (фактор)  $OT_{it}$  — оборот оптовой торговли с дорасчетом на объемы деятельности, не наблюдаемой прямыми статистическими методами, в среднем на 1 жителя в субъекте РФ  $i$ ; независимая переменная (фактор)  $PT_{it}$  — оборот розничной торговли на душу населения;  $\mu_i$  — индивидуальный эффект субъекта  $i$ , не зависящий от времени  $t$ ;  $\gamma_t$  — временные эффекты в момент времени  $t$  для каждого субъекта  $i$ , подлежащие оцениванию;  $\beta_1, \beta_2, \alpha$  — неизвестные параметры модели;  $\varepsilon_{it}$  — остатки (ошибки) — нормально распределенные случайные величины как по времени  $t$ , так и территориям  $i$ .

При  $\gamma_t = \mu_i = 0$  рассматривается модель со случайными эффектами, при  $\gamma_t = \alpha = 0$  — модель панельных данных с фиксированными эффектами; при  $\mu_i = \alpha = 0$  — модель с эффектами по периодам; при  $\alpha = 0$  — двухнаправленная модель панельных данных, которая содержит одновременно как индивидуальные, так и временные эффекты.

Далее проводились тесты на спецификацию панельных эффектов. F-тест с нулевой гипотезой о том, что все индивидуальные эффекты равны нулю, т.е. имеется сквозная регрессия ( $H_0: \mu_i = \mu_j = 0$ ). Тест Бройша–Пегана на основе LM-статистики теста множителей Лагранжа с нулевой гипотезой о том, что дисперсия случайных эффектов равна нулю, т.е. имеется сквозная регрессия ( $H_0: D(\gamma_i) = 0$ ). Тест Хаусмана на нулевую гипотезу о том, что эффекты не коррелируют с регрессорами, т.е. имеется модель со случайными эффектами ( $H_0: \text{corr}(\gamma_i, x_{it}) = 0$ ). Таким образом, спецификация случайных эффектов  $\gamma_i$  предполагает, что данные эффекты являются

<sup>4</sup> Применение оператора *between* предполагает усреднение значений по времени для отдельных объектов, *within* — оценку отклонения от среднего по времени для каждого отдельного объекта.

реализациями независимых случайных величин с нулевым средним значением и конечной дисперсией и что эффекты не коррелируют с остатками  $\varepsilon_{it}$ .

Для проверки гипотезы об отсутствии автокорреляции в остатках панельной модели анализировалась статистика Дарбина–Уотсона, измененная для панельных данных. Дополнительно проводился тест Бреуша–Годфри для оценки последовательной корреляции, применимый к моделям с фиксированными эффектами, выстраиваемыми по панели с короткими временными рядами (в данном случае — только 10 периодов).

**3 этап.** Оценка пространственной зависимости показателей, характеризующих производство, распределение, обмен и потребление в рамках воспроизводственной цепи. Для этого рассчитывались глобальный одномерный и двумерные индексы Морана, позволяющие оценить пространственную автокорреляцию значений показателей. Принципиальное отличие двумерного индекса от классического одномерного глобального индекса Морана состоит в том, что в двумерном случае пространственное отставание относится к экзогенной переменной (Anselin, Syabri, Smirnov, 2002):

$$I_b = \left[ \sum_i (\sum_j w_{ij} y_j x_i) \right] / \sum_i x_i^2,$$

где  $x_i$  — значение показателя территории  $i$ ;  $y_j$  — значение другого показателя соседней территории  $j$ ;  $w_{ij}$  — матрица весов, отражающая связь между объектами  $i$  и  $j$ .

В результате расчетов можно исследовать связи развития одной фазы воспроизводства с другими его фазами на соседних территориях.

Для определения пространственных связей задавалась матрица весов, формализующая допущение, что рассматриваемая территория имеет связь с соседними территориями:

$$W = w_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } i = j; \\ 1, & \text{если } j \text{ имеет общую границу с } i; \\ 0 & \text{— в остальных случаях.} \end{cases}$$

В матрице сделаны следующие допущения. Сахалинская область, несмотря на водную преграду, рассматривается как соседняя с Приморским, Хабаровским и Камчатским краями; г. Калининград — с Санкт-Петербургом и Смоленской областью (данное допущение является спорным, но оно позволяет захватывать в исследовании Калининградскую область, рассматривать всю территорию как единое целое, учитывая факт морского и железнодорожного сообщения между этими территориями).

**4 этап.** Выстраивание пространственных моделей на панельных данных. Модель пространственного лага (SAR — Spatial Autoregressive Model) позволяет оценить влияние на показатели региона значений показателя соседних регионов; модель пространственной ошибки (SEM — Spatial Error Model) показывает пространственную зависимость ошибок; модель пространственной автокорреляции и пространственной ошибки (SAC — spatial autocorrelation model) объединяет возможности двух предыдущих моделей.

В обобщенном виде пространственная модель, построенная на панельных данных, имеет вид

$$\text{ОП}_{it} = \alpha + \beta_1 \text{РТ}_{it} + \beta_2 \text{ОТ}_{it} + \rho \text{WОП}_{it} + v_{it}, \quad v_{it} = \lambda \text{W}u_{it} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{it},$$

где  $\text{WОП}_{it}$  — пространственно взвешенные значения зависимой переменной (переменная, умноженная на матрицу соседства);  $\text{W}u_{it}$  — матрица пространственной автокорреляции ошибки;  $\rho$  — авторегрессионный пространственный коэффициент;  $\lambda$  — вектор не зависящих от времени индивидуальных пространственно зависимых специфических эффектов.

При  $\lambda = 0$  рассматривается модель пространственного лага, при  $\rho = 0$  — модель пространственной ошибки. Индивидуальные эффекты по периодам  $\gamma_t$  и по объектам  $\mu_i$  могут быть как фиксированными, так и случайными (в зависимости от выбранной спецификации). В модели с фиксированными эффектами дамми-переменная вводится для каждой пространственной единицы и для каждого периода времени (кроме одной, чтобы избежать полной мультиколлинеарности). В модели случайных эффектов  $\mu_i$  и  $\gamma_t$  рассматриваются как случайные переменные, независимо и одинаково распределенные с нулевым средним и дисперсией  $\sigma_\mu^2$  и  $\sigma_\gamma^2$  соответственно. Предполагается, что  $\mu_i$ ,  $\gamma_t$  и  $\varepsilon_{it}$  не зависят друг от друга. Более детально спецификация случайных компонентов и особенности оценки ошибки для каждого случая представлены в работах (Mutl, Pfaffermayr, 2011; Millo, Piras, 2012).

Оценка возможностей построения таких моделей оценивалась с помощью тестов множителей Лагранжа (Baltagi et al., 2003; Baltagi et al., 2007) для всех случайных комбинаций эффектов и пространственной автокорреляции. Данные тесты позволяют проверить наличие пространственной корреляции в наблюдениях и идиосинкразических эффектов (индивидуальных региональных эффектов). Также был проведен модифицированный тест Хаусмана (Mutl, Pfaffermayr, 2011), в котором проверяется предположение о случайных эффектах в данных (Millo, Piras, 2012).

**5 этап.** Сравнение модели (этап 2), построенной на панельных данных без учета пространственной связи территорий, с моделью, построенной с учетом пространственной связи. По выбранным моделям проводится интерпретация результатов с позиции реализации воспроизводственного процесса. Критериями выбора подходящей спецификации модели являются значения критериев Акайке–Шварца ( $R^2$ ).

Расчеты проводились по данным для 83 субъектов РФ в период 2010–2019 гг., т.е. панельные переменные состояли из 83 кросс-секционных наблюдений и 10 периодов времени. Не учитывались сведения по Республике Крым и г. Севастополь в силу отсутствия сопоставимой статистики по ним в период до 2015 г.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТРОЕНИЯ ПАНЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

Для определения возможности применения инструментов панельного анализа к анализу производственных процессов были проведены тесты на наличие единичных корней в процессах, описываемых панельными данными. Отметим, что рассматриваемые данные имеют относительно небольшую длину ретроспективы (10 лет) и охватывают 83 объекта наблюдения. Тесты показали, что при анализе с исключенным детерминированным линейным трендом и индивидуальными эффектами гипотеза о наличии единичного корня не отклоняется (табл. 1). Иными

**Таблица 1.** Результаты тестирования гипотезы о наличии единичных корней в показателе объема отгруженной продукции

Тест	Гипотеза	Альтернативная гипотеза	Индивидуальная константа (эффект)	Индивидуальный перехват и временной тренд
Тест Има–Песарана–Шина	$H_0$ : наличие единичного корня в неоднородных панелях	$H_1$ : стационарность	$W_{itbar} = 7,74$ ; $p\text{-value} = 1$	$W_{itbar} = -9,72$ ; $p\text{-value} < 0,0001$
Тест Хадри	$H_0$ : стационарность либо на исходном ряде, либо вокруг линейного тренда	$H_1$ : наличие индивидуальных единичных корней в панельных данных	$z = 41,57$ ; $p\text{-value} < 0,0001$	$z = 8,97$ ; $p\text{-value} < 0,0001$

**Таблица 2.** Результаты тестирования на оценку коинтеграции эндогенной ( $OP_{it}$ ) и экзогенных переменных

Спецификация модели		$OP_{it}$		$PT_{it}$	
		Исходные	Стандартизированные	Исходные	Стандартизированные
Обобщенная панельная модель	$\nu$	1,224 $p\text{-value} = 0,111$	-1,219 $p\text{-value} = 0,888$	0,585 $p\text{-value} = 0,279$	0,525 $p\text{-value} = 0,299$
	$\rho$	-1,126 $p\text{-value} = 0,130$	-1,390 $p\text{-value} = 0,082$	0,102 $p\text{-value} = 0,541$	-2,394 $p\text{-value} = 0,008$
	ADF	-4,699 $p\text{-value} < 0,0001$	-5,143 $p\text{-value} < 0,0001$	-4,159 $p\text{-value} < 0,0001$	-5,245 $p\text{-value} < 0,0001$
Индивидуальные константы (эффекты) в модели	$\nu$	-0,992 $p\text{-value} = 0,839$	0,741 $p\text{-value} = 0,229$	-0,162 $p\text{-value} = 0,564$	-1,313 $p\text{-value} = 0,905$
	$\rho$	1,922 $p\text{-value} = 0,973$	-0,257 $p\text{-value} = 0,399$	-0,389 $p\text{-value} = 0,229$	-1,239 $p\text{-value} = 0,107$
	ADF	-2,750732 $p\text{-value} < 0,0001$	-6,033 $p\text{-value} < 0,0001$	-8,219 $p\text{-value} < 0,0001$	-8,882 $p\text{-value} < 0,0001$
Индивидуальная константа и наличие детерминированного тренда	$\nu$	8,557 $p\text{-value} < 0,0001$	3,382 $p\text{-value} = 0,0004$	-1,499 $p\text{-value} = 0,933$	-5,691 $p\text{-value} = 1,00$
	$\rho$	2,762 $p\text{-value} = 0,997$	3,837 $p\text{-value} = 0,999$	3,044 $p\text{-value} = 0,998$	3,962 $p\text{-value} = 1,00$
	ADF	-4,314 $p\text{-value} < 0,0001$	-7,435 $p\text{-value} < 0,0001$	-8,129 $p\text{-value} < 0,0001$	-13,776 $p\text{-value} < 0,0001$

Таблица 3. Результаты проведенных предварительных тестов для уточнения спецификации панельных моделей регрессии

Тест	Значение	Альтернативная гипотеза
Критерий Вулдриджа для ненаблюдаемых индивидуальных эффектов: $H_0$ : нет ненаблюдаемых эффектов в остатках	$z = 4,864$ ; $p\text{-value} < 0,0001$	Присутствует ненаблюдаемый индивидуальный эффект в остатках
Локально устойчивые тесты Бера–Соса–Эскудеро–Юна	$\chi^2 = 26,878$ , $p\text{-value} < 0,0001$	Наличие случайных эффектов и авторегрессии первого порядка (AR(1)) в остатках
Односторонний тест Бера–Соса–Эскудеро–Юна	$z = 42,459$ , $p\text{-value} < 0,0001$	Наличие авторегрессии первого порядка (AR(1)) в остатках и случайных эффектов
Совместный тест Балгати–Ли на случайные эффекты и последовательную корреляцию при нормальности и гомоскедастичности идиосинкразических ошибок	$\chi^2 = 2533,2$ , $p\text{-value} < 0,0001$	Наличие последовательной корреляции и/или случайных эффектов
Балгати–Ли-двусторонний тест ЛМ	$\chi^2 = 540,61$ , $p\text{-value} < 0,0001$	AR(1)/MA(1) ошибки в модели со случайными эффектами
Тест Вулдриджа на последовательную корреляцию в моделях с фиксированными эффектами	$F = 1414,8$ , $df_1 = 1, df_2 = 745$ , $p\text{-value} < 0,0001$	Последовательная корреляция
Тест Песарана на кросс-секционную зависимость	$z = 37,403$ , $p\text{-value} < 0,0001$	Кросс-секционная зависимость

Таблица 4. Результаты теста Хаусмана

Параметр	Модель	Модель с фиксированными эффектами	
		<i>within</i>	<i>between</i>
<i>individual</i>	Модель со случайным эффектом	$\chi^2 = 0,765$ , $p\text{-value} = 0,682$	$\chi^2 = 0,805$ , $p\text{-value} = 0,669$
	Модель с фиксированными эффектами, оператор <i>within</i>	–	$\chi^2 = 0,805$ , $p\text{-value} = 0,669$
<i>time</i>	Модель со случайными эффектами	$\chi^2 = 8,589$ , $p\text{-value} = 0,014$	$\chi^2 = 56,097$ , $p\text{-value} < 0,0001$
	Модель с фиксированными эффектами, оператор <i>within</i>	–	$\chi^2 = 13,916$ , $p\text{-value} = 0,001$
<i>time</i>	Модель со случайным эффектом	$\chi^2 = 28,85$ , $p\text{-value} < 0,0001$	–

словами, данные тесты позволили выдвинуть гипотезу о наличии фиксированных эффектов в спецификации модели.

При включении в тестируемое уравнение детерминированного тренда критерии показывают, что нулевые гипотезы о существовании общего единичного корня для всей панельной переменной и индивидуальных единичных корней для каждого из временных рядов, объединенных в панель, можно отвергнуть.

Для проверки панельной коинтеграции проводился тест Педрони (Pedroni, 1999), в котором нулевая гипотеза об отсутствии панельной коинтеграции проверяется одновременно с гипотезой о наличии обобщенных коэффициентов авторегрессии (*within*-оценка) и с гипотезой о наличии обобщенных коэффициентов авторегрессии (*between*-оценка). В обоих случаях рассчитываются статистика Вальда ( $v$ ),  $\rho$ -статистика и статистика расширенного теста Дики–Фуллера (ADF) для проверки нулевой гипотезы (табл. 2). Результаты тестирования позволили сделать выводы о наличии коинтеграции рассматриваемых в исследовании панельных переменных и предположить возможность дальнейшего анализа долгосрочных взаимосвязей.

Далее были проведены тесты на наличие ненаблюдаемых эффектов и на остаточную последовательную корреляцию (табл. 3). Результаты последовательно проведенных тестов позволили опровергнуть гипотезу о верной сквозной (обобщенной) модели: F-тест для оператора *within*:  $F = 47,469$ ;  $p\text{-value} < 0,0001$ ; тест Бройши–Пегана на основе LM-статистики теста множителей Лагранжа  $\chi^2 = 2506,3$ ;  $p\text{-value} < 0,0001$ .

Тест Хаусмана показал, что наиболее подходящей спецификацией модели является панельная модель регрессии с включением фиксированных эффектов (табл. 4). В табл. 5 представлены результаты оценивания моделей методом наименьших квадратов.

Таблица 5. Результаты построения панельных моделей

Показатель	Модель панельных данных (сквозная регрессия, модель пула)	Модель со случайным эффектом			Модель с фиксированными эффектами				
		<i>individual</i>	<i>time</i>	<i>twoways</i>	<i>individual</i>		<i>time</i>		<i>twoways</i>
					<i>within</i>	<i>between</i>	<i>within</i>	<i>between</i>	
Константа	-1,21 (13,37)	-25,74*** (14,69)	-1,21 (-13,37)	-7,61 (-17,07)		17,65 (50,65)		-17,26 (18,26)	
Объем розничной торговли, $\beta_1$	1,02* (0,10)	1,2* (0,07)	1,02* (-0,1)	1,10* (-0,09)	1,21* (0,069)	0,88** (0,387)	0,86* (0,12)	0,74** (0,29)	0,43** (0,16)
Объем оптовой торговли, $\beta_2$	0,16* (0,03)	0,14* (0,03)	0,16* (-0,03)	0,13* (-0,03)	0,14* (0,029)	0,18*** (0,095)	0,17* (0,03)	0,52** (0,18)	0,12* (0,03)
R <sup>2</sup>	0,31	0,49	0,31	0,29	0,5	0,25	0,23	0,98	0,05
Скорректированный R <sup>2</sup>	0,30	0,48	0,3	0,29	0,45	0,23	0,21	0,97	-0,07

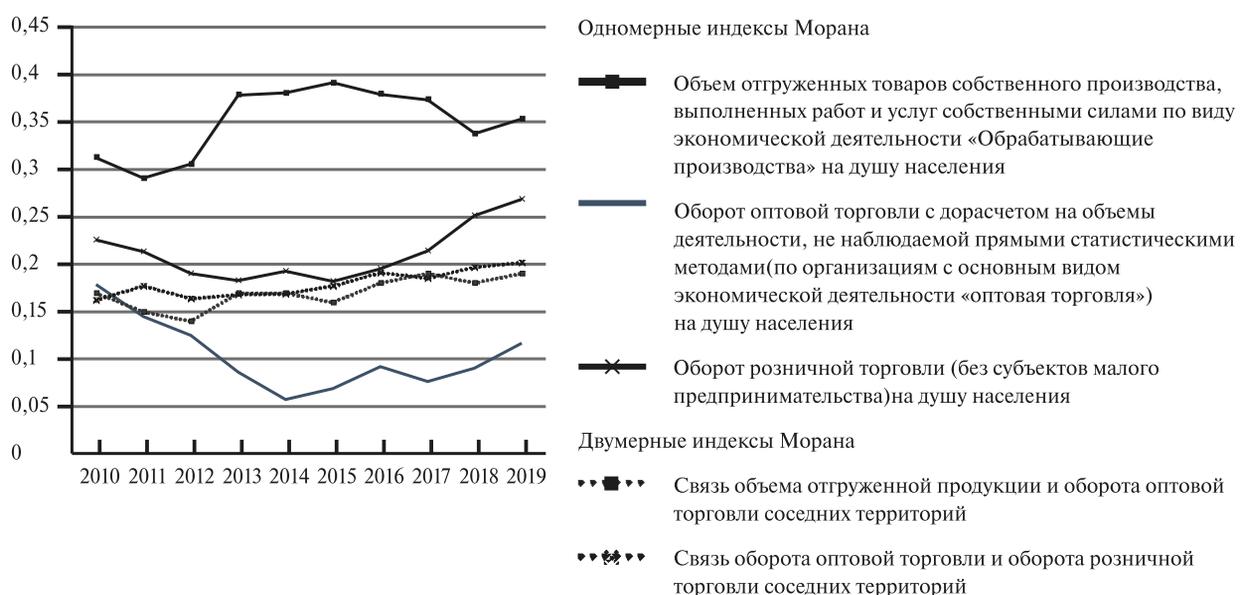
**Примечание:** В скобках указана стандартная ошибка оценок коэффициентов.

\*  $p$ -value < 0,001; \*\*  $p$ -value < 0,01; \*\*\*  $p$ -value < 0,05.

Для оценки качества панельных регрессионных моделей были проведены тесты, согласно которым эффективные оценки получены только по модели с фиксированными индивидуальными эффектами (оператор *between*): тест Бреуша–Годфри —  $\chi^2 = 0,221$ ;  $p$ -value = 0,895; тест Дарбина–Уотсона —  $DW = 1,889$ ;  $p$ -value = 0,291. Однако данная модель не лишена недостатка, так как проверка остатков модели указала на их пространственную зависимость.

### 3. ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АСПЕКТ ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Воспроизводительные процессы не являются локально ограниченными. Несовпадение мест производства и потребления требует учета в исследованиях каналов связи между ними. Согласно построенным моделям оптовая торговля, определяющая эту связь, положительно влияет на реализацию первой фазы воспроизводства. Однако оптовая торговля предполагает не просто реализацию определенных объемов товаров, а межрегиональное взаимодействие в целях продвижения к потребителю созданных в рамках фазы производства товаров с одной территории на другую. Для обоснования пространственных связей между фазами воспроизводства был проведен расчет одномерных и двумерных индексов Морана для всех рассматриваемых переменных (см. рисунок)



**Рисунок.** Значение глобального индекса Морана

Таблица 6. Тесты на наличие пространственных эффектов

Тест	Гипотеза	Значение
Тест Балтаги–Сонга–Коха	$H_0: \lambda = 0; \rho = 0$	$LM-H = 2591,5; p-value < 0,0001$
Тест Балтаги–Сонга–Коха на маржинальный эффект	$H_0: \lambda = 0$ при предположении, что $\rho = 0$	$LM1 = 50,06; p-value < 0,0001$
	$H_0: \rho = 0$ при условии отсутствия случайных эффектов ( $\lambda = 0$ )	$LM2 = 9,231; p-value < 0,0001$
Условный тест Балтаги–Сонга–Коха	$H_0: \lambda = 0$ при условии возможного существования пространственной автокорреляции	$LM^* - \lambda = 7,68; p-value < 0,0001$
	$H_0: \rho = 0$ при условии возможного существования случайных эффектов	$LM^* - \mu = 49,77; p-value < 0,0001$
Модифицированный тест Хаусмана	$H_0: \text{corr}(\gamma_i, x_{it}) = 0$ для пространственных моделей: – с пространственным лагом; – с пространственной ошибкой; – с пространственным лагом и ошибкой	$\chi^2 = 16,703; p-value = 0,0002$ $\chi^2 = 0,81775; p-value = 0,664$ $\chi^2 = 42,996; p-value < 0,0001$

Таблица 7. Результаты построения пространственных панельных моделей с фиксированными эффектами

Коэффициент	Спецификация модели		
	<i>individual</i>	<i>time</i>	<i>twoways</i>
Объем розничной торговли, $\beta_1$	0,496** (0,086)	0,448** (0,091)	0,285* (0,133)
Объем оптовой торговли, $\beta_2$	0,138** (0,024)	0,187** (0,023)	0,116** (0,025)
Пространственный авторегрессионный коэффициент, $\rho$	0,103** (0,009)	0,145** (0,005)	0,105** (0,016)
Коэффициент пространственной ошибки, $\lambda$	-0,065** (0,017)	-0,154** (0,015)	-0,057* (0,027)
Коэффициент детерминации $R^2$	0,9	0,37	0,91
Критерий Айкаике	8667,2	10226,9	8652,9
Критерий Шварца	8690,8	10250,5	8676,5

\*\*  $p-value < 0,001$ ; \*  $p-value < 0,01$ .

**Примечание.** В скобках указана стандартная ошибка оценок коэффициентов.

Анализ данных за 2010–2019 гг. показал, что сильнее всего пространственная автокорреляция проявляется в объеме отгруженных товаров. Отмеченные пространственные связи указывают на возможность включения пространственного аспекта в выстраиваемые модели воспроизводства. Для определения возможности построения пространственных моделей на панельных данных были проведены тесты Балтаги–Сонга–Коха и Хаусмана (табл. 6).

Тесты Балтаги–Сонга–Коха показали необходимость включения в модель как пространственного лага, так и пространственной ошибки. Модифицированный тест Хаусмана (Mutl, Pfaffermayr, 2011) подтвердил гипотезу о необходимости введения фиксированных эффектов в спецификацию модели пространственного лага и пространственного лага ошибки. Учитывая результаты тестов, была выбрана спецификация модели SAC, включающая пространственные лаг и ошибку с фиксированными эффектами (табл. 7). Для оценки коэффициентов такой модели был выбран метод максимального правдоподобия.

Среди оцененных моделей наименьшее значение критериев Айкаике и Шварца и наибольшее значение  $R^2$  наблюдается у двухфакторной (двунаправленной) модели, включающей как временные, так и индивидуальные эффекты. Значения коэффициентов указывают на положительную связь между объемом отгруженной продукции и оборотом розничной торговли. Оптовая торговля, одной из функций которой является продвижение товаров как на внутренние, так и внешние рынки, согласно проведенным расчетам пока слабо, но также положительно связана с производством. Поэтому субъекты РФ должны активно ее развивать, стремясь сместить потоки на свою территорию, что способствует не только росту производства, но и увеличению валового регионального продукта, в объеме которого учитывается добавленная стоимость торговли. Прямая связь объема отгруженной продукции с объемами отгружаемой продукции в соседних территориях, определяемая положительным значением пространственного авторегрессионного коэффициента, косвенно указывает на взаимодействия между ними в рамках технологических

цепочек, а также на активное использование продуктов и товаров, произведенных на соседних территориях, что может положительно оцениваться с точки зрения интеграционных процессов и связанности пространства. Обратная зависимость с пространственной ошибкой указывает на то, что между соседними территориями наблюдаются также и обратные связи, которые в последующем целесообразно раскрыть.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное нами исследование показало, что изучать воспроизводственные процессы можно с применением методов пространственного панельного анализа. Построение таких моделей позволяет получать надежные и содержательные оценки, изучать истинные причинно-следственные связи между различными переменными, что представляется невозможным в рамках анализа данных только в динамике или только в пространстве отдельно.

В отличие от ранее полученных моделей, оценивающих связь производства и потребления в рамках воспроизводственной цепи, предложенные нами модели позволяют захватить как пространственный эффект, так и эффект времени, а также учесть результативность фазы распределения и обмена. В ранее разрабатываемых простых кросс-секционных моделях роль оптовой торговли не учитывалась в силу ее значительной концентрации в нескольких субъектах РФ при слабом развитии на остальной территории.

Расчеты показали, что пространственная модель регрессии по панельным данным адекватно описывает воспроизводственные процессы. Изменение объема отгруженной продукции на 91% (по  $R^2$ ) определяется факторами времени и пространства наряду с оборотами торговли. Таким образом, потребление, отражаемое в обороте розничной торговли, и обмен, характеризующий оптовую торговлю, положительно влияют на рост объема отгруженной продукции. Пространственный эффект проявляется в росте объема отгруженной продукции при его увеличении на соседних территориях.

Полученные нами результаты позволяют анализировать связь фаз воспроизводства, однако имеется ряд недостатков, определяемых данными. Во-первых, объем отгруженных товаров включает как производство потребительских, так и промежуточных товаров. Во-вторых, в моделях учитывается матрица простого соседства первого порядка. В случае применения матрицы обратных расстояний оценки могут быть количественно уточнены. Дальнейшее развитие исследований в данном направлении может предполагать включение пространственно взвешенных данных об обороте оптовой и розничной торговли, позволяющих учесть развитие фаз воспроизводства на соседних территориях.

Выводы, полученные нами в ходе данного исследования, в том числе касаются влияния оптовой торговли на объем производства. Они могут быть использованы органами государственного управления при планировании территориального развития, а также предприятиями при составлении собственной стратегии развития.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Ахунов Р.Р., Юсупов К.Н., Янгиров А.В.** (2011). Управление воспроизводственным потенциалом региона. Уфа: РИЦ БашГУ. [**Akhunov R.R., Yusupov K.N., Yangirov A.V.** (2011). *The reproductive potential of the region governance*. Ufa: BashSU (in Russian).]
- Васильчук Е.С.** (2018). Оценка состояния и прогнозирование развития розничной торговли в регионе. Актуальные проблемы и перспективы развития государственной статистики в современных условиях. Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. С. 69–71. [**Vasilchuk E.S.** (2018). *Assessing the state and forecasting the development of retail trade in the region*. In: *Actual problems and prospects for the development of state statistics in modern conditions*. Materials of the IV International Scientific and Practical Conference, 69–71 (in Russian).]
- Зимин А.Ф., Тимирьянова В.М.** (2016). Пространственный аспект развития рынка потребительских товаров: монография. Уфа: Уфимский институт (филиал) РЭУ им. Г.В. Плеханова. [**Zimin A.F., Timiryanova V.M.** (2016). *The spatial aspect of the development of the consumer goods market: monograph*. Ufa: Ufa Institute (branch) REU named after G.V. Plekhanov (in Russian).]
- Килин П.М.** (2013). Конструктивная политэкономия. Тюмень: ТюмГНГУ. [**Kilin P.M.** (2013). *Constructive political economy*. Tyumen: TSOGU (in Russian).]

- Никоноров В.М.** (2018). Комплекс моделей торговли РФ как сложной экономической системы // *Наука и бизнес: пути развития*. № 2 (80). С. 50–55. [Nikonorov V.M. (2018). A set of trade models in the Russian Federation as a complex economic system. *Science and Business: Ways of Development*, 2 (80), 50–55 (in Russian).]
- Новоселов А.С.** (2006). Регион как исходное понятие теории регионального воспроизводства // *Регион: экономика и социология*. № 3. С. 3–14. [Novoselov A.S. (2006). Region as the initial concept of the theory of regional reproduction. *Region: Economics and Sociology*, 3, 3–14 (in Russian).]
- Полякова А.Г., Симарова И.С.** (2014). Региональное экономическое пространство и территориальное развитие: оценка действия сил связанности // *Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление*. № 2. С. 48–60. [Polyakova A.G., Simarova I.S. (2014). Region economical space and territory development: The evaluation of cohesion forces. *Journal of Applied Economic Research*, 2, 48–60 (in Russian).]
- Пришляк Е.А.** (2005). Воспроизводство продовольственных товаров и его влияние на уровень жизни населения: автореферат дис. ... кандидата экономических наук: 08.00.01. Марийск: гос. техн. ун-т. Йошкар-Ола. 24 с. [Prishlyak E.A. (2005). *The reproduction of food products and its impact on the standard of living of the population: Abstract*. Marijs. state tech. un-t Yoshkar-Ola (in Russian).]
- Шнипер Р.И., Воевода И.Н., Гузнер С.С.** (1986). Региональная программа и принципы ее разработки: Вопросы межотраслевого взаимодействия. Новосибирск: Наука. [Shniper R.I., Voevoda I.N., Guzner S.S. (1986). *Regional program and principles of its development: Issues of intersectoral interaction*. Novosibirsk: Nauka (in Russian).]
- Anselin L., Syabri I., Smirnov O.** (2002). Visualizing multivariate spatial correlation with dynamically linked Windows. *Computing Science and Statistics*, 33p. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Visualizing-Multivariate-Spatial-Correlation-with-Mirnov/4e34bd70317377971ba8df7259288b972ad6a239>
- Baltagi B.H., Song S.H., Jung B.C., Koh W.** (2007). Testing for serial correlation, spatial autocorrelation and random effects using panel data. *Journal of Econometrics*, 140 (1), 5–51.
- Baltagi B.H., Song S.H., Koh W.** (2003). Testing panel data regression models with spatial error correlation. *Journal of Econometrics*, 117, 123–150.
- Baltagi B., Li Q.** (1995). Testing AR(1) against MA(1) disturbances in an error component model. *Journal of Econometrics*, 68, 133–51.
- Demidova O.** (2015). Spatial effects for the eastern and western regions of Russia: A comparative analysis. *International Journal of Economic Policy in Emerging Economies*, 8 (2), 153–168.
- Hadri K.** (2000). Testing for stationarity in heterogeneous panel data. *The Econometrics Journal*, 3 (2), 148–161. DOI: 10.1111/1368-423x.00043
- Hall A.** (1994). Testing for a unit root in time series with pretest data-based model selection. *Journal of Business & Economic Statistics*, 12(4), 461–470.
- Im K.S., Pesaran M.H., Shin Y.** (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115 (1), 53–74. DOI: 10.1016/s0304-4076(03)00092-7
- Leontief W., Strout A.** (1963). Multiregional input-output analysis. *Structural Interdependence and Economic Development*. T. Barna (ed.), 119–150.
- Millo G., Piras G.** (2012). splm: Spatial Panel Data Models in R. *Journal of Statistical Software*. Vol. 47(i01). DOI: <http://hdl.handle.net/10.18637/jss.v047.i01> <https://www.jstatsoft.org/issue/view/v047>
- Mutl J., Pfaffermayr M.** (2011). The Hausman test in a Cliff and Ord panel model. *Econometrics Journal*, 14, 48–76.
- Pedroni P.** (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61, 653–670.
- Sonis M., Hewings G.J. D., Gazel R.** (1995). The structure of multi-regional trade flows: Hierarchy, feedbacks and spatial linkages. *The Annals of Regional Science*, 29 (4), 409–430.
- Wooldridge J.M.** (2002). *Econometric analysis of cross-section and panel data*. Cambridge: MIT Press.
- Zemtsov S.P., Tsareva Yu.V.** (2018). Entrepreneurial activity in the Russian regions: How spatial and temporal effects determine the development of small business. *Journal of the New Economic Association*, 1 (37), 118–134.

## Spatial model of reproduction on panel data

© 2021 I.A. Lakman, V.M. Timiryanova

**I.A. Lakman,**

*Bashkir State University, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia; e-mail: lackmania@mail.ru*

**V.M. Timiryanova,**

*Bashkir State University, Ufa, Russia; e-mail: 79174073127@mail.ru*

Received 25.09.2020

*This work is supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project FZWFU-2020-0027).*

**Abstract.** The reproduction process characterizes the movement of commodity and financial flows in the economy, influencing its development. This determines the interest of scientists, government bodies and entrepreneurial structures in its studying. In this article, reproduction is considered as a process that changes over time, on the one hand, and has a spatial dependence, due to the mismatch of places of production and consumption, on the other hand. The methods of spatial-panel analysis made it possible to take into account simultaneously the spatial and dynamic changes in the phases of production, exchange and consumption within the reproductive process. In the work, specialized statistical tests were consistently carried out, which substantiate the possibility of constructing panel and spatial models and make it possible to determine their specification. Further, the spatial autocorrelation of the data is estimated, econometric models are built with and without the imposition of a spatial matrix, and the obtained models are compared. The calculations were carried out on the basis of data from 83 constituent entities of the Russian Federation for the period 2010–2019. The constructed models made it possible to identify individual effects of territories, effects by periods, and also to assess the influence of the mutual location of territories relative to each other on changes in production. The results obtained indicate a bi-(contr)direction influence of regional reproduction systems on each other. On the one hand, the positive value of the spatial autoregressive coefficient indicates a positive relation between regional production within the national reproductive system, on the other hand — the negative value of the spatial error coefficient indicates that there are also feedbacks between the neighboring territories. The results obtained significantly expand the possibilities of forecasting and managing changes in the reproduction process in the regions and in the country as a whole.

**Keywords:** panel data, fixed effects model, random effects model, spatial panel, reproduction, spatial autocorrelation.

**JEL Classification:** C23, D51.

**DOI:** 10.31857/S042473880011338-0

---

---

НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

---

---

**О структурных изменениях модели государственного управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью**

© 2021 г. С.Ф. Остапюк, В.П. Фетисов

**С.Ф. Остапюк,**

*Институт проблем развития науки РАН, Москва; e-mail: S.Ostapyuk@issras.ru*

**В.П. Фетисов,**

*Институт проблем развития науки РАН, Москва; e-mail: VPFetisov@yandex.ru*

Поступила в редакцию 15.10.2020

**Аннотация.** Сформулированы вопросы, подчеркивающие необходимость трансформации системы государственного управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью. Приведены положения для формирования возможных сценариев совершенствования системы управления. Показано, что реализация целевого сценария «Стратегии научно-технологического развития России» требует внесения принципиальных изменений в структуру и функции органов исполнительной власти, осуществляющих управление научной, научно-технической и инновационной деятельностью. К таким изменениям отнесено формирование единого государственного межведомственного центра управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью. Приведены возможные альтернативные варианты формирования такого центра при условии сохранения действующих и формирования новых национальных исследовательских конгломераций по приоритетным направлениям научно-технологического развития страны. Сформулированы полномочия, основные задачи, функции и права центра с учетом национальных особенностей и накопленного опыта организации научной и научно-технической деятельности и внедрения достижений науки. Определены статус, роль и место РАН в системе государственного управления исследованиями и разработками, правоотношения центра с субъектами управления научной и научно-технической деятельностью. Предложено закрепить полномочия и функции такого центра законодательно, в том числе в правовых актах, для его обеспечения.

**Ключевые слова:** стратегические задачи, научно-технологическое развитие, научно-техническая деятельность, опыт СССР и России, внедрение достижений науки и техники, Российская академия наук.

**Классификация JEL:** I28, O32.

**DOI:** 10.31857/S042473880014911-1

Реформы государственного управления в сфере науки и технологий проводят многие страны. В процессе реформ изменяются: нормативы, регулирующие частно-государственное партнерство в области исследований и разработок; соглашения о совместном проведении исследований и разработок; нормативы, касающиеся ограничений для государственных исследователей участвовать в проектах частных фирм и заниматься предпринимательской деятельностью; формы сотрудничества внутри предпринимательского сектора; правовые нормы образования совместных консорциумов и т.д. (Миндели, Остапюк, Фетисов, 2018; Рубвальтер, Шувалов, 2007, с. 50–81; Шпак, Беляков, 2019, с. 124–130).

Анализ реформ российских систем управления научными исследованиями и разработками с 1950-х годов по настоящее время (Миндели, Остапюк, Фетисов, 2018; Миндели, Остапюк, Медведева, 2014) позволил аргументировать тезис о том, что технологические достижения в большинстве стран с высоким уровнем развития экономики и результативность их ответов на большие вызовы обеспечиваются за счет жесткого государственного контроля и стимулирования разработки и внедрения научных новаций в реальный сектор производства и регламентированного государством управления<sup>1</sup> этим процессом.

<sup>1</sup> В США функции регулирования и финансирования сферы исследований и разработок выполняют ряд федеральных ведомств. Однако это не означает, что в стране отсутствует единая государственная научно-техническая политика. Федеральные ведомства и консультативные органы, занятые разработкой научно-технической политики, жестко встроены в американскую политико-экономическую систему, которая является одной из самых управляемых в мире.

Результаты анализа российской практики управления научными исследованиями и разработками (Миндели, Остапюк, Медведева, 2014; Миндели, Остапюк, Фетисов, 2018) дали основания отнести к нерешенным следующие вопросы: недостаточность принятого правового обеспечения Минобрнауки России для реализации полномочий в координации, кооперации и межотраслевого взаимодействия всех органов государственной власти, органов местного самоуправления; имеющийся статус Российской академии наук, трансформация ее организационной структуры и фактическое отстранение от научно-технической деятельности и управления этой деятельностью не позволяют реализовать в полном объеме ее полномочия, предписанные ей законом от 27.09.2013 № 253-ФЗ<sup>2</sup>; отношения между субъектами инновационной цепочки, начиная от фундаментальных исследований до потребления инновационной продукции, в полном объеме не выстроены. Тогда как контуры отечественной науки, способной активно участвовать в социально-экономическом и научно-технологическом развитии государства, не определены (Миндели, Остапюк, Фетисов, 2018; Остапюк, Фетисов, 2020, с. 14–16).

Это говорит о том, что в России необходима трансформация системы государственного управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью. Сценарные условия трансформации могут быть сформированы на основе следующих положений:

- управление, в котором ключевую роль играет университетская научная и научно-техническая деятельность;
- управление, выделяющее приоритетные блоки организаций, объединяющие отдельные национальные исследовательские конгломерации;
- управление, предусматривающее для некоторых отраслей российской экономики возможность использования иностранных технологий наряду с отечественными технологиями;
- управление, осуществляемое одним из созданных национальных исследовательских центров;
- управление, предусматривающее создание нового единого центра управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью, ключевой задачей которого будет обеспечение разработки и внедрение новых технологий и процессов в реальный сектор производства.

Приведенный перечень положений для формирования возможных сценариев совершенствования управления является открытым и может быть дополнен. С нашей точки зрения, ключевым моментом трансформации системы государственного управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью является создание *нового единого центра* управления, обеспечивающего разработку и внедрение новых технологий и процессов в реальный сектор производства с учетом: сохранения университетской науки как отдельного национального исследовательского конгломерата; формирования новых национальных исследовательских конгломераций по приоритетным направлениям научно-технологического развития страны, в состав которых войдут научные и образовательные организации Минобрнауки России, отраслевые научные организации, государственные научные центры, а также иные организации независимо от их организационной формы и формы собственности.

## 1. ЗАДАЧИ И ФУНКЦИИ КОМИТЕТА ПО НАУКЕ И ТЕХНИКЕ РФ НА ЭТАПАХ ИННОВАЦИОННОГО ЦИКЛА

Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации рассматривает два альтернативных сценария ее реализации:

- а) импорт технологий и фрагментарное развитие исследований и разработок, интегрированных в мировую науку, но занимающих в ней подчиненные позиции;
- б) лидерство в избранных направлениях научно-технологического развития в рамках как традиционных, так и новых рынков технологий, продуктов и услуг и построение целостной национальной инновационной системы.

Первый сценарий ведет к постепенной утрате технологической независимости и конкурентоспособности России в областях деятельности, импортирующих иностранные технологии,

<sup>2</sup> Федеральный закон «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 27.09.2013 № 253-ФЗ (последняя редакция).

и наиболее возможен при стагнации уровня расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в этих областях.

Рабочим признан второй сценарий, который «потребуется концентрации ресурсов на получении новых научных результатов, необходимых для перехода страны к следующим технологическим укладам, осуществления комплекса организационных, правовых и иных мер, направленных на существенное повышение эффективности расходов на исследования и разработки, рост отдачи от вложений в соответствующие сферы экономики, для развития национальных центров исследований и разработок, создания эффективных партнерств с иностранными исследовательскими центрами и организациями, создания и развития частных компаний, способных стать лидерами, в том числе на новых глобальных технологических рынках» (пункт 27 Указа № 642<sup>3</sup>).

Этот сценарий предполагает «преодоление сложившихся негативных тенденций, эффективную перестройку как корпоративного, так и государственного сектора исследований, разработок и инноваций и требует при этом опережающего увеличения расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы...». Его реализация возможна при условии внесения изменений в системы управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью. В частности, это относится к правовым актам, регламентирующим деятельность субъектов управления в процессе государственно-частного партнерства (Рубальтер, Шувалов, 2007, с. 50–81; Шпак, Беляков, 2019, с. 124–130).

В процессе внесения изменений в систему управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью должны участвовать практически все органы государственной власти, органы местного самоуправления, крупные институты развития, бизнес-структуры, научные организации, высшие учебные заведения независимо от организационной формы и формы собственности, но управление этим процессом должно осуществляться из единого центра.

При таком развитии событий возможны два альтернативных варианта:

- а) создание нового единого центра управления на базе действующего Минобрнауки России;
- б) создание нового единого центра управления при сохранении действующего Минобрнауки России.

По логике Закона о науке функции и полномочия единого центра управления должны быть возложены на Минобрнауки России, которому необходимо решить исключительно широкий перечень проблем в сфере науки: «...отставание в развитии высоких технологий, зависимость от импортных поставок научного, испытательного оборудования, приборов и электронных компонентов, программных и аппаратных средств вычислительной техники, стратегических материалов, несанкционированная передача за рубеж конкурентоспособных отечественных технологий, необоснованные односторонние санкции в отношении российских научных и образовательных организаций, недостаточное развитие нормативно-правовой базы, неэффективная система стимулирования деятельности в области науки, инноваций и промышленных технологий»<sup>4</sup>.

Варианты «реорганизации» федерального органа государственной власти и наделения его «высокими» функциями и полномочиями в формировании и реализации государственной научно-технической политики, к сожалению, не привели к построению эффективной модели организации управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью. На наш взгляд, одной из причин нерешенности обозначенных проблем является игнорирование отечественного опыта организации управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью, что побудило обратиться к практике деятельности ГКНТ СССР<sup>5</sup> и предложить воссоздать в современных условиях прообраз этого государственного комитета (Миндели, Остапюк, Фетисов, 2018). По существу, было предложено создать в структуре органов государственной власти новый межведомственный федеральный орган исполнительной власти, участвующий в реализации одного из важнейших элементов государственной научно-технической

<sup>3</sup> Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

<sup>4</sup> Указ Президента РФ от 31 декабря 2015 г. № 683 «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации».

<sup>5</sup> Аббревиатура «ГКНТ СССР» использована как обобщенное понятие.

политики — внедрении достижений науки, технологий и техники (далее — Комитет РФ). Именно это звено государственной научно-технической политики является наиболее проблемным в современной практической деятельности органов государственной власти.

Представляется, что Комитет РФ должен стать единым, межотраслевым центром управления научно-технической и инновационной деятельностью исследовательских организаций министерств, крупных корпораций, бизнес-структур, сосредоточивших в своем ведении объекты хозяйственной деятельности. Принятие решений о современном ГКНТ СССР в виде Комитета РФ потребует корректировки функций и полномочий Минобрнауки России, Минэкономразвития России, Минпромторга России и ряда иных министерств, правового обеспечения отношений между Комитетом РФ, этими структурами<sup>6</sup> и РАН.

В перечень основных задач Комитета РФ предлагается включить<sup>7</sup>:

- определение основных направлений развития науки, технологий и техники, межотраслевых и междисциплинарных научно-технических проблем;
- повышение эффективности проведения научных исследований, разработок и их внедрения в отраслях хозяйственной деятельности;
- мониторинг, прогноз и контроль внедрения достижений науки и техники;
- осуществление связи с зарубежными странами по вопросам научно-технического сотрудничества в области внедрения достижений науки, технологий и техники.

В целях обеспечения решения основных задач предлагается наделить Комитет РФ следующими правами и функциями:

- технико-экономическая оценка уровня развития науки и техники в секторах хозяйственной деятельности, подготовка и реализация совместно с министерствами, РАН, крупными корпорациями, бизнес-структурами мероприятий по внедрению достижений науки, технологий и техники;
- разработка совместно с министерствами и РАН предложений по основным направлениям развития науки, технологий и техники и представление их Правительству РФ;
- подготовка проектов перспективных планов совершенствования межотраслевого и междисциплинарного взаимодействия в сфере науки и инноваций;
- разработка на основе заключений РАН, министерств, крупных корпораций и бизнес-структур предложений об использовании результатов выполненных научно-исследовательских работ, имеющих практическое значение;
- отбор совместно с РАН и министерствами наиболее перспективных результатов фундаментальных научных исследований с целью разработки на их базе в отраслевых институтах и конструкторских бюро новых технологий, процессов и конструкций, определение области возможного применения и организация их внедрения на производстве;
- разработка и проведение совместно с министерствами необходимых мер, направленных на обеспечение внедрения научно-технических новаций и контроля их реализации;
- участие в рассмотрении Правительством РФ предложений РАН и министерств относительно общих объемов капитальных вложений на развитие науки;
- контроль уровня выполнения и внедрения научно-исследовательских работ по основным направлениям развития науки, технологий и техники, имеющих большое значение;
- разработка и осуществление совместно с министерствами и РАН мероприятий, направленных на улучшение организации научных исследований, повышение их эффективности и совершенствование информационного обеспечения сети научных учреждений;

<sup>6</sup> В данном случае речь идет о министерствах, в задачу которых входит внедрение достижений науки, технологий и техники в реальный сектор производства и сферу обслуживания.

<sup>7</sup> Полномочия, функции, задачи, права и обязанности воссоздаваемого Комитета РФ во многом созвучны с положениями Постановления Совета министров СССР от 1 октября 1966 г. № 797 «Об утверждении положения о Государственном Комитете Совета министров СССР по науке и технике».

- рассмотрение представляемых на согласование предложений об организации новых научно-исследовательских учреждений, независимо от их ведомственной подчиненности;
- разработка совместно с РАН и Минобрнауки России и представление в Правительство РФ проектов перспективных и годовых планов подготовки, переподготовки и использования научных кадров.

В целях обеспечения решения основных задач и выполнения функций Комитет РФ предлагается наделить правами:

- проводить проверку в министерствах, научно-исследовательских учреждениях, проектно-конструкторских организациях и на промышленных предприятиях технического уровня развития; внедрения результатов научно-исследовательских работ в производство; соответствия годовых планов научно-исследовательских работ основным направлениям развития науки и техники; работ в области научно-технического сотрудничества с зарубежными странами; использования ассигнований, выделяемых на развитие науки;
- заслушивать доклады и сообщения руководителей министерств по вопросам проведения научно-исследовательских работ и внедрения их результатов, а также по согласованию с ними доклады и сообщения руководителей предприятий, научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций и принимать по результатам проверок решения, обязательные для исполнения;
- устанавливать министерствам по согласованию с ними дополнительные задания на проведение подведомственными им научно-исследовательскими, проектно-конструкторскими организациями и предприятиями научно-исследовательских и опытно-промышленных работ, необходимость в проведении которых возникает в течение года, для решения важнейших межотраслевых научно-технических проблем;
- иметь в своем распоряжении резерв ассигнований из государственного бюджета на научно-исследовательские работы и резерв по численности и фонду заработной платы работников научно-исследовательских учреждений и использовать эти резервы для проведения важнейших научно-исследовательских работ, необходимость в которых возникает в течение года;
- организовывать и проводить в необходимых случаях научную экспертизу по вопросам, связанным с проведением научно-исследовательских работ и внедрением достижений науки и техники;
- давать министерствам и организациям указания о прекращении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, неоправданно дублируемых или не имеющих теоретического или практического значения, и о прекращении их финансирования, а также зачислять высвобождающиеся в связи с этим средства в резерв Комитета РФ;
- принимать по вопросам, отнесенным к компетенции Комитета, постановления, обязательные для министерств.

В случае создания вышеупомянутого Комитета РФ предстоит:

- определить правовой статус Комитета РФ, учитывая, что на него возлагается решение вопросов межотраслевого значения; решения Комитета РФ по вопросам внедрения достижений науки, технологий и техники должны быть обязательны для потребителей результатов научной и научно-технической деятельности;
- внести изменения в Постановление Правительства РФ «Положение о Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации...», уточняющие функции и полномочия в части внедрения научных и научно-технических разработок, координации деятельности субъектов управления научными организациями и организациями высшей школы, выполняющих исследования и разработки;
- предусмотреть в проекте федерального закона о научной и научно-технической деятельности, подготавливаемого Минобрнауки России, учет особенностей реализации государственной научно-технической политики в условиях деятельности Комитета РФ.

## 2. МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИНОБРНАУКИ РОССИИ И КОМИТЕТА РФ

Для поиска путей решения задач организации эффективного взаимодействия Минобрнауки России с министерствами и организациями реального сектора экономики целесообразно воспользоваться практикой решения данного вопроса в СССР<sup>8</sup>, создания в структуре Минобрнауки России Хозрасчетного научного объединения, в задачу которого входила интеграция науки, образования и производства.

Анализ организационной структуры современного Минобрнауки России показывает, что значительная часть задач, создаваемого Хозрасчетного научного объединения, решается департаментами этого министерства: Департаментом инноваций и перспективных исследований, Департаментом координации деятельности научных организаций и еще рядом иных департаментов. При этом департаменты специализируются на решении «узко профильных вопросов», а предлагаемому Хозрасчетному научному объединению предстоит их решать комплексно и в совокупности.

Представляется, что формирование Хозрасчетного научного объединения в структуре Минобрнауки России позволит обеспечить:

- взаимодействия Минобрнауки России и Комитета РФ;
- единство действий структурных подразделений Минобрнауки России в планировании внедрений результатов выполнения программ и проектов по приоритетным направлениям исследований и разработок;
- взаимодействия Минобрнауки России с исполнительными органами государственной власти, органами местного самоуправления, крупными корпорациями и бизнес-структурами в части внедрения достижений науки, технологий и техники;
- взаимодействия Минобрнауки России с индустриальным сектором и организациями сферы обслуживания.

К вопросам совместного ведения Комитета РФ и Минобрнауки предлагается отнести:

- разработку прогноза развития основных направлений исследований науки, технологий и техники, результаты которых обеспечат достижение целей «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации»;
- определение основных приоритетов развития науки, технологий и техники;
- подготовку предложений для рационального размещения на территории РФ научно-технического потенциала и его эффективного использования;
- подготовку предложений по основным направлениям научно-технологического развития;
- разработку программы подготовки кадров для отраслей народного хозяйства;
- экспертизу состояния научно-технического потенциала государственного сектора науки;
- подготовку программ развития науки, технологий и техники;
- формирование федерального бюджета финансирования программ и проектов развития науки, технологий и техники;
- обеспечение взаимодействия и координации субъектов управления научной и научно-технической деятельности;
- оценку состояния трудовых ресурсов в сфере науки и технологий;
- формирование системы информационного обеспечения субъектов и объектов управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью.

Создание Хозрасчетного научного объединения как связующего звена министерств, корпораций и производственных структур потребует внесения изменений в отдельные федеральные

---

<sup>8</sup> В конце 1970-х годов в целях организации взаимодействия Минвуза РСФСР с министерствами, ведомствами и реальным производством в структуре министерства было создано Хозрасчетное научное объединение (далее — ХНО), основная задача которого состояла в обеспечении участия министерства в инновационном процессе (Постановление Государственного комитета СССР по науке и технике от 28 сентября 1979 г. № 500 «Временное положение о хозрасчетном научном объединении Министерства высшего и среднего специального образования РСФСР»).

законы, законы субъектов Российской Федерации, наделения дополнительными функциями и полномочиями отдельных субъектов управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью, и в первую очередь Минобрнауки России.

### 3. МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАН, КОМИТЕТА РФ И ДРУГИХ СУБЪЕКТОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНОЙ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Анализ деятельности ГКНТ СССР (Постановление Совета Министров СССР от 1 октября 1966 г. № 797) показывает, что АН СССР обеспечивала решение важнейших вопросов, возложенных на Комитет.

Проведенная в 2013 г. реорганизация РАН изменила не только правовой статус государственных академий наук, но организационную структуру и полномочия в части управления фундаментальными и поисковыми исследованиями. В результате позиции Российской академии наук как высшей российской научной организации практически утрачены, и *все попытки руководства Академии восстановить возможность заниматься научными исследованиями остаются безуспешными.*

Статья 7 Федерального закона № 253 возлагает на Академию решение ряда задач и выполнение множества функций. Однако реализация полномочий Академии в решении поставленных задач не обеспечена мерами государственной поддержки.

Сложно прогнозировать, в каком направлении будет развиваться реформа РАН, но сохранившийся потенциал должен быть максимально использован на развитие экономики, социальной сферы, обеспечения безопасности и национальной независимости государства.

Возможны следующие варианты в решении вопроса о судьбе, роли и месте РАН в системе государственного управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью.

*Вариант 1:* Минобрнауки России сохраняет в своем ведении академические организации, управляет их научной деятельностью и продолжает их реорганизацию. Для государства такой вариант *будет означать потерю уникального института науки*, благодаря которому страна стала ведущей в сфере науки мировой державой.

*Вариант 2:* признается ошибочность концепции закона № 253 и необходимость его денонсирования; разрабатывается и принимается новый закон о РАН. Академия признается общероссийской некоммерческой самоуправляемой научной организацией и наделяется правами полноправного субъекта научной и научно-технической деятельности, в ее ведение возвращаются научные и иные организации; устанавливаются правовые отношения РАН с органами государственной власти и министерствами.

*Вариант 3:* денонсируется Федеральный закон № 253 и некоторые правовые акты РФ<sup>9</sup>, предусматривающие:

- уточнение полномочий и задач РАН и их обеспечение материально-техническими и кадровыми ресурсами;
- наделение РАН автономией в части управления научной деятельностью научных организаций, переданных ранее Минобрнауки России.

Авторы работы придерживаются мнения, что практика деятельности академического сектора науки в самые сложные годы России доказала необходимость сохранения за академией статуса высшей общероссийской научной организации и многие положения Указа Президента РФ от 1996 г. о статусе Российской академии наук жизненны и сегодня.

В случае реализации варианта 3 в системе государственного управления наукой предстоит решить ряд вопросов, и прежде всего — вопросы восстановления организационной структуры РАН

<sup>9</sup> Например, Постановление Правительства РФ от 15.06.2018 № 682 (ред. от 14.04.2020) «Об утверждении Положения о Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации» и Постановление Правительства РФ от 24 декабря 2018 № 1652 «Об утверждении Правил взаимодействия федерального государственного бюджетного учреждения “Российская академия наук” и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации при осуществлении ими отдельных полномочий в соответствии с Федеральным законом “О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации”».

и дополнения ее отдельных составляющих полномочиями и соответствующими мерами материально-технического обеспечения.

Данный сценарий развития предусматривает:

- восстановление вертикали управления академии: общее собрание — президиум — президент — отделение по направлениям наук — региональное отделение — региональный научный центр — научные организации. Каждый сектор системы управления дополняется полномочиями с учетом функций и задач РАН;

- сохранение основных принципов деятельности каждого звена управления — самоуправления, коллегиальности принятия решений, единства, координации и ответственности. Кроме того, полномочия, функции и задачи РАН устанавливаются в Федеральном законе об академии, указами Президента РФ, постановлениями Правительства РФ и иными правовыми актами Российской Федерации;

- полномочия РАН как органа государственного управления в сфере науки, функции и задачи, отношения с Минобрнауки России, а также органа государственной власти, на который возложены задачи внедрения достижений науки, в случае его создания, устанавливаются федеральным законом, указами Президента РФ, постановлениями Правительства РФ и иными правовыми актами Российской Федерации;

- отношения с министерствами и находящимися в их ведении научно-исследовательскими организациями устанавливаются федеральными правовыми актами и совместными соглашениями РАН с министерствами;

- основными задачами отделений по направлениям наук являются прогнозирование развития исследований и формирование приоритетов, анализ достижений науки за рубежом, взаимодействие с министерствами по вопросам научного обеспечения развития отраслей экономики, подготовка предложений по внедрению результатов завершенных фундаментальных исследований, подготовка проектов решений задач, предусмотренных законодательством и уставными документами;

- региональные отделения и региональные научные центры осуществляют взаимодействие с территориальными органами исполнительной власти, анализ состояния социально-экономического и научно-технологического развития территории, подготавливают предложения для формирования программ исследований научных организаций и высших учебных заведений, выполняющих исследования на территории размещения, координируют научную и научно-техническую деятельность организаций государственного сектора науки, расположенных на данной территории и выполняющих фундаментальные и прикладные исследования, управляют деятельностью организаций, находящихся в ведении РАН, в рамках своих полномочий, предусмотренных уставом;

- восстановление деятельности региональных научных центров как неотъемлемая составляющая системы управления РАН, важнейшей задачей которой является научное обеспечение развитием территории его размещения.

В случае восстановления статуса РАН академия и министерства совместно осуществляют:

- прогнозирование научно-технологического развития отрасли, подготовку предложений по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники отрасли с учетом прогноза социально-экономического развития государства;

- разработку программ научно-технологического развития отраслей и секторов экономики;

- разработку предложений для размещения научных учреждений, экспериментальных предприятий и организаций;

- координацию фундаментальных и приоритетных прикладных исследований в отраслевом разрезе.

Взаимодействие РАН с министерствами обеспечивается:

- единством и координацией деятельности академии с отраслевыми министерствами для прогнозирования развития отрасли, выбора приоритетных направлений развития, апробации и внедрения достижений науки, технологий и техники;

- фиксацией в Положениях о полномочиях министерств обязанностей взаимодействовать с Российской академией наук по вопросам науки, технологий и техники;

- введением в состав советов и комиссий РАН представителей министерств;
- участием академии в:

1) разработке общероссийских и региональных научно-технических программ; формировании сети отраслевых научных учреждений, экспериментальных предприятий и организаций, научно-информационных и консультативных центров;

2) подготовке программы исследований отраслевых научных организаций, заключении академией договора об их научном сопровождении;

3) формировании программы подготовки и переподготовки научных работников для отраслей экономики и целевой подготовке научных работников в аспирантуре и докторантуре РАН.

Что же касается взаимодействия Комитета РФ и РАН, это определится решением о статусе академии:

- в случае сохранения существующего положения РАН Комитет РФ по своему усмотрению может ее привлекать на правах общественной организации к решению вопросов сферы своего ведения;
- если ситуация изменится и РАН *восстановит* свои права, функции и полномочия, соответствующие дореформенному периоду, то академия будет активно участвовать в решениях Комитета РФ вопросов науки, технологий и техники как полноправный субъект управления в сфере науки.

В этом случае на РАН может быть возложено, так же, как и на АН СССР:

- участие в оценке состояния научно-технического потенциала министерств;
- участие в подготовке мероприятий по ускорению научно-технического развития в стране;
- отбор наиболее перспективных фундаментальных, поисковых и прикладных исследований как основы разработки новых технологий и процессов для внедрения в отраслях экономики;
- участие в подготовке крупных государственных проектов и программ;
- выявление важнейших открытий, изобретений и результатов исследований, практическое использование которых в настоящее время не подготовлено, но которые в перспективе представляют большой интерес;
- участие в формировании системы информационного обеспечения субъектов и объектов управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью;
- участие в разработке проектов планов научных и научно-технических исследований;
- участие в подготовке кадров высшей квалификации для образования, науки и отраслей народного хозяйства;
- участие в проведении фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований, выполняемых вузовской наукой.

При подведении итогов напрашивается следующий вывод. На пути к лидерству в избранных направлениях научно-технологического развития не может быть забыто лучшее, что было создано предыдущим поколением, в том числе деятельность ГКНТ СССР, Минвуза России, российской практикой создания и внедрения достижений науки, технологий и техники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Миндели Л.Э., Остапук С.Ф., Медведева Т.Ю.** (2014). Тенденции развития российской и мировой науки. М.: ИПРАН РАН. [Mindeli L.E., Ostapuk S.F., Medvedeva T. Yu. (2014). *Trends in the development of Russian and world science*. Moscow: IPAN RAN (in Russian).]
- Миндели Л.Э., Остапук С.Ф., Фетисов В.П.** (2018). Государственное управление научно-технической деятельностью в России: состояние и перспективы. М.: ИПРАН РАН. [Mindeli L.E., Ostapuk S.F., Fetisov V.P. (2018). *State Department of Science and Technology Activities in Russia: State and prospects*. Moscow: IPAN RAN (in Russian).]
- Рубальтер Д.А., Шувалов С.С.** (2007). Опыт ведущих зарубежных стран в области государственного регулирования сферы исследований и разработок // *Информационно-аналитический бюллетень ЦИСН*. № 1 [Rubwalter D.A., Shuvalov S.S. (2007). Experience of leading foreign countries in the field of state regulation of research and development. *CISN Information and Analysis Bulletin*, 1 (in Russian).]

- С.Ф. Остапюк, В.П. Фетисов (2020). О построении модели управления научно-технической деятельностью в контексте научно-технологического развития // *Микроэкономика* № 4 (93). С. 12–24. [Ostapuyuk S.F., Fetisov V.P. (2020). On building a model for managing scientific and technological activity in the context of scientific and technological development. *Microeconomics*, 4 (93), 12–24 (in Russian).]
- Шпак А.С., Беляков С.А. (2019). Зарубежный опыт государственного управления исследованиями и разработками // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. № 9 (1). С. 124–130. Режим доступа: <https://www.vaael.ru/ru/article/view?id=709> [Spak A.S., Belyakov S.A. (2019). Foreign experience of state management of research and development. *Herald of the Altai Academy of Economics and Law*, 9(1), 124–130. Available at: <https://www.vaael.ru/ru/article/view?id=709> (in Russian).]

## On structural changes in the model of public administration of scientific, scientific-technical and innovation activities

© 2021 S.F. Ostapuyuk, V.P. Fetisov

**S.F. Ostapuyuk,**

*Institute of development of science of Russian academy of sciences, Moscow, Russia; e-mail: S.Ostapuyuk@issras.ru*

**V.P. Fetisov,**

*Institute of development of science of Russian academy of sciences, Moscow, Russia; e-mail: VPFetisov@yandex.ru*

Received 15.10.2020

**Annotation.** Issues highlighting the need to transform the system of public administration of scientific, scientific-technical and innovative activities. The provisions are given to form possible scenarios for improving the management system. It is shown, that the implementation of the target scenario of the «Russian Science and Technology Development Strategy» requires fundamental changes in the structure and functions of the executive branch, which manages scientific, scientific, technical and innovation activities. Such changes include the formation of a single state interagency center for the management of scientific, scientific, technical and innovation activities. Possible alternatives to the formation of such a center are presented, provided that the existing and new national research conglomerates in the priority areas of the country's scientific and technological development are maintained. The authority, the main tasks, functions and rights of the center are formulated, taking into account the national characteristics and experience of the organization of scientific and scientific and technical activities and the implementation of scientific achievements. The status, role and place of the RAS in the system of state management of research and development, the legal relations of the center with the subjects of scientific and scientific and technical activities are defined. It is proposed to enshrine the powers and functions of such a center legislatively, including in legal acts to ensure it.

**Keywords:** strategic tasks, scientific and technological development, scientific and technical activities, the experience of the USSR and Russia, the introduction of advances in science and technology, the Russian Academy of Sciences.

**JEL Classification:** I28, O32.

**DOI:** 10.31857/S042473880014911-1

---

---

НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

---

---

Природоохранные системы в периоды экономических спадов

© 2021 г. И.В. Гордин

**И.В. Гордин,**

*Институт программных систем РАН, Переславль-Залесский; e-mail: ivgordin@mail.ru*

Поступила в редакцию 25.02.2021

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-110-50119).*

**Аннотация.** В неблагоприятных экономических условиях возрастает вероятность отказа от технически сложных, дорогостоящих природоохранных стратегий. Нарастает актуальность компромиссов, синтеза не радикальных, а экономически приемлемых систем. Дается аналитический обзор широкого спектра соответствующих эколого-экономических решений. Имеющийся технологический арсенал разделен в статье на два класса: системы рассеивания и системы концентрирования загрязнений в окружающей среде. В анализе систем рассеивания дана характеристика необходимой транспортной инфраструктуры, специальных устройств и сооружений, интенсифицирующих разбавление загрязнений (массообмен) в природных средах, технологий увеличения ассимиляционного потенциала сред-реципиентов. Мощным фактором рассеивания загрязнений рассмотрена мобильность самих источников выброса. Эффективной технологией рассеивания рассмотрено оптимальное размещение предприятий, поселений на этапе территориального планирования. В качестве неотъемлемого свойства стратегии концентрирования рассмотрены высокие эколого-экономические риски. Охарактеризованы средства снижения рисков. Рассмотрены направления оптимизации территориальных схем размещения объектов. Прогнозируется, что по инерции, и особенно интенсивно в периоды экономической рецессии, движение цивилизации по рассмотренным направлениям будет продолжаться. Констатируется, что в этом движении множество природных объектов уже вышли на необратимые процессы. Анализируется, насколько нерадикальность рассмотренных технологий позволяет им взаимодействовать с радикальными, появляющимися по мере выхода из фаз экономического дефицита. Обобщающим выводом является необходимость рассмотрения любого экономически вынужденного отказа от систем глубокой переработки загрязнений только как временной меры, позволяющей найти радикальные решения или экономические средства для реализации известных радикальных решений.

**Ключевые слова:** экономика природопользования; загрязнение окружающей среды; природоохранные системы; эколого-экономические оптимумы; технико-экономические оптимумы.

**Классификация JEL:** Q53.

**DOI:** 10.31857/S042473880014913-3

Нарастающее загрязнение окружающей среды является все более негативной характеристикой цивилизации (Моисеев, 2003; Гордин, 2007; Ревич, Авалиани, Тихонова, 2004; Яблоков, 2007; Яницкий, 2013; Lanz, 2015). Внимание правительств к проблеме непрерывно нарастает (см. «Об утверждении Национального проекта “Экология”». Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г., № 204; «Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives»<sup>1</sup>, «European Commission > Environment > Waste > Prevention»<sup>2</sup>). Реализация природоохранных программ требует колоссальных вложений (Гурман, Рюмина, 2001; Гусев, 2004; Рюмина, 2009, 2011; Tietenberg, Lewis, 2018). Положение усложняется в периоды экономических спадов. При этом экономия средств достигается за счет отступления от цели охраны природного пространства как единого целого, за счет отодвигания проблемы во времени и с проявлением ее в виде глобального загрязнения, за счет увеличения рисков техногенных аварий, рисков непредвиденных экономических ущербов.

<sup>1</sup> Article 3, clause 12–13. Official Journal of the European Communities, November.

<sup>2</sup> См. <http://ec.europa.eu/environment/waste/prevention/practices.htm>2019

**Таблица 1.** Характеристики систем очистки сточных вод промышленности строительных материалов в кризис 1990-х годов

Сточные воды	Год							
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Требующие очистки, млн м <sup>3</sup> /год	191	157	145	135	127	120	127	134
Нормативно очищенные, млн м <sup>3</sup> /год	34	20	15	12,3	12,5	8,0	4,6	4,6
Доля стоков с нормативной очисткой, %	17,8	12,7	10,3	9,1	9,8	6,7	3,6	3,4

*Источник:* данные Росстата.

Прежде чем приступить к обзору, отметим, что обращение к рассматриваемым стратегиям, оправданное в периоды экономических трудностей, часто возникает и во времена вполне благополучные. Склонность экономить на охране природы — болезнь, от которой цивилизация излечивается очень медленно. Существуют и такие сферы деятельности, где проблемы загрязнения окружающей среды всегда решались (или не решались) практически независимо от состояния экономики. Так, при наличии огромных вложений в освоение космического пространства долгое время не считалось нужным решать вопросы космического мусора (Рассел, 2012). Возможна и такая эколого-экономическая ситуация, когда даже при самом бедственном состоянии экономики огромные средства вкладываются в борьбу с загрязнением. Такое положение можно наблюдать, например, в отношении радиоактивных отходов, на обезвреживании которых экономить никто никогда не решится. И даже очень глубокий экономический кризис не остановит необходимого финансирования (Цебаковская, Уткин, Капырин, 2015).

В большинстве же отраслей такой «независимости» природоохранной политики от экономических возможностей нет, а существует широкий спектр различных технологий, конкретный выбор из которых определяется именно состоянием экономики. В фазах экономического подъема обычно страны серьезно задумываются о необходимости принципиальных экологических решений. Наиболее радикальны те стратегии, которые минимизируют само возникновение загрязнений: пересмотр структуры потребления, отказ от экологически вредной продукции и вредных производств, безотходные схемы в производстве и эксплуатации изделий (Акинин, 2011; Гордин, 2020; Рюмина, 2000; Maczulak, 2009). Но на такую радикальность цивилизация выходит далеко не так активно, как необходимо для устойчивого развития. Сегодня экологическую катастрофу сдерживает менее радикальная стратегия — глубокая переработка загрязняющих выбросов (газовых, жидкостных, твердых) специальными химико-технологическими системами, производящими вторичные ресурсы или обеспечивающими безопасный сброс остаточных загрязнений в природные среды-реципиенты (Гринин, Новиков, 2002; Юдин, Потапов, 2018). В периоды экономического спада эффективность переработки загрязнений заметно снижается. Проиллюстрируем эту динамику типичным примером (табл. 1).

Но даже в предельно упрощенных схемах переработки выбросов сохраняется идея разделения загрязненного потока на «вредную» и «полезную» составляющие. Иными словами, генерируя загрязняющие вещества, цивилизация считает своим долгом преобразовывать их в менее (в той или иной мере) опасные. Именно на такое понимание вины и ответственности источника загрязнения нацелено и современное экологическое право (Васильева, 2004; Жаворонкова, Краснова, 2014; Philipporoulos, 2011). Однако этот императив очень часто игнорируется и поток загрязнений выпускается в окружающую среду вообще без химико-технологической переработки.

С точки зрения экологии вырисовывается следующая цивилизационная парадигма. Удовлетворяя свои потребности, Человечество создало систему, перерабатывающую триллионы тонн природного вещества Земли в вещества, подавляющие Природу и Человека. Для поддержания экологического равновесия необходимо иметь соизмеримую по масштабам, дорогостоящую индустрию переработки этих загрязнений в вещества безвредные. Однако, уклоняясь от этого принципиального решения, цивилизация создала колоссальную индустрию сброса загрязнений без переработки (с недостаточной переработкой). Огромное разнообразие этих, тоже весьма затратных и технически сложных, решений можно методологически разделить на два класса систем:

- 1) рассеивания и ассимиляции загрязнений в окружающей среде;
- 2) концентрирования и консервации, изоляции загрязнений в окружающей среде.

Именно в периоды экономических трудностей применение этих стратегий резко расширяется (как в автономном варианте, так и в составе других стратегий). При этом в каждом классе есть решения, которые при всей нерадикальности оказываются эффективной тактикой защиты от конкретной экологической угрозы, и есть решения, неприемлемые даже в самой сложной экономической ситуации.

1. *Системы рассеивания газовых выбросов.* Все системы, решающие локальные экологические проблемы рассеиванием газовых выбросов, уже с прошлого века осознаны человечеством как бумеранг, который возвращается глобальным загрязнением и изменением климата (Будыко, Израэль, 1987; Рамсторф, Шельнхубер, 2009). На борьбу с этой угрозой брошены колоссальные средства. Так, несмотря на усложнившиеся экономические условия, в 2020 г. Германия подтвердила свое решение сокращать выбросы парниковых газов к 2030 г. до 55% уровня 1990 г. Конкретным выражением этой линии явилась компенсация в 40 млрд евро регионам и компаниям, отключающим ТЭС на буром угле. Однако в целом в периоды экономической рецессии внимание к глобальному загрязнению атмосферы резко падает, каждая страна склоняется к рассеивающим технологиям, защищающим внутреннее пространство. И цепь неэффективных решений, от саммита в Рио-де-Жанейро — через Киотский протокол — к Парижскому соглашению, может быть продолжена, все более расширяя спектр негативных процессов.

Очевидными символами масштаба сооружений рассеивания загрязнений в окружающей среде являются трубы промышленных объектов. Приведем параметры самых высотных выпусков газовых выбросов: Экибастузская ГРЭС, Казахстан — высота трубы выпуска в атмосферу 420 м; Металлургический комплекс в Онтарио, Канада — 380 м; ТЭС в Пенсильвании, США — 371 м. Также повсеместно построены газоотводящие устройства в жилых массивах: от индивидуального сельского сектора — до многоэтажной городской застройки. При невысоком расположении источников промышленных и хозяйственно-бытовых газовых выбросов загрязняется не только атмосфера, но и все наземные объекты, а также прилегающая гидросфера, почва и растительность.

Системы газового выброса оснащаются все более эффективными системами очистки, но в периоды недофинансирования эти прогрессивные тенденции прерываются (Хомич, 2002; Цыплакова, Потапов, 2012; Юшин, 2005). Сегодня мы критикуем мусоросжигательные заводы как недопустимую альтернативу мусороперерабатывающим предприятиям с генерацией вторичных ресурсов, но завтра, возможно, придется считать благом сжигание мусора на заводах с минимальной фильтрацией, но высокими трубами выпуска, защищающими пространство хотя бы в радиусе 2–3 км. Более того, в вариантах нарастания экономических проблем есть все основания прогнозировать, что расширится применение технологий сжигания производственных отходов, твердых бытовых и коммунальных отходов (ТБО и ТКО) на открытом воздухе. В условиях непрекращающегося захламления территорий эффективными системами сжигания мусора и рассеивания газовых выбросов окажутся мобильные колесные крематоры, обеспечивающие грубую сортировку «топлива» и простейшую очистку отходящих газов.

Выхлопы продуктов сгорания на транспорте (Павлова, 2000) являются технологией рассеивания, многократно интенсифицированной мобильностью самих источников загрязнения. На примере углекислого газа назовем доли мобильных «рассеивателей» загрязнения в атмосфере. В небе над Землей одновременно находится от 10 до 20 тысяч самолетов. Они дают около 2,2% всего антропогенного углекислого газа, выбрасываемого цивилизацией в атмосферу. Значительно больше вбрасывает автомобильный транспорт (около 14%); на железнодорожный, морской и прочие виды транспорта в сумме приходится 3,8% выбросов.

2. *Системы рассеивания жидких выбросов.* Рассеивание сточных вод в гидросфере реализуется технически аналогично атмосферному рассеиванию газовых выбросов (Аксенов, 2007; Воронов и др., 2007). Однако в сравнении с газовыми и твердыми выбросами поступление сточных вод в окружающую среду отличается очень высокой степенью неконтролируемости (Гордин, 2006). Экологические риски усугубляются тем, что водовыпуск может осуществляться предельно скрыто: неучтенные затопленные выпуски, потайные врезки высокотоксичных производственных канализаций в хозяйственно-бытовые и ливневые и многие другие обращения к методам типа «концы в воду». В сельской местности широко распространен развоз откаченных отходов автоцистернами. Эта технология предполагает выгрузку ассенизационных машин на приемных пунктах поселковых и городских очистных сооружений, но зачастую производится скрытый спуск в болота, водотоки и водоемы. Мощнейшей составляющей неконтролируемого

рассеивания загрязняющих веществ в гидросфере и литосфере является талый и дождевой поверхностный смыв с промышленных площадок, городских территорий, сельхозугодий, застраиваемых побережий.

Для сосредоточенных источников загрязнения типовым природоохранным решением является трубопроводная перекачка стоков с заводских и городских очистных сооружений к местам выпуска в сравнительно безопасные створы, расположенные вниз по течению от жилых массивов или уникальных природных объектов. Рекордным по масштабам строительства в этом классе технологий явился проект сброса сточных вод Байкальского ЦБК не в озеро, а через водораздел в бассейн реки Иркут по трубопроводу длиной 80 км. Широко распространены по всему миру выпуски сточных вод (очень часто не проходящих даже простейшие очистные сооружения) в моря и океаны.

Спецификой рассеивания сточных вод в гидросфере является возможность целенаправленного повышения ассимиляционного потенциала принимающих водотоков и водоемов. Это — переброска речного стока в маловодные бассейны, увеличение разбавляющей способности рек путем строительства регулирующих гидроузлов. В таких проектах увеличения рассеивающего потенциала окружающей среды фигурируют многомиллиардные затраты. К этому же подклассу решений, но с гораздо меньшими затратами, относятся методы интенсификации внутриводоемных процессов самоочищения различными аэраторами, фитоактиваторами, специальной ихтиофауной и др.

В качестве среды-реципиента для рассеивания сточных вод широко используется литосфера, верхние слои которой обладают свойствами механического фильтра, испарителя, почвенно-растительного биореактора (Андроханов, Куляпина, Курачев, 2004; Carre et al., 2017).

3. *Системы рассеивания твердых выбросов.* Огромные массы твердофазного загрязнения рассеиваются в атмосфере (Архипов, Шереметьева, 2007). Они являются отходами добычи полезных ископаемых, металлургии, производств строительных материалов (цемента, кирпича, керамики) и других промышленных предприятий, котельных (особенно угольных и мазутных), уходят в воздух пылью от автомобильных дорог (асфальта, резины) и других объектов.

Твердая фаза различных загрязнений в огромных масштабах распространяется в гидросфере. Так, повсеместным способом поддержания экологического равновесия является удаление загрязнений (включая крупнодисперсные) в виде организованной (поливомоечной) или неорганизованной (тало-дождевой) промывки территорий. Столь же значительна роль гидросферы и в удалении аэрозольного загрязнения. Этот процесс особенно заметен, когда атмосферные взвеси выпадают и накапливаются всю зиму в снежном покрове площади водосбора, превращаясь весной в рекордно загрязненные потоки талых вод. Одновременно в гидросферу поступают огромные массы загрязняющей взвеси, послойно накопившиеся зимой в снежно-ледовом покрове водных объектов. Сюда же прибавляется регулярный сброс «черного снега», убираемого с городских территорий и промышленных площадок.

Огромная часть процессов рассеивания твердых выбросов в окружающей среде является предельно антиэкологичной. Безудержное увеличение числа свалок представляет собой процесс опасного стихийного рассеивания вместо продекларированного вывоза с безопасным концентрированием и изоляцией. Сегодня в РФ насчитывается около 15 тысяч санкционированных свалок отходов производства и потребления, примерно столько же — крупных нелегальных. Суммарная площадь крупных свалок и полигонов составляет около 4 млн га, и она прирастает со скоростью 0,3–0,4 млн га/год. В этой же логике неуправляемого процесса рассеивания с каждой новой свалки происходит дальнейшее рассеивание отходов, но уже — в атмосфере (посредством стихийного горения и организованного поджога), гидросфере и литосфере (путем поверхностного смыва и инфильтрации в грунтовые воды).

Перейдем к обзору систем концентрирования и консервации, изоляции загрязнений.

1. *Системы концентрирования газовых выбросов.* Примером позитивного концентрирования газовых выбросов является сосредоточение в одном месте множества источников загрязнения атмосферы, изначально разбросанных по территории. Когда, например, тысячи горящих и тлеющих свалок заменяются выбросом газов мощного мусоросжигательного завода с глубокой очисткой.

Специфичной является проблема концентрирования газовых выбросов в городских и поселковых отопительных системах (Магадеев, 2013; Трухний, 2008; Кувшинов, Ливчак, 2012). Еще совсем недавно централизация признавалась здесь оптимальным технико-экономическим решением,

основанным на утилизации сбросного тепла ТЭЦ. Но сегодня и в промышленном, и в гражданском строительстве явно прослеживается тенденция децентрализации систем теплоснабжения и горячего водоснабжения. Хотя не вызывает сомнения, что проблема обезвреживания продуктов горения эффективнее решается именно в схеме концентрирования. Вместе с тем, такая экологизация теплоснабжения, получившая мощное развитие в советское время, является огромным наследством, поддерживать которое в исправном состоянии оказывается крайне трудно. Дефициты региональных и муниципальных бюджетов могут стать здесь серьезным препятствием, вполне вероятно, — даже главным испытанием для российской системы ЖКХ.

Коснемся кратко мобильных источников загрязнения атмосферы. Если авиацию, железнодорожные магистрали, дальние морские рейсы можно без оговорок считать технологиями рассеивания газовых выбросов в атмосфере, то автомобильный транспорт городов одновременно стал и крайне опасной технологией концентрирования выбросов на ограниченной территории. Не менее специфичен и переход к электротранспорту (Кашкаров, 2018). Рассмотрение этой тенденции в аспекте рассеивания-концентрирования имеет следующие основания и методологические преимущества. Апологеты экологических автомобильных электродвигателей называют их главным достоинством — минимизацию загрязнения окружающей среды. Сторонники углеводородных двигателей аргументировано возражают, обращая внимание на тот факт, что основная доля в выработке электроэнергии принадлежит электростанциям с колоссальными газовыми выбросами в атмосферу. Но необходима третья точка зрения — оценка ситуации в координатах «рассеивание-концентрирование». И здесь мы четко видим, что парк традиционных автомобилей является «идеальной системой» опасного рассеивания вредных выбросов в приземных слоях атмосферы городских агломераций, он вносит свой огромный вклад в глобальное загрязнение. Концентрирование позволяет надежно контролировать исправность фильтрующего оборудования в процессе эксплуатации, что нереально для ускользающих от контроля автомобилей с индивидуальными фильтрами.

*2. Системы концентрирования жидких выбросов.* Эти накопительные системы всегда рассматривались как вынужденное, экстенсивное решение, требующее свободных земельных ресурсов. Широко применяется концентрирование промышленных стоков и шламов (Чертег, Тупицына, Пыстин, 2015; Guyer, 2018). Здесь на первый план выходит железобетонное строительство и многократно усложняющиеся вопросы донной гидроизоляции и конструктивной прочности. Характеризуют это технологическое направление исключительно высокие экологические риски. Напомним только два прорыва накопителей шламов в центре Европы.

В январе 2000 г. в г. Байя-Маре (Румыния) произошел прорыв дамбы накопителя и выброс 100 тыс. т промышленных отходов, в том числе цианидов и тяжелых металлов. В Тисе предельно допустимые концентрации (ПДК) цианистых соединений оказались превышены в 2000 раз. Только в Венгрии вышли из строя водозаборы городов с населением 2,5 млн человек. В венгерских водах погибло до 85–90% животных и растений. Затем отравленная вода подошла к Югославии с 20–50-кратным превышением ПДК по металлам и цианидам. В сербской части Тисы погибло 80% рыбы, а также огромное число птиц и животных. Всего из Тисы было извлечено около 650 т погибшей рыбы. Опасное загрязнение зафиксировано далее на всем протяжении Дуная до Черного моря. В сентябре 2010 г. в г. Айка (Венгрия) разрушилась дамба шламонакопителя алюминиевого завода с прорывом в окружающую среду более миллиона кубометров отходов. Шламовый поток разрушил мосты и дома, смыл сотни автомобилей. Были затоплены несколько населенных пунктов, слой красного шлама на их территории достигал глубины до двух метров. В результате катастрофы 10 человек погибли, 120 серьезно пострадали, в основном из-за химических ожогов. И хотя огромные силы были брошены, чтобы остановить распространение катастрофы, ядовитые химикаты попали в Дунай, нанеся огромный ущерб Хорватии, Сербии, Румынии и Болгарии.

На отечественных накопителях сточных вод и шламов также регулярно происходят аварии. К примеру, в том же 2010 г. произошло следующее. Прорыв дамбы шламонакопителя ООО «Аммофос» (Вологодская область): ущерб от загрязнения окружающей среды (бассейн Рыбинского водохранилища) — 17,8 млн руб. Прорыв дамбы шламонакопителя Абагурского филиала ОАО «Евразурда» (Кемеровская область): ущерб (р. Кондома) — 927,2 млн руб. Эти ущербы, конечно, не сравнить с аварией на «Норникеле» в 2020 г., вызванной прорывом 21 тыс. т дизельного топлива и приведшей к ущербу в 147,7 млрд руб. Полезно сопоставить: добывая и перерабатывая нефть, создали потребительскую ценность в 40 руб./кг, которая нанесла ущерб в 7033 руб./кг.

Таблица 2. Генерация ТКО и роль различных технологий обращения с ними, 2014–2015 гг.

Страны	Общий объем генерации ТКО, млн т/год	Доля отходов, размещаемых на полигонах, %	Доля сжигаемых отходов, %	Доля отходов, перерабатываемых во вторичные ресурсы, %
США	289,2	52,5	12,8	34,7
ЕС	252	28	27	44
Германия	38,1	< 1	34	66
Норвегия	2,3	3,1	56,9	34,2
Финляндия	2,4–2,8	3,2	54,7	42,1
Китай	203,62	60,2	30	Нет данных

Источник: по материалам (Вахрушева, 2018).

3. *Системы концентрирования твердых выбросов.* Остановимся только на наиболее обсуждаемой экологической проблеме последнего десятилетия — захоронении ТКО на полигонах (Варенчев, Потапов, Щетинина, 2018; Гордин, 2019; Коробко, Бычкова, 2012; Duan, Scheutz, Kjeldsen, 2020). Какова судьба действующих полигонов? Станет ли полигонов больше, если сократятся средства, выделяемые на сферу обращения с отходами?

Сначала посмотрим, куда в принципе мы могли бы прийти вслед за развитыми странами. Естественно, что отечественных экологов вдохновляют высокотехнологичные зарубежные решения по переработке и утилизации ТБО-ТКО. Тем более что для установки рекордов переработки не обязательно входить в число наиболее развитых стран. Так, например, первое место в мире по переработке алюминиевых банок занимает Бразилия, которая повторно использует 98,2% этого вида ТБО. Также нельзя не заметить, что даже в развитых странах большую роль играют самые примитивные технологии обращения с отходами. Проанализируем выборку по материалам (Вахрушева, 2018), представленную в табл. 2.

Все представленные страны располагают современными высокими технологиями в сфере переработки мусора и значительными финансовыми возможностями. Но можно заметить, что структура технологических стратегий во многом определена не этими факторами, а располагаемыми земельными ресурсами и климатом. В США и Китае более 50% отходов идет на полигоны (часто — на свалки, не менее чудовищные, чем в России). Страны, отличающиеся высокой окультуренностью территории (Германия, Норвегия, Финляндия), находятся по этому параметру в рамках 3,2%. Общая для ЕС доля строительства полигонов резко нарастает до 28% за счет европейских стран с более небрежным отношением к земельным ресурсам, но все равно далека от показателей США и Китая. Норвегия и Финляндия лидируют по сжиганию ТБО-ТКО, что однозначно связано со стремлением максимально восполнить дефицит энергии в условиях холодного климата. Территориально-энергетический дефицит заставляет Японию сжигать (плазменной газификацией) 69% ТКО.

В Российской Федерации образуется около 60 млн т ТКО/год. Из них на промышленную переработку и утилизацию поступает только 4,5 млн т/год, т.е. 7,5%; промышленно сжигается около 3%; на полигонах и свалках накапливается (и тоже зачастую горит) около 90% ТКО. Экономически вынужденное строительство полигонов должно стать глубоко продуманным в плане использования природных преимуществ России и неравномерности распределения жителей по территории страны. И чтобы не утратить эти преимущества и социальное равновесие в результате нерациональных действий, необходимо искать возможность совершенствовать технологии строительства и эксплуатации полигонов даже в условиях серьезных экономических трудностей. При этом очень важно отметить, что никакие экономические аргументы не мешают развивать систему раздельного сбора. У нас есть огромные резервы оптимизации этого процесса, которые вполне могут вывести если не на цифры, близкие к данным табл. 2, то на рывок с 7,5 до 15–20% перерабатываемых и утилизируемых отходов.

Проведенный обзор дает широкую картину экономически мотивированного уклонения Цивилизации от необходимости обезвреживания своих отходов, антиэкологичного сброса их в атмосферу, гидросферу и литосферу. При этом подавляющая масса (и тоннажная, и ассортиментная) продуктов потребления вырабатывается из литосферы с интенсивным вовлечением в технологические процессы водных ресурсов. Сброс производственных и бытовых отходов в атмосферу и гидросферу уже привел к ряду глобальных последствий, критических для жизни на планете. На этом фоне размещение отходов в литосфере, несмотря на широчайший спектр негативных последствий, следует

признать меньшей экологической угрозой. Вырисовывается фундаментальная закономерность, по которой минимизацией экологической опасности является твердофазная генерация отходов и их локализованный сброс в литосферу — возвращение в базовую среду генерации производственного сырья. При этом нет сомнений, что и на этом направлении Цивилизацию без принятия экстренных мер защиты, без технологического прорыва ждет экологический коллапс. Эти меры должны базироваться на эффективной сортировке, переработке и утилизации отходов в народном хозяйстве, специальной переработке оставшихся объемов в материалы, наносящие минимальный экологический вред в процессе литосферного разложения или литосферной консервации.

Рассмотренные технологии экономии средств на решении природоохранных проблем рано или поздно приводят к огромным потерям и в экологическом, и в экономическом плане. Но также несомненно, что Цивилизация по инерции, и особенно интенсивно в периоды экономической рецессии, будет продолжать двигаться по этим направлениям. Есть основания констатировать, что в этом движении планета уже сегодня в ряде сфер вышла на необратимые процессы деградации природной среды. Вместе с тем, многие из рассмотренных технологий могут (часто без значительных модернизаций и дополнительных затрат) эффективно взаимодействовать с радикальными, появляющимися по мере выделения средств (например, строительство мусороперерабатывающего завода при полигоне ТКО). Главное, чтобы любая замена систем глубокой химико-технологической переработки загрязнений системами рассеивания и концентрирования рассматривалась только как временный щит, благодаря которому удастся найти лучшие решения или экономические средства для реализации известных радикальных решений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Акинин Н.И.** (2011). Промышленная экология: принципы, подходы, технические решения. М.: Изд. РХТУ им. Д. Менделеева. [Akinin N.I. (2011). *Industrial ecology: Principles, approaches, technical solutions*. Moscow: D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (In Russian).]
- Аксенов В.И.** (2007). Водное хозяйство промышленных предприятий. М.: Теплотехник. 239 с. [Aksenov V.I. (2007). *Water management of industrial enterprises*. Moscow: Teplotekhnik. 239 p. (In Russian).]
- Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М.** (2004). Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СОРАН. 151 с. [Androkhonov V.A., Kulyapina E.D., Kurachev V.M. (2004). *Soils of man-made landscapes: Genesis and evolution*. Novosibirsk: SB RAS. 151 p. (In Russian).]
- Архипов В.А., Шереметьева У.М.** (2007). Аэрозольные системы и их влияние на жизнедеятельность. Томск: Изд. ТомГПУ. 136 с. [Arkhipov V.A., Sheremetyeva U.M. (2007). *Aerosol systems and their impact on life*. Tomsk: Tomsk SPU. 136 p. (In Russian).]
- Будыко М.И., Израэль Ю.А.** (1987). Антропогенные изменения климата. Ленинград: Гидрометеиздат. 406 с. [Budyko M.I., Izrael Yu.A. (1987). *Anthropogenic climate change*. Leningrad: Gidrometeoizdat. 406 p. (In Russian).]
- Варенчев А.А., Потапов И.И., Щетинина И.А.** (2018). Проблема твердых бытовых отходов: обзор // *Экономика природопользования*. № 2. С. 53–62. [Varenchev A.A., Potapov I.I., Schetinina I.A. (2018). Solid waste: Overview. *Nature Management Economics*, 2, 53–62. (In Russian).]
- Васильева М.И.** (2004). Правовые проблемы организации управления в сфере окружающей среды. М.: Акрополь. 254 с. [Vasilyeva M.I. (2004). *Legal problems of environmental governance*. Moscow: Akropol. 254 p. (In Russian).]
- Вахрушева К.А.** (2018). Международный экологический обзор // *Экология и право*. № 72. С. 26–34. [Vakhrusheva K.A. (2018). International environmental review. *Ecology and Law*, 72, 26–34. (In Russian).]
- Воронов Ю.В., Алексеев Е.В., Саломеев В.П., Пугачев Е.А.** (2007). Водоотведение. М.: ИНФРА М. 415 с. [Voronov Yu.V., Alekseev E.V., Salomeev V.P., Pugachev E.A. (2007). *Water disposal*. Moscow: INFRA-M. 415 p. (In Russian).]
- Гордин И.В.** (2007). Игнорирование экологических угроз. М.: Физматлит. 120 с. [Gordin I.V. (2007). *Ignoring of ecological threats*. Moscow: Fizmatlit. 120 p. (In Russian).]
- Гордин И.В.** (2006). Кризис водоохраных зон России. М.: Физматлит. 196 с. [Gordin I.V. (2006). *Crisis of water protection zones of Russia*. Moscow: Fizmatlit. 196 p. (In Russian).]
- Гордин И.В.** (2020). Современные стратегии сокращения отходов // *Экономическая наука современной России*. № 3. С. 95–109. [Gordin I.V. (2020). Modern waste reduction strategies. *Economics of Contemporary Russia*, 3, 95–109. (In Russian).]
- Гордин И.В.** (2019). Теоретические предпосылки технологического прорыва в сфере обезвреживания ТКО // *Управление экономическими системами: Электронный научный журнал*. № 6. [Gordin I.V. (2019). Theoretical prerequisites

- for technological breakthrough in the field of solid municipal waste processing. *Management of Economic Systems: Scientific Electronic Journal*, 6. (In Russian).]
- Гринин А.С., Новиков В.Н.** (2002). Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка. М.: Фаир-Пресс. 336 с. [Grinin A.S., Novikov V.N. (2002). *Industrial and household waste: Storage, utilization, processing*. Moscow: Fair-Press. 336 p. (In Russian).]
- Гурман В.И., Рюмина Е.В.** (ред.) (2001). Моделирование социо-эколого-экономической системы региона. М.: Наука. 175 с. [Gurman V.I., Ryumina Ye.V. (eds.) (2001). *Modelling of the socio-ecological-economic system of the region*. Moscow: Nauka. 175 p. (In Russian).]
- Гусев А.А.** (2004). Современные экономические проблемы природопользования. М.: Международные отношения. 208 с. [Gusev A.A. (2004). *Modern economic problems of environmental management*. Moscow: International Relations. 208 p. (In Russian).]
- Жаворонкова Н.Г., Краснова И.О.** (2014). Экологическое право. М.: Проспект. 376 с. [Zavoronkova N.G., Krasnova I.O. (2014). *Environmental legislation*. Moscow: Prospect. 376 p. (In Russian).]
- Кашкаров А.П.** (2018). Современные электромобили. М.: ДМК-Пресс. 91 с. [Kashkarov A.P. (2018). *Modern electric vehicles*. Moscow: DMK-Press. 91 p. (In Russian).]
- Коробко В.И., Бычкова В.А.** (2012). Твердые бытовые отходы. Экономика. Экология. Предпринимательство. М.: ЮНИТИ-ДАНА. 131 с. [Korobko V.I., Bychkova V.A. (2012). *Municipal solid waste. Economy, ecology, business*. Moscow: UNITY-DANA. 131 p. (In Russian).]
- Кувшинов Ю.Я., Ливчак И.Ф.** (2012). Развитие теплоснабжения, климатизации и вентиляции в России. М.: АСВ. 366 с. [Kuvshinov Yu. Ya., Livchak I.F. (2012). *Development of heat supply, climatization and ventilation in Russia*. Moscow: ASV. 366 p. (In Russian).]
- Магадеев В.Ш.** (2013). Источники и системы теплоснабжения. М.: Энергия. 272 с. [Magadeev V. Sh. (2013). *Heat supply sources and systems*. Moscow: Energija. 272 p. (In Russian).]
- Моисеев Н.Н.** (2003). Междисциплинарные исследования глобальных проблем. М.: ТайдексКо. 264 с. [Moiseev N.N. (2003). *Interdisciplinary research on global issues*. Moscow: Tindex Co. 264 p. (In Russian).]
- Павлова Е.И.** (2000). Экология транспорта. М.: Транспорт. 248 с. [Pavlova E.I. (2000). *Ecology of transport*. Moscow: Transport. 248 p. (In Russian).]
- Рамсторф Ш., Шельнхубер Х.** (2009). Глобальное изменение климата: диагноз, прогноз, терапия. М.: Изд-во ОГИ. 272 с. [Ramstorf Sh., Shelnkhauber Ch. (2009). *Global climate change: Diagnosis, prognosis, therapy*. Moscow: OGI. 272 p. (In Russian).]
- Рассел Дж.** (2012). Космический мусор. М.: Озон. 70 с. [Russel J. (2012). *Space waste*. Moscow: Ozon. 70 p. (In Russian).]
- Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова Г.И.** (2004). Экологическая эпидемиология. М.: Изд. Центр «Академия». 344 с. [Revich B.A., Avaliani S.L., Tikhonova G.I. (2004). *Environmental epidemiology*. Moscow: Center «Academy». 344 p. (In Russian).]
- Рюмина Е.В.** (2000). Анализ эколого-экономических взаимодействий. М.: Наука, 2000. 158 с. [Ryumina Ye.V. (2000). *Analysis of environmental-economic interactions*. Moscow: Nauka. 158 p. (In Russian).]
- Рюмина Е.В.** (2011). Экологические издержки экономики. М.: Изд-во МБА. 111 с. [Ryumina Ye.V. (2011). *Environmental costs of economy*. Moscow: MBA. 111 p. (In Russian).]
- Рюмина Е.В.** (2009). Экономический анализ ущерба от экологических нарушений. М.: Наука. 330 с. [Ryumina Ye.V. (2009). *Economic analysis of environmental damage*. Moscow: Nauka. 330 p. (In Russian).]
- Трухний А.Д.** (2008). Основы современной энергетики. М.: Изд. дом МЭИ. 472 с. [Trukhniy A.D. (2008). *Fundamentals of modern energy*. Moscow: MEI. 472 p. (in Russian).]
- Хомич В.А.** (2002). Экология городской среды. Омск: Изд. СибАДИ. 267 с. [Homich V.A. (2002). *Ecology of the urban environment*. Omsk: SibADI. 267 p. (In Russian).]
- Цебаковская Н.С., Уткин С.С., Капырин И.В.** (2015). Обзор зарубежных практик захоронения ОЯТ и РАО. М.: Комтехпринт. 208 с. [Cebakovskaya N.S., Utkin S.S., Kapyrin I.V. (2015). *Review of foreign practices in the burial of spent nuclear fuel and radioactive waste*. Moscow: Komtehprint. 208 p. (In Russian).]
- Цыплакова Е.Г., Потапов А.И.** (2012). Оценка состояния и управление качеством атмосферного воздуха. СПб.: Нестор-История. 580 с. [Cuplakova E.G., Potapov A.I. (2012). *Assessment and management of atmospheric air quality*. Saint Petersburg: Nestor-Istoriya. 580 p. (In Russian).]
- Чертес К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н.** (2015). Геоэкологическая оценка накопителей шламов водного хозяйства и разработка технологий их ликвидации // *Вестник МГСУ*. № 2. С. 110–129. [Chertes K.L., Tupitsina O.V., Pystin V.N. (2015). Geoeological assessment of water management sludge accumulators and development of technologies for their elimination. *Bulletin of MGSU*, 2, 110–129. (In Russian).]

- Юдин А.Г., Потопов И.И. (2018). Кризис с отходами: европейский выход — «циркулярная экономика» // *Экономика природопользования*. № 5. С. 45–50. [Yudin A.G., Potapov I.I. (2018). Waste Crisis: European exit — circular economy. *Nature Management Economics*, 5, 45–50. (In Russian).]
- Юшин В.В. (2005). Техника и технология защиты воздушной среды. М.: Высшая школа. 391 с. [Yushin V.V. (2005). *Air protection technique and technology*. Moscow: Higher School. 391 p. (in Russian).]
- Яблоков А.В. (2007). Россия: здоровье среды и людей. М.: Яблоко. 200 с. [Yablokov A.V. (2007). *Russia: Environmental and human health*. Moscow: Yabloko. 200 p. (In Russian).]
- Яницкий О.Н. (2013). Экологические катастрофы: структурно-функциональный анализ // *Институт социологии РАН. Электронный ресурс*. 258 с. URL: <http://www.isras.ru/publ.html?id=2794> [Yanitskiy O.N. (2013). Environmental disasters: Structural and functional analysis. *Institute of Sociology of the Russian Academy of Sciences*. 258 p. (In Russian).]
- Carre F., Caudeville J., Bonnard R., Bert V., Boucard P., Ramel M. (2017). *Soil contamination and human health: A major challenge for global soil security*. Global Soil Security. Springer International Publishing Switzerland, 275–295.
- Duan Z., Scheutz C., Kjeldsen P. (2020). Trace gas emissions from municipal solid waste landfills: A review. *Waste Management*, 119, 39–62.
- Guyer J.P. (ed.) (2018). *An introduction to wastewater sludge disposal*. Independently published.
- Lanz T.J. (2015). *Global environmental problems: Causes, consequences, and potential solutions*. 1<sup>st</sup> ed. San-Diego: Cognella Academic Publishing.
- Maczulak A.E. (2009). *Waste treatment: Reducing global waste (green technology)*. Facts on File. Illustrated edition. New York: Infobase Publishing.
- Philippopoulos A. (2011). *Law and ecology: New environmental foundations*. 1st ed. London: Routledge.
- Tietenberg T.H., Lewis L. (2018). *Environmental and natural resource economics*. 11th ed. London: Routledge.

## Environmental protection systems during periods of economic downturns

© 2021 I.V. Gordin

I.V. Gordin,

A.C. Ailamazjan Program Systems Institute RAS, Pereslavl'-Zalesskii, Russia; e-mail: [ivgordin@mail.ru](mailto:ivgordin@mail.ru)

Received 25.02.2021

*This work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 20-110-50119).*

**Abstract.** In the unfavorable economic environment, the likelihood of abandoning technically complex, expensive environmental strategies increases. The urgency of compromises, the synthesis of not radical, but economically acceptable systems, is growing. An analytical review of a wide range of relevant environmental and economic solutions is given. The available technological arsenal is divided into two classes in the article: systems for the dispersion and concentration of pollutants in the environment. The analysis of dispersion systems describes the necessary transport infrastructure, special devices and structures that intensify mass transfer in natural environments, and technologies to increase their assimilation potential. The mobility of the emission sources themselves is considered a powerful factor in the dispersion of pollutants. The optimal placement of enterprises and settlements at the stage of territorial planning is considered by the effective technology of dispersion. High environmental and economic risks are considered as an integral feature of the concentration strategy. Optimal schemes for placing objects are considered. It is predicted that by inertia, and especially intensively during periods of economic recession, the movement of civilization in the considered directions will continue. It is stated that in this movement, many natural objects have already reached irreversible ecological degradation processes. It is analyzed to what extent the non-radicality of the considered technologies allows them to interact with the radical ones that appear as they exit the phase of economic deficits. A generalizing conclusion is the need to consider any economically forced abandonment of deep pollution processing systems only as a temporary measure that allows us to find radical solutions or economic means to implement known radical solutions.

**Keywords:** nature management economics, environmental pollution, environmental protection systems, ecological and economic optima, technical and economic optima.

**JEL Classification:** Q53.

**DOI:** 10.31857/S042473880014913-3

---

---

НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

---

---

**Проблемы эволюции транзитных систем и сопряжения инфраструктурных проектов формирования Большого Евразийского партнерства**

© 2021 г. К.Х. Зоидов, А.А. Медков

**К.Х. Зоидов,**

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

**А.А. Медков,**

*Институт проблем рынка РАН, Москва; e-mail: medkov71@mail.ru*

Поступила в редакцию 19.08.2020

*Исследование проведено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекта 19-110-50187 Экспансия).*

**Аннотация.** В статье приводятся результаты исследования, всестороннего научного обзора и анализа основных подходов к проблеме эволюционного развития транспортно-транзитных систем (ТТС) и сопряжения инфраструктурно-интеграционных проектов в целях формирования Большого Евразийского партнерства (БЕАП). Выявлены транспортно-строительные и организационно-институциональные проблемы обеспечения инфраструктурой формирования БЕАП. Показано, что в исследовательском сообществе существует три варианта рассмотрения инфраструктурно-интеграционного проекта «Пояс и путь» (ПиП): 1) строительство сети маршрутов евроазиатских перевозок; 2) включение всеобъемлющего механизма внешней экспансии Китая и его международных торговых отношений для решения внутренних проблем; 3) формирования глобального политического, социального, экономического, культурного пространства на основе перемещением энергии, товаров, технологий, компетенций и др. Доказано, что в настоящее время только китайская инициатива ПиП может стать эффективной основой эволюционного развития и сопряжения инфраструктурно-интеграционных проектов на пространстве Большой Евразии. Дан научный обзор возможных направлений использования китайской инициативы ПиП для формирования БЕАП с лидирующим участием России. Определены наиболее эффективные формы и способы сопряжения альтернативных ПиП инфраструктурно-интеграционных проектов для формирования БЕАП в целях развития ТТС России.

**Ключевые слова:** транспортно-транзитные системы, Большое Евразийское партнерство, инфраструктурно-интеграционные проекты, инициатива КНР «Пояс и путь», сопряжение, торговые пути, инновационно-индустриальный пояс, Индустрия 4.0, цифровая трансформация, локализация производства, государственное участие.

**Классификация JEL:** R40, N70, F15-17.

**DOI:** 10.31857/S042473880010917-7

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие и модернизация транспортно-транзитных систем (ТТС) — стратегическое направление социально-экономического развития России, других стран Европейской части СНГ (ЕЧ СНГ), Центральной Азии (ЦА), Южного Кавказа (ЮК), Западной Азии (ЗА) и Южной Азии (ЮА) (Зоидов К., Медков, Зоидов З., 2018).

Стержнем развития ТТС в ЦА исторически выступал Великий шелковый путь (ВШП). Исследование цивилизационной, геополитической и геоэкономической роли ВШП содержится в работах академика А. Акаева (Акаев, Акаева, 2019).

В настоящее время финансово-экономические и производственно-технологические трудности не позволяют России самостоятельно сформировать инфраструктурную основу Большого Евразийского партнерства (далее — БЕАП), идея создания которого была выдвинута Президентом России В.В. Путиным на XX Петербургском международном экономическом форуме 17 июня 2016 г. (Белоглазов, Хафизова, 2017). Кроме того, существуют транспортно-строительные и организационно-институциональные проблемы инфраструктурного обеспечения создания БЕАП (табл. 1).

**Таблица 1.** Транспортно-строительные и организационно-институциональные проблемы инфраструктурного обеспечения формирования БЕАП

Название проекта	Значение для формирования БЕАП	Проблемы реализации
Модернизация Транссиба и БАМ	Самая протяженная железнодорожная магистраль Азия — Европа, становой хребет ТТС России. Основные транспортные артерии для вывоза природных ресурсов на экспорт в страны АТР	Использование увеличенной пропускной способности магистралей для обслуживания поставок угля и других сырьевых товаров на рынки стран АТР, несоответствие профиля пути задачам пропуска ускоренных контейнерных поездов
Развитие автомобильного Международного транспортного коридора (МТК) «Европа — Западный Китай»	Увеличение и облегчение перевозок грузов автомобильным транспортом на евразийском пространстве	Отставание в финансировании и строительстве российских участков МТК, которые должны быть сданы в эксплуатацию еще к ЧМ-2018 по футболу
Строительство платной частной автомагистрали «Меридиан»	Наиболее современная и беспрепятственная трасса, соединяющая Евроазию на рыночной основе	Проект находится на подготовительной стадии, заключаются соглашения с регионами, идет выкуп земли, источники финансирования неопределенны, перспективы туманные
Организация и обеспечение транзитных перевозок грузов по Северному морскому пути (СМП)	Наиболее короткий морской маршрут, соединяющий Европу и Азию	Основное предназначение — вывоз сырья по западному участку СМП, сложность перевозки температурочувствительных грузов, отставание в строительстве ледоколов, неразвитость береговой инфраструктуры, споры о статусе СМП, экономические санкции
Строительство и модернизация железнодорожной инфраструктуры Приволжской железной дороги и Северо-Кавказской железной дороги	Транспортно-транзитное обеспечение торгово-экономических связей на евразийском пространстве по направлению «Север — Юг»	Использование модернизированной железнодорожной инфраструктуры для наращивания экспортных поставок сырьевых товаров через порты Азово-Черноморского бассейна, обеспечения транспортного сообщения с Республикой Крым
Расширение пропускной способности пограничных переходов и железнодорожной инфраструктуры Польши	Обеспечение бесшовного движения грузов из Азии на железнодорожной сети Европы в направлении «Восток — Запад» и обратно.	Продолжительные сроки модернизации, риски недозагруженности ввиду сокращения объемов международной торговли вследствие экономического спада, пандемии коронавируса, политики санкций и торговых войн
Субсидирование контейнерных перевозок по сухопутным маршрутам Евразии	Стимулирование перевозок высокоходных грузов по сухопутным евроазиатским железнодорожным маршрутам	Сокращение субсидирования движения контейнерных поездов правительством КНР и руководством провинций. Рост бюджетных расходов РФ на субсидирование перевозок контейнеров по Транссибу

Основой эволюционного развития и сопряжения инфраструктурно-интеграционных проектов на пространстве Большой Евразии является выдвинутая в 2013 г. инициатива КНР ПиП.

28 марта 2015 г. в Китае была опубликована «Концепция и план действий по продвижению совместного создания «Экономического пояса Шелкового пути» (далее — ЭПШП) и «Морского Шелкового пути XXI века» (далее — МШП-XXI), составляющих вместе инициативу ПиП.

Для определения реалистичности, достижимости и конкретного наполнения БЕАП требуется провести глубокий теоретико-методологический и научно-практический анализ содержания и перспектив осуществления самого значимого современного инфраструктурно-интеграционного проекта на пространстве Глобальной Евразии — инициативы КНР ПиП.

В исследовательском сообществе существует три варианта рассмотрения инфраструктурно-интеграционного проекта ПиП, как: 1) строительства сети маршрутов европейско-азиатских перевозок; 2) включения всеобъемлющего механизма внешней экспансии Китая и его международных торговых отношений для решения внутренних проблем (особенно ярко этот подход прослеживается в работах (Лю, Авдокушин, 2019)); 3) формирования глобального политического, социального, экономического, культурного пространства на основе перемещения энергии, товаров, технологий, компетенций и других экономических и неэкономических благ.

Эволюционное развитие и тесная взаимосвязь внешнеполитических, дипломатических, военно-стратегических и транспортно-торговых российско-китайских отношений показана в книге

(Фауст, 2019). Важное понимание места и ВШП в истории человечества, его общественно-политического и религиозно-культурного значения изложено в исследовании (Хансен, 2014). В книге (Франкопан, 2018, с. 183) подчеркивается, что ВШП приносил не только доходы его контролирующим властям, но и «давал хозяевам доступ к информации и идеям, которые можно было скопировать и использовать за тысячи миль от места их появления».

Обзор научных подходов к проблемам эволюционного развития и сопряжения инфраструктурно-интеграционных проектов на пространстве Большой Евразии позволяет определить наиболее эффективные направления модернизации и реиндустриализации на высокотехнологичной основе национальной экономики России, прежде всего в рамках формирования инновационно-индустриальных поясов торговых путей XXI в. и проведения организационно-институциональных улучшений (Alchian, 1950; Норт, 1997; Nelson, Winter, 2000).

## МЕТОДЫ (ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ)

В исследовании использованы методы системного анализа (Клейнер, 2016; Макаров и др., 2020), эволюционно-институциональной теории (Alchian, 1950; Норт, 1997; Nelson, Winter, 2000), теории производственно-технологической сбалансированности (Яременко, 1999) и исторического подхода (Акаев, Акаева, 2019; Валлерстайн, 2016; Кроули, 2015; Пейн, 2017; Фауст, 2019; Франкопан, 2018; Хансен, 2014).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Реализация инициативы ПиП предполагает формирование поясов экономического сотрудничества и пяти международных транспортных коридоров (Островский, 2017). Стратегия инициативы направлена на развитие экономически отсталых регионов Китая путем реализации крупных инфраструктурно-индустриальных проектов, позволяющих в сжатые сроки повысить уровень социально-экономического развития этих территорий.

Предложенная в статье (Акаев и др., 2019) пространственная математическая модель по мысли авторов должна дать возможность оценить, как изменятся трансъевразийские транспортные потоки в случае реализации масштабных проектов модернизации российской железнодорожной сети.

И. Анохов и А. Суходолов (Анохов, Суходолов, 2019) указывают на то, что спрос на перевозки грузов по трансконтинентальному мосту обусловлен конкурентными преимуществами сухопутных сообщений по сравнению с морскими перевозками. Появление более короткого и эффективного транспортного плеча ослабляет влияние фактора географической удаленности, запускает механизм сборки разрозненных ресурсов Евразии в единый организм.

Всесторонний анализ направлений эволюционного развития перевозок грузов автомобильным транспортом в целях формирования инфраструктурной основы ПиП и БЕАП содержится в работе (Чэнь, Сазонов, 2019). Основную выгоду от инициативы МШП-XXI Россия может приобрести путем реализации совместно с китайской стороной проектов развития международных транспортных коридоров (МТК) «Приморье-1» и «Приморье-2», через которые осуществляется перевозка грузов из северо-восточных провинций КНР до морских портов Приморского края с последующей их отправкой в южные порты КНР и/или порты стран АТР.

Всесторонний анализ морской составляющей современной инициативы ПиП содержится в (Афонасьева, 2018). По мнению автора, «учитывая специфику работы КНР по реализации МШП-XXI и ее явный интерес к подключению российского Северного морского пути к проекту ПиП, можно предположить, что Китай в случае принятия решения об экономической целесообразности северного морского маршрута будет пытаться экономически закрепиться в Арктическом регионе».

В статье (Борисов, 2019) отмечается, что в ЭПШП и МШП-XXI доминируют энергетические инвестиционные проекты, коммерческая эффективность которых дополняется повышением энергетической безопасности КНР путем диверсификации источников снабжения энергоресурсами, обеспечения их надежности и управляемости.

Анализ научных подходов к определению направлений эволюционного развития и сопряжение главных инфраструктурно-интеграционных проектов на пространстве Глобальной Евразии

**Таблица 2.** Направления использования китайской инициативы ПиП для формирования БЕАП с лидирующим участием России

Инфраструктурно-интеграционный проект	Цели и политико-экономические выгоды для Китая	Направления использования для формирования БЕАП и развития ТТС России
Модернизация и увеличение пропускной способности Транссиба и БАМа	Альтернативный маршрут перевозок по направлению Китай — Европа, проходящий по одной стране, для транспортного сообщения северо-восточных и северных районов КНР	Использование самой протяженной железной дороги магистрали в качестве инфраструктурной основы БЕАП, реализация синергетического эффекта экспортно-импортных, транзитных и внутренних перевозок
Развитие транспортного направления «Север — Юг»	Альтернативный маршрут грузовых перевозок, привлекательный для Индии, Пакистана, Ирана, стран ЦА и ЮК	Реализация инфраструктурно-интеграционного проекта БЕАП, где Россия играет лидирующую роль, упрочение торгово-экономических и производственно-технологических связей со странами ЦА, ЗА, ЮА и ЮК
Модернизация автомагистралей, входящих в МТК «Европа — Западный Китай» со строительством платной трассы «Меридиан»	Повышение привлекательности сухопутного маршрута КНР — Казахстан — Россия — ЕС вследствие усиления конкуренции между видами транспорта, расширения объемов перевозок «от двери до двери».	Преодоление инфраструктурного неравенства видов транспорта, обеспечение гибкости евроазиатских сухопутных перевозок, расширение поля внедрения беспилотных технологий, укрепление пространственной связанности ЕАЭС
Повышение и реализация транспортно-транзитного потенциала СМП	Использование самого короткого водного маршрута КНР — ЕС, формирование «Ледяного Шелкового пути», организация поставок сырья из Полярного региона в Китай	Укрепление позиций России в Арктике, инфраструктурное обеспечение экспорта природных ресурсов, увеличение экспорта транспортных услуг при использовании ледокольной проводки, гидрографических и навигационных услуг, береговой инфраструктуры и пр.
Развитие инновационно-индустриальных поясов евроазиатских торговых путей	Задействование производственно-технологических, строительных, инвестиционных и кадровых ресурсов Китая на всех направлениях евроазиатских торговых путей	Эффективный трансфер и внедрение в экономику передовых технико-технологических процессов, локализация производства товаров и услуг, постепенное занятие лидирующих позиций в обслуживании торговых путей XXI в.
Расширение практики увязок, заключение «пакетных сделок»	Организация равноправного, взаимовыгодного сотрудничества на пространстве Большой Евразии как составляющих нового типа глобализации	Увязка доступа Китая к природным ресурсам Заполярья с ростом транзитных перевозок по СМП, привлечение китайских ресурсов к сооружению инфраструктурных объектов в пакете с доступом российских проектных и строительных компаний к сооружению коммуникаций в КНР, поставками продукции российского транспортного машиностроения
Развитие «Цифрового Шелкового пути»	Развитие и рост экспорта высокотехнологичных продукции и услуг, развитие Индустрии 4.0 с лидирующим положением Китая	Формирование БЕАП на цифровой инфраструктурной основе, распространение цифровой трансформации экономики вдоль торговых путей, эффективное вложение российского интеллектуального (человеческого) капитала

позволил выявить и систематизировать основные составляющие механизма использования китайской инициативы ПиП для формирования БЕАП с лидирующим участием России (табл. 2).

ПиП — важнейшее направление внутриэкономического и внутривнутриполитического развития Китая. Ин Цзюй (Цзюй, 2019) указывает, что в последние годы себестоимость производства в Китае медленно, но устойчиво растет, что приводит к тому, что конкурентное преимущество, которое Китай имел в мировом разделении труда.

А. В. Островский указывает (Островский, 2016), что ПиП будет способствовать более равномерному развитию территорий Китая при сохранении имеющихся достижений. При реализации стратегии «идти вовне» экспортная ориентация производства стимулировало государство, предпринимателей и население КНР осваивать прибрежные территории. Ускорение социально-экономического развития Синьцзян-Уйгурского автономного района (СУАР) приведет не только к строительству и модернизации транспортной и энергетической инфраструктуры, которая до сих пор остается весьма отсталой, но и к значительным этническим миграциям (Селиванов, 2015).

Проект ПиП может послужить серьезным предупреждением в первую очередь для США, которые вместо активного и равноправного участия в совместных проектах с другими странами объявляют «торговые войны» (Макаров и др., 2020).

Как отмечает автор в (Лузянин, 2017), в настоящее время стал значимой международной реальностью Форум глав государств ПиП, который можно рассматривать как образование неформальных и неинституализированных способов глобального управления и развития (типа G-20), но уже не в западной (американской), а в китайской версии.

В статье (Мозиас, 2019) автор указывает, что в рамках ПиП не только кредитные ресурсы, но и прямые инвестиции предоставляет Китай под ряд обязательств страны-реципиента: привлекать китайские компании для проектирования и строительства предприятий и инфраструктурных объектов; использовать в их деятельности китайские технологии, оборудование и материалы; нанимать китайских специалистов для эксплуатации и обслуживания объектов.

Таким образом, посредством ПиП внутренняя промышленная политика Китая распространяется за пределы Китая — на национальные экономики стран, вовлекаемые в реализацию инициативы ПиП.

Если возможное участие России в проекте ПиП сведется только к инфраструктурной составляющей, то в дополнение к сырьевой ренте страна будет в лучшем случае получать еще и транзитную ренту, которая, однако, отнюдь не гарантирована.

Форматом российско-китайского взаимодействия в рамках ПиП может быть образование зоны преференциальной торговли и инвестиций между ЕАЭС и Китаем, в рамках которой сотрудничество может строиться по принципу «пакетных сделок». Например, большой доступ китайских компаний к разработке сырьевых месторождений в РФ может быть увязан с предоставлением российским компаниям дополнительных возможностей выхода на китайские рынки высокотехнологичных товаров и услуг, прежде всего в области транспортного машиностроения и строительства инфраструктурных объектов (Мозиас, 2019).

Как показывает практика, сотрудничество в формате «ЕАЭС — Китай» пока не дает практических результатов. Предпочтение отдается развитию двустороннего формата взаимоотношений (Семенищева, 2019).

Эксперты отмечают *ряд рисков*, которые могут возникнуть при присоединении к проекту ПиП. Прежде всего указывается, что «получение китайских инвестиций ведет к контролю китайских инвесторов над отдельными инфраструктурными и производственными проектами, т.е. фактически к ослаблению национального суверенитета, покупка земли китайскими инвесторами повышает вероятность народных волнений» (Хейфец, 2020).

По мнению авторов (Анохов, Суходолов, 2019), политика ЕАЭС состоит в создании единой и относительно замкнутой таможенной зоны, защищающей рынки стран-участниц от внешней конкуренции. Эта логика противоречит логике ЭПШП, т.е. задаче обеспечения максимальной открытости рынков.

Как отмечается в (Пивоваров, 2016), прилегающие к современному Шелковому пути территории ЦА и западные регионы Китая находятся в *экономической низине*, т.е. отстают в социально-экономическом развитии от соседних регионов. Таким образом, экономическое развитие этих районов представляет собой *феномен верблюжьего горба*: «обе стороны — высокие, середина — низкая».

Ряд ведущих государств мира, включая США, Австралию, Индию и Японию, ищут альтернативы ПиП, определяют перспективы собственных инфраструктурных инициатив, нацеленных на сдерживание Китая, и предлагают странам по маршруту ПиП иные перспективы и возможности экономического развития.

Пока остается открытым вопрос об участии Индии в МШП-XXI из-за ее разногласий с Пакистаном по спорным территориям, через которые проходит Китайско-Пакистанский экономический коридор (КПЭК), а также из-за опасений превращения порта Гвадар в военно-морскую базу КНР (Афанасьева, 2018).

Так, Е. Канаев отмечает: «Практика, однако, продемонстрировала: дистанция от “дипломатии улыбок” до долговой ловушки, как свидетельствует пример порта Хамбантога, составляет полшага, а перспектива последующего использования перешедших под контроль КНР объектов

инфраструктуры в военных целях — наиболее вероятный, если не единственно возможный сценарий» (Канаев, 2019).

В целях купирования рисков, связанных с китайской инициативой ПиП, Япония предприняла ряд мер, прежде всего разработала и стала активно продвигать концепцию «качественной инфраструктуры» (Лексютина, 2019).

Выдвижение идеи Цифрового шелкового пути (ЦШП) и ее реализация становятся продолжением и расширением программы инновационного развития Китая. Центральное звено в реализации проекта — дальнейшее развитие электронной торговли (Авдокушин, Лю, 2019).

Однако при реализации проекта ЦШП в рамках ПиП необходимо учитывать следующую закономерность: «Цифровая трансформация рассматривается как средство повышения эффективности производства. Однако на практике наблюдается снижение темпов роста производительности труда в ряде стран, являющихся лидерами очередной технологической революции» (Дементьев, 2019).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Либеральная составляющая проекта ПиП выражается в сокращении транспортного расстояния и снижении таможенных тарифов, минимизации времени и ликвидации препятствий для прохождения пограничных и таможенных процедур. Остается актуальным запрос на создание оператора транзитных перевозок грузов, обеспечивающего их беспрепятственное осуществление и безопасность на основе лучших мировых практик корпоративного управления (Клейнер, 2016).

В настоящее время развитие торговых путей и их инновационно-индустриальных поясов должно стать основой для транзита и локализации самых передовых промышленных технологий и перевозочных процессов на основе обеспечения производственно-технологической сбалансированности национальной экономики (Яременко, 1999).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Авдокушин Е.Ф., Лю И.** (2019). Цифровизация экономического пояса шелкового пути. Сборник материалов XV МНПК, Якаевские чтения. С. 10–19. [**Avdokushin E.F., Liu Y.** (2019). Digitalization of the silk road economic belt. *Collection of materials of the XV MNPC, Yakayevsky Readings*, 10–19 (in Russian).]
- Акаев А.А., Акаева Б.А.** (2019). Кыргызстан в эпоху цифровой экономики на новом шелковом пути. М.: URSS. [**Akaev A.A., Akayeva B.A.** (2019). *Kyrgyzstan in the era of digital economy on the new silk road*. Moscow: URSS (in Russian).]
- Акаев А.А., Давыдова О.И., Малков А.С., Шульгин С.Г.** (2019). Моделирование перспективных торгово-транспортных коридоров в рамках проекта «Один пояс — один путь» // *Экономика региона*. Т. 15. Вып. 4. С. 981–995. [**Akaev A.A., Davydova O.I., Malkov A.S., Shulgin S.G.** (2019). Modeling of prospective trade and transport corridors in the framework of the “one belt — one road” project. *Economy of the Region*, 15, 4, 981–995 (in Russian).]
- Анохов И.В., Суходолов А.П.** (2019). Проект «Один пояс — один путь»: гармонизация долгосрочных интересов России и Китая // *Вестник МГИМО университета*. № 3 (66). С. 89–110. [**Anokhov I.V., Sukhodolov A.P.** (2019). One belt — one road project: Harmonizing the long-term interests of Russia and China. *MGIMO Review of International Relations*, 3 (66), 89–110 (in Russian).]
- Афонасьева А.В.** (2018). Экономическое присутствие Китая в странах по маршруту МШП XXI века // *Вопросы экономики*. № 7. С. 142–148. [**Afonaseva A.V.** (2018). China’s economic presence in countries along the MSHP route of the 21st century. *Voprosy Ekonomiki*, 7, 142–148 (in Russian).]
- Белоглазов А.В., Хафизова Э.И.** (2017). Политика России и Ирана в Каспийском регионе в контексте китайского проекта «Один пояс, один путь» // *Общество: политика, экономика, право*. № 8. С. 14–17. [**Beloglazov A.V., Hafizova E.I.** (2017). Politics of Russia and Iran in the Caspian region in the context of the Chinese project “one belt, one road”. *Society: Politics, Economics, Law*, 8, 14–17 (in Russian).]
- Борисов М.Г.** (2019). Энергетическая составляющая инициативы «Один пояс — один путь» // *Восточная аналитика*. № 2. С. 13–23. [**Borisov M.G.** (2019). Energy component of the “one belt — one road” initiative. *Eastern Analytics*, 2, 13–23 (in Russian).]
- Валлерстайн И.** (2016). Мир-система Модерна. Т. II. «Меркантилизм и консолидация европейской мир-экономики», 1600–1750 гг. Пер. с англ. Н. Проценко. М.: Русский фонд содействия образованию и науке.

- [Wallerstein I. (2016). The world is a Modern system. Vol. II. *Mercantilism and consolidation of the European world economy, 1600–1750*. Translated from the English by N. Protsenko. Moscow: Russian Foundation for assistance to education and science (in Russian).]
- Дементьев В.Е.** (2019). Индустрия 4.0 и парадокс Солоу. В сб.: «Пространственный потенциал развития России: невыученные уроки и задачи на будущее». В.М. Бондаренко (ред.). М.: Ин-т Экономики РАН. С. 124–132. [Dementiev V.E. (2019). Industry 4.0 and the Solow paradox. In: *Spatial potential of Russia's development: Lessons not learned and challenges for the future*. V.M. Bondarenko (ed.). Moscow: Institute of Economics, RAS, 124–132 (in Russian).]
- Зоидов К.Х., Медков А.А., Зоидов З.К.** (2018). Концептуальные основы теории, методологии и практики транзитной экономики // *Проблемы рыночной экономики*. № 3. С. 49–58. [Zoidov K. Kh., Medkov A.A., Zoidov Z.K. (2018). Conceptual foundations of the theory, methodology and practice of the transit economy. *Market Economy Problems*, 3, 49–58 (in Russian).]
- Канаев Е.А.** (2019). АСЕАН в инициативе Пояса и пути: навстречу председательству Вьетнама // *Юго-Восточная Азия: актуальные проблемы развития*. № 1 (42). Т. 1. С. 22–31. [Kanaev E.A. (2019). ASEAN in the Belt and road initiative: Towards the presidency of Vietnam. *South East Asia: Actual Problems of Development*, 1 (42), 1, 22–31 (in Russian).]
- Клейнер Г.Б.** (2016). Экономика. Моделирование. Математика. Избранные труды. Москва: ЦЭМИ РАН. [Kleiner G.B. (2016). *Economy. Modeling. Mathematics. Selected works*. Moscow: CEMI RAS (in Russian).]
- Кроули Р.** (2015). Венецианская республика. Расцвет и упадок великой морской империи. 1000–1503. Пер. с англ. Л.А. Игоревского. М.: ЗАО Издательство Центр-полиграф. [Crowley R. (2015). *Venetian Republic. The rise and fall of the great Maritime Empire. 1000–1503*. Translated from English by L.A. Igorevsky. Moscow: ZAO Publishing house Center-Polygraph (in Russian).]
- Лексютина Я.В.** (2019). Китайские инициативы «Пояс и Путь» и АБИИ: подходы Японии и Индии. Китай в мировой и региональной политике // *История и современность*. № 24. Т. 24. С. 145–157. [Leksyutina Ya.V. (2019). China's Belt and Road initiative and the АИВ: Approaches from Japan and India. China in world and regional politics. *Social Evolution & History*, 24, 24, 145–157 (in Russian).]
- Лузянин С.Г.** (2017). «Один пояс, один путь»: российская проекция и проблемы сопряжения // *Китай в мировой и региональной политике. История и современность*. № 22. Т. 22. С. 27–36. [Luzyanin S.G. (2017). “One belt, one road”: Russian projection and problems of integration. *China in world and regional politics. History and modernity*, 22, 22, 27–36 (in Russian).]
- Лю И., Авдокушин Е.Ф.** (2019). Проект «Один пояс, один путь» 2.0 — стратегия стимулирования глобальной экспансии Китая // *Мир новой экономики*. Т. 13. № 1. С. 67–76. [Liu Y., Avdokushin E.F. (2019). Project “one belt, one road” 2.0-strategy for stimulating global expansion of China. *World of the New Economy*, 13, 1, 67–76 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Ву Ц., Ву З., Хабриев Б.Р., Бахтизин А.Р.** (2020). Мировые торговые войны: сценарные расчеты последствий // *Вестник Российской академии наук*. Т. 90. № 2. С. 169–179. [Makarov V.L., Vu T., Vu Z., Khabriev B.R., Bakhtizin A.R. (2020). World trade wars: Scenario calculations of consequences. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 90, 2, 169–179 (in Russian).]
- Мозиас П.М.** (2019). Проект «Один пояс, один путь» и российско-китайское экономическое сотрудничество: еще один шанс? // *Вопросы экономики*. № 12. С. 47–71. [Moziyas P.M. (2019). One belt, one road project and Russian-Chinese economic cooperation: Another chance? *Voprosy Ekonomiki*, 12, 47–71 (in Russian).]
- Норт Д.** (1997). Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. М.: Фонд экономической книги «Начала». [North D. (1997). *Institutes, institutional changes and functioning of the economy*. Moscow: Foundation of the economic book “Beginnings” (in Russian).]
- Островский А.В.** (2016). Китайский проект «Экономический пояс Шелкового пути». В сб.: «Россия и Китай в АТР: трансграничное взаимодействие». Под общей редакцией Л.А. Понкратовой. С. 6–15. [Ostrovsky A.V. (2016). Chinese project “Economic belt of the silk road”. In: *Russia and China in the Asia-Pacific region: Cross-border interaction*. L.A. Ponkratova (ed.), 6–15 (in Russian).]
- Островский А.В.** (2017). Перспективы сопряжения проектов Экономического пояса Шелкового пути и ЕАЭС // *Вестник РАН*. Т. 87. № 11. С. 974–985. [Ostrovsky A.V. (2017). Prospects for linking the silk road Economic belt and the EEU projects. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 87, 11, 974–985 (in Russian).]
- Пейн Л.** (2017). Море и цивилизация. Мировая история в свете развития мореходства. Пер. с англ. И.В. Майгуровой. М.: АСТ. [Payne L. (2017). *The sea and civilization. World history in the light of navigation development*. Translated from English. Moscow: AST (in Russian).]
- Пивоваров Д.А.** (2016). Экономический пояс Шелкового пути как инновационный механизм безопасного регионального развития: взгляд китайских ученых. В сб. статей XIV МНПК «Региональное измерение российско-китайского сотрудничества и взаимодействия в контексте ЭПШП. Отв. ред. Н.Ю. Гусев-

- ская. Чита. С. 46–52. [Pivovarov D.A. (2016). The Silk Road economic belt as an innovative mechanism for safe regional development: The view of Chinese scientists. In the collection of articles XIV of the MNPC “Regional dimension of Russian-Chinese cooperation and interaction in the context of the EPSHP”. Chita, 46–52 (in Russian).]
- Селиванов Д.Е. (2015). Проблема уйгурского сепаратизма в рамках строительства «Экономического пояса Шелкового пути». В сб.: «Судьбы национальных культур в условиях глобализации» // *Культура. Духовность. Общество*. № 18. С. 119–124. [Selivanov D.E. (2015). The problem of Uyghur separatism in the framework of the construction of the “Silk Road Economic Belt”. In the collection of the Fate of national cultures in the context of globalization. *Culture. Spirituality. Society*, 18, 119–124 (in Russian).]
- Семишчева А.А. (2019). Экономическая дипломатия КНР в рамках проекта «Один пояс — один путь». В сб.: «Актуальные проблемы развития КНР в процессе ее регионализации и глобализации». Отв. ред. Т.Н. Кучинская. С. 156–161. [Semenishcheva A.A. (2019). Economic diplomacy of the PRC in the framework of the project “One belt and one road”. In: *Actual problems of development of China in the process of regionalization and globalization*. T.N. Kuchinskaya (ed.), 156–161 (in Russian).]
- Фауст К. (2019). Великий торговый путь от Петербурга до Пекина. История российско-китайских отношений в XVIII — XIX веках. Пер. с англ. С.А. Белоусова. М.: ЗАО Центрполиграф. [Faust C. (2019). *The great trade route from St. Petersburg to Beijing. History of Russian-Chinese relations in the XVIII–XIX centuries*. Translated from the English by S.A. Belousova. Moscow: TSENTRPOLIGRAF (in Russian).]
- Франкопан П. (2018). Шелковый путь. Пер. с англ. Ю.В. Шаршуковой. М.: Издательство «Э». [Frankopan P. (2018). *Silk road*. Translated from English by Yu.V. Sharshukova]. Moscow: Publishing house “E” (in Russian).]
- Хансен В. (2014). Великий шелковый путь. Портовые маршруты через Среднюю Азию. Китай—Согдиана—Персия—Левант. Пер. с англ. С.А. Белоусова. М.: ЗАО Издательство Центрполиграф. [Hansen V. (2012). *The silk road: A new history*. Translated from English by S.A. Belousov (in Russian).]
- Хейфец Б.А. (2020). Каким маршрутом пойдет Россия по одному непростому китайскому пути. Научный доклад. М.: Институт экономики РАН. [Heifetz B.A. (2020). *What route will Russia take on one difficult Chinese path*. Scientific report. Moscow: Institute of Economics RAS (in Russian).]
- Цзюй И. (2019). Потенциал транспортной инфраструктуры стран—участниц ЕАЭС в рамках концепции «Один пояс — один путь». В сб.: «Образовательная система: структурные преобразования и перспективные направления развития научной мысли». Казань. С. 348–352. [Ying Ju (2019). Potential of transport infrastructure of the EEU member States within the framework of the concept “one belt — one road”. In: *Educational system: Structural transformations and promising directions of scientific thought development*. Kazan, 348–352 (in Russian).]
- Чэнь С., Сазонов С.Л. (2019). Российско-китайское сотрудничество в области автомобильного транспорта как составная часть «Пояса и пути». В сб.: «Экономика КНР в свете решений XIX съезда КПК». А.В. Островский (отв. ред.), П.Б. Каменнов (составитель). С. 237–248. [Chen X., Sazonov S.L. (2019). Russian-Chinese cooperation in the field of road transport as an integral part of the “Belt and road”. In: *China’s Economy in the light of the decisions of the XIX Congress of the CPC*. A.V. Ostrovsky (ed.). Compiled by P.B. Kamennov, 237–248 (in Russian).]
- Ярёменко Ю.В. (1999) Избранные труды в трех книгах. Кн. 1–3. М.: Наука. [Yaremenko Yu.V. (1999). *Selected works in three books*. Books 1–3. Moscow: Nauka (in Russian).]
- Alchian A.A. (1950). Uncertainty, evolution and economic theory. *Journal of Political Economy*, 58, 211–221.
- Nelson R.R., Winter S.J. (2000). *An evolutionary theory of economic change*. Moscow: Finstatinform.

## Problems of the evolution of transit systems and the integration of infrastructure projects in the formation of a Great Eurasian Partnership

© 2021 K.Kh. Zoidov, A.A. Medkov

**K.Kh. Zoidov,**

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

**A.A. Medkov,**

*Market Economy Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; e-mail: medkov71@mail.ru*

Received 19.08.2020.

*The research was conducted with the financial support of the Russian Foundation for basic research (RFBR) in the framework of the scientific project no. 19-110-50187 Expansion.*

**Abstract.** The article presents the results of research, a comprehensive scientific review and analysis of the main approaches to the problem of the evolutionary development of transport and transit systems (TTS) and the interface of infrastructure and integration projects in order to form the Greater Eurasian partnership (GEAP) in the space of Global Eurasia. Transport and construction, organizational and institutional problems of infra-structural support for the formation of GEAP are identified. It is shown that the research community has three options for considering the infrastructure integration project “Belt and road” (B&R), such as: building a network of routes for Euro-Asian transport; including a comprehensive mechanism for China's external expansion and its international trade relations to solve internal problems; forming a global political, social, economic, and cultural space based on the movement of energy, goods, technologies, competencies, and others. It is proved that at present only the Chinese B&R initiative can become an effective basis for the evolutionary development and integration of infrastructure and integration projects in the Greater Eurasia area. A scientific review of possible ways to use the Chinese B&R initiative to form a GEAP with Russia's leading participation is given. The most effective forms and methods of combining alternative B&R infrastructure and integration projects for the formation of GEAP for the development of the TTS of Russia have been identified.

**Keywords:** transport and transit systems, Large Eurasian partnership, infrastructure and integration projects, China's Belt and road initiative, interconnection, trade routes, innovation and industrial belt, industry 4.0, digital transformation, localization of production, state participation.

**JEL Classification:** R40, N70, F15-17.

**DOI:** 10.31857/S042473880010917-7

---

---

НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

---

---

**Построение качественной модели оценки  
кадастровой стоимости недвижимости**

© 2021 г. В.Н. Бердникова, А.В. Осенняя, Б.А. Хахук

**В.Н. Бердникова,**

*ГБУ «Крайтехинвентаризация — Краевое БТИ», Краснодар; e-mail [wkoshman@rambler.ru](mailto:wkoshman@rambler.ru)*

**А.В. Осенняя,**

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар;  
e-mail: [avosen2910@yandex.ru](mailto:avosen2910@yandex.ru)*

**Б.А. Хахук,**

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар;  
e-mail: [kuban\\_gtu@mail.ru](mailto:kuban_gtu@mail.ru)*

Поступила в редакцию 15.11.2020

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований администрации Краснодарского края (проект 19-410-230062).*

**Аннотация.** В статье пристальное внимание направлено на формирование кадастровой стоимости, законодательно утвержденной в качестве налогооблагаемой базы для объектов недвижимости, в основе расчета которой лежит теория подбора и построения моделей кадастровой оценки, иными словами, теория моделирования оценки. Данное исследование нацелено на анализ ключевых положений основ производства и совершенствования действующей системы кадастровой оценки с акцентом на особенности этапа выбора и построения качественной модели оценки в рамках производства государственной кадастровой оценки. Метод статистического (регрессионного) анализа в исследовании представлен как наиболее перспективный метод массовой оценки недвижимости. В рамках отбора ценообразующих факторов при регрессионном моделировании установлено, что доминирующим фактором является местоположение. Для проверки корреляционной зависимости на рынке земельных участков использованы данные, полученные по нескольким муниципальным образованиям Краснодарского края. В результате исследования для г. Армавир сформированы три вида модели: аддитивная, мультипликативная и экспоненциальная, — которые хорошо аппроксимируют результат. Они могут быть использованы в моделировании кадастровой стоимости, хотя каждая имеет свою специфику. Вместе с тем на практике качество полученной модели расчета кадастровой стоимости может быть оценено по нескольким параметрам, в частности, по числу иницилируемых гражданами и юридическими лицами процедур оспаривания утвержденных результатов государственной кадастровой оценки в отношении принадлежащих им объектов недвижимого имущества.

**Ключевые слова:** модель, регрессионный анализ, массовая оценка, кадастровая стоимость, ценообразующие факторы.

**Классификация JEL:** С 51.

**DOI:** 10.31857/S042473880014895-3

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема проведения качественной кадастровой оценки недвижимости в последние годы вызывает активный интерес как со стороны бизнес-сообщества, так и физических лиц, поскольку ее результаты не всегда кажутся собственникам объективными, а следовательно, и налогообложение недвижимости — справедливым. В то же время и местные бюджеты, заинтересованные в расширении и укреплении своей доходной базы, нацелены на повышение кадастровой стоимости с одновременным обеспечением социальной справедливости в отношении собственников недвижимости (Бердникова, 2019, с. 114; Боршевский, 2020, с. 58; Osennaya et al., 2019b, p. 190). В связи с этим не вызывает сомнений тот факт, что причины ценовых перекосов при установлении кадастровой стоимости следует рассматривать в каждом конкретном случае. На практике же можно указать несколько обстоятельств, которые порождают основные проблемы

и требуют принятия соответствующих решений (Бердникова, 2017, с. 652; Osennyaya et al., 2019a, p. 118; Гончар, Натхов, 2020, с. 114). К таким проблемам относятся: низкое качество информации в Едином государственном реестре недвижимости (ЕГРН) по объектам оценки; ограниченный объем информации в ЕГРН; неактивный рынок и не всегда достоверная информация относительно этого рынка; трудности подбора хорошо аппроксимирующей модели оценки (Асаул А., Асаул М., Заварин, 2015, с. 115).

Указанные выше проблемы остаются нерешенными. Они сужают возможности определения объективной кадастровой стоимости, которая минимизирует число процедур оспаривания утвержденных результатов государственной кадастровой оценки. Устранение этих проблем позволит получать репрезентативную исходную рыночную информацию и качественные результаты массовой оценки. Таким образом, модель оценки кадастровой стоимости недвижимости может считаться качественной, если она обладает двумя важными свойствами: адекватностью и точностью.

Под адекватностью следует понимать использование в модели кадастровой стоимости существенных факторов (они же параметры), которые формируют рыночную стоимость недвижимости. Точность модели является главным показателем ее качества, что можно характеризовать величиной отклонения между результатами моделирования оценки кадастровой стоимости и реальными значениями рыночной стоимости объектов оценки.

Проблемы, возникающие в процессе создания регрессионных моделей оценки недвижимости для целей налогообложения, не только неоднократно поднимались в среде экономистов-оценщиков, но и успешно решались командами кадастровых оценщиков. Наибольшую ценность в повышении качества моделирования имели статьи таких авторов, как С.В. Грибовский, Н.П. Баринов, М.А. Федотова, Г.М. Стерник и др. Авторы концентрируют внимание как на подготовительных работах, позволяющих получить качественный и актуальный материал для моделирования, так и непосредственно на самом процессе выведения адекватной эконометрической зависимости (Баринов, 2014, с. 3; Баринов, Грибовский, 2016, с. 70; Асаул и др., 2013, с. 105).

В соответствии с п. 4.1.3 Методических указаний о государственной кадастровой оценке, утвержденных приказом Минэкономразвития России от 12.05.2017 № 226 (далее — Методические указания), для каждого сегмента рынка объектов недвижимости осуществляется сбор информации о рыночных ценах сделок (предложений).

Для получения достоверных данных о рыночной цене необходимо детально исследовать информацию по сделкам (или предложениям), исключая при этом из анализа рынка следующие объекты:

- цены которых не соответствуют уровню рыночных цен (например, продажа объекта в сжатые сроки, участники операции являются связанными лицами, объекты с необъяснимыми отклонениями цен от среднерыночных и др.);
- с неполной информацией об объекте недвижимости (отсутствуют цена, характеристики, не позволяющие определить геолокацию объекта, физические параметры и др.);
- цены которых вызывают сомнения (ненадежный источник информации, заведомо низкая цена, на порядок ниже среднерыночных оценок, и др.);
- с противоречивыми графическими и семантическими данными.

Следует отметить, что подобного исключения можно избежать, если оценщик предпримет меры для обеспечения возможности получать дополнительную информацию об объекте, внесет необходимые коррективы и сможет использовать информацию для моделирования кадастровой стоимости.

К сожалению, на открытом рынке предложения сделок с объектами недвижимости с достоверной информацией составляют лишь небольшую часть, что не ограничивает возможности разработки качественной оценочной модели. Сегодня на законодательном уровне уже предприняты шаги, направленные на повышение уровня достоверности рыночной информации; расширен круг лиц, обязанных предоставлять информацию для проведения работ по кадастровой оценке, в частности, внесены изменения в закон о государственной кадастровой оценке, изложенные в Федеральном Законе от 31.07.2020 № 269-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Также заметим, что с 2022 г. Федеральная кадастровая палата начнет формировать сведения о реестре границ земельных участков и сведения

о ценах возмездных сделок, которые будут использоваться при проведении государственной кадастровой оценки. Эти нововведения должны повысить качество кадастрового моделирования, так как либо появится единый информационный ресурс, либо на региональном уровне будет отлажена работа между кадастровой палатой и бюджетным учреждением, предоставляющими информацию о ценах сделок с определенным унифицированным набором характеристик объектов недвижимости.

Заметим, что качество результатов моделирования напрямую зависит на каждом этапе от качества оценочных работ, поэтому целесообразно рассматривать проблемы не изолированно, а комплексно, с учетом последовательности их появления, что определило цель и задачи данного исследования. В Методических указаниях обозначена следующая последовательность формирования оценочной модели.

1. Определение перечня ценообразующих факторов, описывающих влияние местоположения объектов недвижимости как составного фактора.
2. Определение состава ценообразующих факторов, включаемых в статистическую модель, с учетом местоположения объектов недвижимости.
3. Определение общего вида функций, связывающих зависимую переменную с каждым ценообразующим фактором.
4. Определение конкретного вида зависимостей переменной от ценообразующих факторов (с построением графиков) и расчет коэффициентов статистической модели.
5. Анализ показателей качества статистической модели.

#### МЕТОД СТАТИСТИЧЕСКОГО (РЕГРЕССИОННОГО) АНАЛИЗА — НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД МАССОВОЙ ОЦЕНКИ НЕДВИЖИМОСТИ

Наличие рыночной информации позволит определять кадастровую стоимость в рамках сравнительного подхода. В соответствии с п. 7.2 Методических указаний массовая оценка может осуществляться одним из следующих способов (методов):

- 1) статистического (регрессионного) моделирования;
- 2) типового (эталонного) моделирования объекта недвижимости;
- 3) моделирования на основе удельных показателей кадастровой стоимости (УПКС);
- 4) индексации прошлых результатов.

Остановимся подробнее на первом методе как наиболее перспективном с точки зрения массовой оценки недвижимости. Модели массовой оценки разрабатываются для групп типичных объектов недвижимости с ограниченным числом характеристик объектов. Такое существенное условие массовой оценки подразумевает схожесть объектов недвижимости по всем важнейшим характеристикам. Метод статистического (регрессионного) моделирования позволяет, имея достаточный объем рыночной информации по отдельному сегменту недвижимости, устанавливать функциональные зависимости между кадастровой стоимостью и характеристиками, которыми обладает оцениваемый объект. Не вызывает сомнений тот факт, что качество оценочных работ при использовании данного метода моделирования можно рассматривать по комплексу таких выходных результирующих показателей, как статистические критерии, ценовое зонирование, частота оспаривания кадастровой стоимости и др. (Осенняя и др., 2019, глава 5; Эккерт, Глаудеманс, Олми, 1997, т. 1–2).

Наряду с методом корреляционно-регрессионного анализа для массовой оценки рассматривают возможности использования методологии декомпозиционного анализа, которая в некоторых случаях может быть значительно проще с точки зрения практической реализации, так как создается путем сечения (или группировки) исходной массы данных о ценах объектов недвижимости, а также ценообразующих факторах, в наибольшей степени коррелирующих с ценами объектов, и путем расчета коэффициентов модели путем сравнения средних значений исходного и усеченного множеств (Грибовский и др., 2005, с. 23; Осенняя и др., 2017, глава 2).

## ОТБОР ЦЕНООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ ПРИ РЕГРЕССИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Говоря об отборе ценообразующих факторов на практике, необходимо отметить, что доминирующим ценообразующим фактором является местоположение (Беляева, Гребенюк, 2014, с. 48; Каминский, 2016, с. 18). Около 30 лет назад Дж.К. Эккерт писал о методологии, которая в настоящее время широко используется во многих странах и где фактор местоположения учитывается через установление в пространстве «центров влияния», по мере приближения к которым стоимость недвижимости возрастает (центры позитивного влияния) или убывает (центры негативного влияния). Также он считал, что местоположение следует описывать с помощью экзогенной переменной, учитывающей расстояние до центров влияния (Эккерт, Глаудеманс, Олми, 1997).

В настоящее время данный подход не утратил своей состоятельности. Для проверки корреляционной зависимости на рынке земельных участков используем данные, полученные по нескольким муниципальным образованиям Краснодарского края. Объем выборочной совокупности составил 1120 объектов, которые расположены в городских населенных пунктах Краснодарского края, период сбора рыночных данных пришелся на январь–июль 2018 г. Структура выборочной совокупности отражена в табл. 1.

В качестве экзогенной переменной (центра влияния в городских населенных пунктах) будем рассматривать административный центр, железнодорожную и автомобильную станцию, зону отдыха, промышленную зону, а зависимой переменной будет выступать рыночная цена 1 кв. м земельного участка, предназначенного под индивидуальное жилищное строительство. После того как определены центры локального влияния, должны быть найдены значения экзогенных переменных, т.е. расстояния от объектов до локальных центров (декартовы расстояния, время в пути до центра локального влияния и т.д.), которые могут быть возведены в квадрат или взвешены иным образом для формирования нелинейных параметров. Прделанная работа позволила провести корреляционный анализ зависимостей (табл. 2) с помощью линейного

**Таблица 1.** Структура выборочной совокупности по территориальному признаку, %

Городские населенные пункты Краснодарского края	Число объектов в выборке	Структура выборочной совокупности (доля выбранных объектов в населенном пункте к общему числу анализируемых объектов), %
Анапа	170	15
Армавир	50	4
Краснодар	350	31
Новороссийск	130	12
Сочи	420	38
Итого	1120	100

**Таблица 2.** Корреляционные связи в выборке между удельной рыночной ценой 1 кв. м земельного участка и соответствующим ценообразующим фактором

Городской населенный пункт	Значение парного коэффициента корреляции				
	Административный центр	Железнодорожная станция	Автостанция	Рекреационная зона	Промышленный центр
Анапа	0,72	0,24	0,16	0,41	0,37
Степень связи между переменными	Высокая	Слабая	Слабая	Умеренная	Умеренная
Армавир	0,79	0,38	0,16	0,33	0,37
Степень связи между переменными	Высокая	Умеренная	Слабая	Умеренная	Умеренная
Краснодар	0,85	0,62	0,5	0,73	0,12
Степень связи между переменными	Высокая	Заметная	Заметная	Высокая	Слабая
Новороссийск	0,51	0,25	0,18	0,31	0,45
Степень связи между переменными	Заметная	Слабая	Слабая	Умеренная	Умеренная
Сочи	0,27	0,05	0,07	0,47	0,16
Степень связи между переменными	Слабая	Слабая	Слабая	Умеренная	Слабая

коэффициента корреляции, поскольку визуальный анализ точечных диаграмм позволил выдвинуть гипотезу о наличии между ними линейной связи.

Рассчитанные коэффициенты корреляции еще раз подтверждают тот факт, что в городах центром притяжения является административный центр. Примечательно, что город Сочи выбивается из общей картины. Скорее всего такая особенность обусловлена тем, что город имеет линейную структуру, а не радиальную, как и другие города таблицы. Протяженность Сочи — более 100 км, что приводит к ослаблению влияния административного центра на рынок земельных участков.

По данным табл. 2 также видно, что в городе может быть выявлено два центра притяжения, которые будут соперничать друг с другом (при наличии мультиколлинеарности) и, наоборот, дополнять друг друга в оценочной модели. Эта проблема уже стала предметом интересов ученых, которые предлагают учитывать в модели два центра притяжения, например административный центр и близость к санитарным зонам промышленных предприятий (Беляева, Гребенюк, 2014, с. 48). Разработанный ими подход анализа пространственных данных позволяет учесть совместное влияние двух факторов: расстояния до центров влияния (объектов, не являющихся объектами выборки, близость к которым увеличивает или уменьшает стоимость оцениваемых объектов) и взаимного расположения объектов относительно друг друга. Для учета расстояний до центров притяжения в модель можно включить дополнительный регрессор, значения которого вычисляются в виде функции от координат объекта и остатков (разностей между фактическими и модельными значениями) от линейной регрессионной модели, построенной без учета пространственных факторов.

Учитывая вышеизложенное, можно утверждать, что при построении оценочной модели административный центр априори не является центром притяжения в любом городском населенном пункте, а значит, требуются исследования специфики рынка земельных участков с целью выявления таких центров и при необходимости — включения их в модель. Таким образом, одним из условий формирования качественной модели будет являться выбор таких территориальных центров притяжения, влияние которых на рыночную оценку будет качественно правильным, т.е. удельные цены земельных участков, расположенных в центре притяжения, будут выше удельных цен земельных участков, расположенных в периферийных районах этого же населенного пункта.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ЦЕНООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ, ВКЛЮЧАЕМЫХ В СТАТИСТИЧЕСКУЮ МОДЕЛЬ С УЧЕТОМ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ

Следующим важным вопросом выступает набор ценообразующих факторов, включаемых в модель оценки. Согласно положениям ФСО № 4 «Определение кадастровой стоимости объектов недвижимости», утвержденным приказом Минэкономразвития России № 508 от 22 октября 2010 г., в набор ценообразующих факторов должны быть включены только те факторы, которые существенно влияют на стоимость объектов оценки и могут быть достоверно определены и объективно измерены. Но в каждом муниципальном образовании существует собственная уникальная застройка, особенности которой необходимо учесть при построении модели. Например, часть многоэтажной застройки города отделена от социальной инфраструктуры малоэтажной застройкой, индивидуальными жилыми домами, следовательно, стоимость недвижимости в соседних районах может значительно отличаться. При проведении анализа необходимо разделить объекты на несколько классов по определенному признаку, упорядочить их по интенсивности какого-либо свойства, отразить возможные отношения между объектами. Ввиду сложности реализации данного процесса выбор ценообразующих факторов часто только усредненно отражает фактический рынок недвижимости. Неудивительно, что этап сбора, обработки, систематизации и накопления информации является самым важным. От качества собранной информации зависит, насколько полноценным выйдет итог проведения государственной кадастровой оценки.

Оптимальное число ценообразующих факторов в модели и проблема их обоснования может быть решена с помощью как теоретического, так и статистического анализа проявления влияния этого фактора на рыночную стоимость. Первый способ базируется на анализе

**Таблица 3.** Качественная характеристика влияния фактора на удельный показатель рыночной стоимости земельного участка (УПРС)

Ценообразующий фактор	Изменение значений фактора	УПРС
Численность населения	Рост	Рост
Расстояние от объекта до центра притяжения	Снижение	Рост
Расстояние от объекта до остановки общественного транспорта	Снижение	Рост
Расстояние от объекта до рекреационной зоны	Снижение	Рост
Расстояние от объекта до промышленных объектов	Рост	Рост
Расстояние от объекта до железнодорожной станции	Снижение	Рост
Расстояние от объекта до автостанции	Снижение	Рост
Наличие газоснабжения по границе участка	Присутствует	Рост
Наличие электроснабжения по границе участка	Присутствует	Рост
Наличие водоснабжения по границе участка	Присутствует	Рост
Наличие канализации по границе участка	Присутствует	Рост

экономической природы факторов, например, для земельных участков, относимых к землям населенных пунктов, можно обозначить следующие параметры (табл. 3).

Что касается второго метода, то он требует применения статистических инструментов, применяемых при анализе выборочных совокупностей. В модель включаются те ценообразующие факторы, которые имеют коэффициенты значимости, превышающие 0,2. Данный метод является содержательным, так как предполагает включение в модель всех отобранных факторов, с их последующим уточнением на основе природы и силы их влияния на моделируемую кадастровую стоимость объекта.

Природа связи между экзогенной и эндогенной переменными может быть проверена с помощью трендов зависимостей, которые будут построены для рынка земельных участков г. Армавир Краснодарского края. Выберем линейный график аппроксимирующей функции и проверим данную зависимость (рис. 1–3).

Графический анализ позволяет сделать вывод, что экономическая природа связей подтверждена для данного рынка земельных участков. Числовая оценка изолированного влияния факторов на цену 1 кв. м дана в табл. 4.

В общем случае коэффициент регрессии показывает, как в среднем изменится значение эндогенной переменной, если экзогенная переменная увеличится на единицу. То есть в нашем случае:  $-0,212 < -0,0929 < -0,0409$ .

Следовательно, уменьшение расстояния до административного центра на каждый метр повышает цену 1 кв. м земельных участков на 0,2 руб., в то время как близость к остановкам — только на 0,04 руб. Экономическая природа связей — логичная, но ошибка аппроксимации свидетельствует о недостоверности полученных результатов из-за значительных отклонений между моделированными и фактическими значениями рыночной цены. Следовательно, в выборке земельных участков

**Таблица 4.** Оценка результатов построения трендов

Ценообразующий фактор	Уравнение линейного тренда	Значение коэффициента линейной регрессии при ценообразующем параметре	Коэффициент детерминации
Расстояние от объекта до административного центра Оценка результатов	$y = -0,212x + 3457,4$	$-0,212 < 1$	$R^2 = 0,1062$
Расстояние от объекта до рекреационной зоны Оценка результатов	$y = -0,0929x + 1145$	$-0,0929 < 1$	$R^2 = 0,1115$
Расстояние от объекта до остановки общественного транспорта Оценка результатов	$y = -0,0409x + 517,5$	$-0,0409 < 1$	$R^2 = 0,0737$

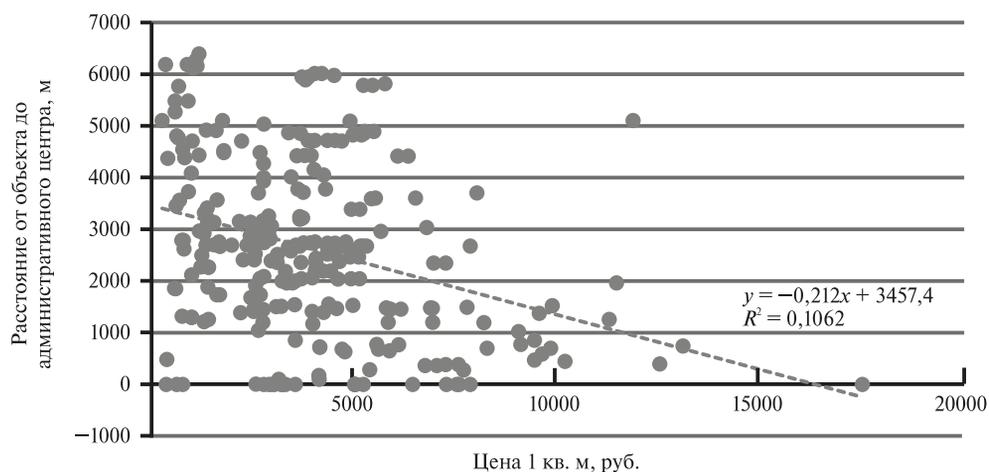


Рис. 1. Проверка природы связи между ценой и расстоянием от объекта до административного центра

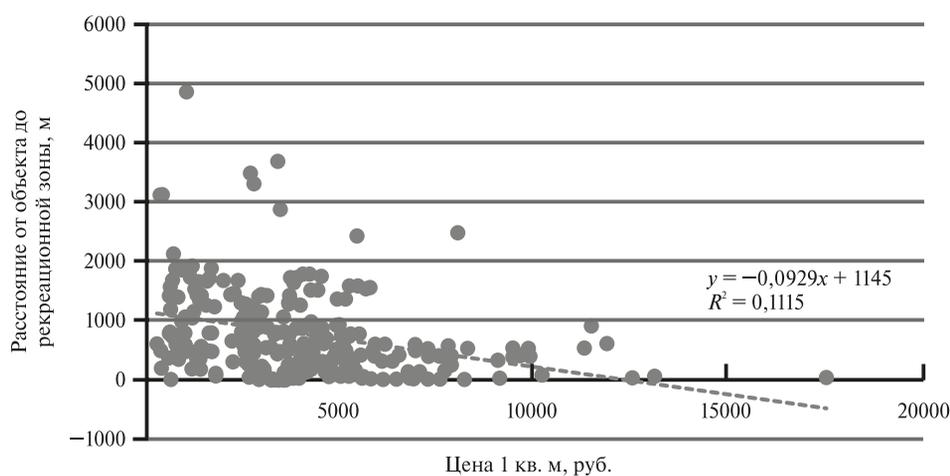


Рис. 2. Проверка природы связи между ценой и расстоянием от объекта до рекреационной зоны

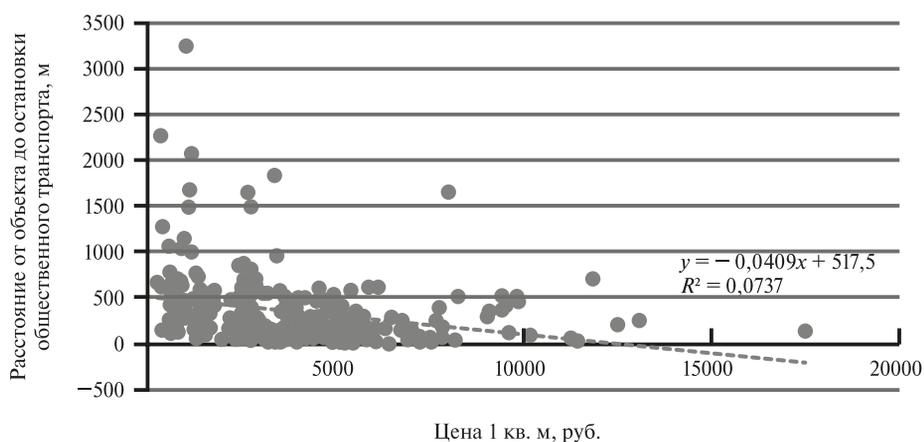


Рис. 3. Проверка природы связи между ценой и расстоянием от объекта до остановки общественного транспорта

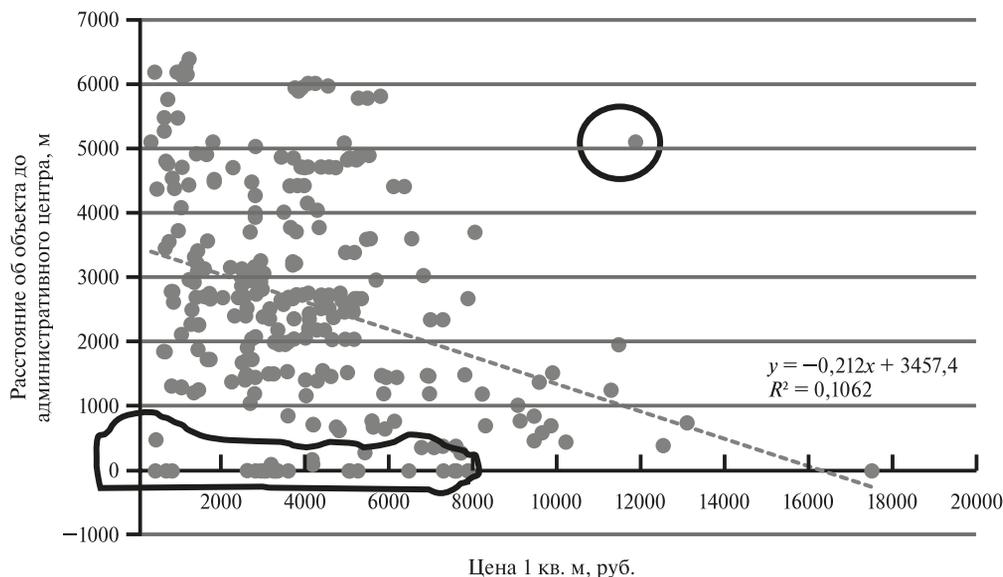


Рис. 4. Явные выбросы

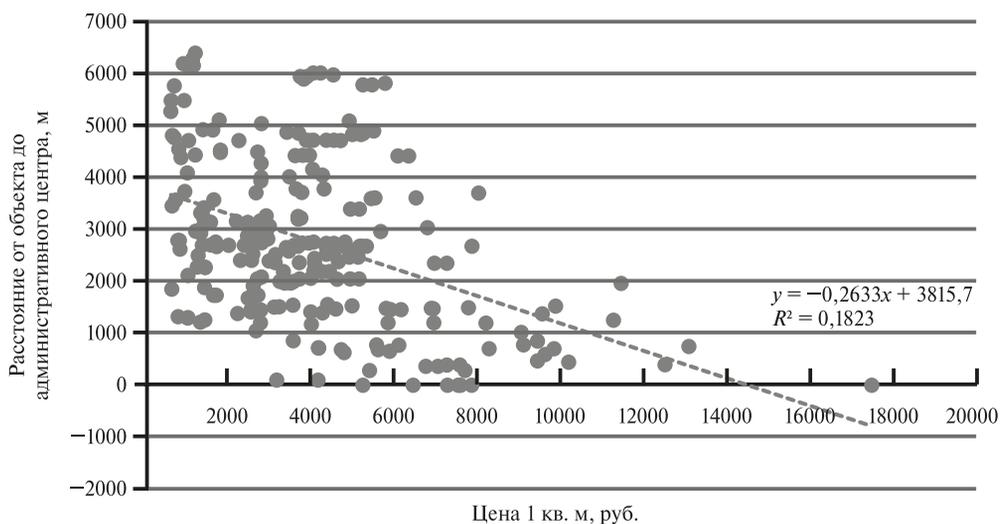


Рис. 5. Зависимость между ценой и расстоянием от объектов до административного центра после исключения явных выбросов

имеются выбросы, т.е. значения, резко отличающиеся от основного массива данных в совокупности, ухудшающие качество моделирования связей. Для начала можно распознать явный выброс, т.е. объекты, характеристики которых лежат вне тренда большинства цен 1 кв. м земельных участков (рис. 4). После устранения явных выбросов рыночные данные стало легче аппроксимировать, при этом сохранилась правильная экономическая природа зависимостей (рис. 5).

Для нахождения неявных выбросов могут неоднократно перестраиваться линии тренда, а также выявляться внутренние и внешние границы набора рыночных данных по земельным участкам. Этими границами могут выступать нижний и верхний децили (10% минимальные и максимальные границы), которые отсекают хвосты, заведомо дешевые и дорогие объекты недвижимости, но данный метод следует использовать осторожно, так как есть риск исключения дорогих объектов с привлекательными ценообразующими характеристиками, и наоборот. Этот процесс более точечный, требующий детального анализа каждого объекта в отдельности и принятия индивидуального решения по нему в части включения или невключения в оценочную модель.

### ВЫБОР МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ В РАМКАХ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКОГО (РЕГРЕССИОННОГО) АНАЛИЗА

Что касается моделей оценки, то их арсенал достаточно широк, однако на практике используют три основных вида моделей массовой оценки, каждый из которых имеет свою специфику. При этом подобранная модель оценки должна быть адекватной, т.е. не слишком упрощенной и не слишком сложной (Айвазян, Мхитарян, 1998, с. 650).

Аддитивная регрессия широко используется в оценке, однако имеет существенный недостаток из-за заложенного в ней допущения о линейном свойстве вклада каждой характеристики, что обычно не соответствует зависимостям на рынке недвижимости. Простая мультипликативная модель сводится к аддитивному виду путем логарифмирования и обладает сходными недостатками, однако позволяет более гибко отразить зависимость (в том числе и нелинейную) стоимости от значений ценообразующей характеристики. Экспоненциальная модель дает хорошую оценку для рынков, на которых имеется сегмент объектов с ценами, в разы отличающимися от рынка в целом.

После проведенного статистического анализа рыночной информации примем для использования в моделировании два количественных и один качественный фактор, так как значения их коэффициентов корреляции самые высокие (табл. 5).

**Таблица 5.** Выбранные для моделирования ценообразующие факторы

Ценообразующий фактор	Обозначение	Коэффициент корреляции	Показатель значимости коэффициента корреляции
Расстояние от объекта до административного центра	$X_1$	0,86	0,92
Расстояние от объекта до остановки общественного транспорта	$X_2$	0,77	0,86
Наличие канализации по границе участка	$X_3$	0,69	0,79

Отобранные для моделирования кадастровой стоимости рыночные данные (после исключения выбросов) по земельным участкам г. Армавир позволили сформировать следующие оценочные модели:

а) аддитивную —

$$Y = 370,445 + 592,626 \left( \frac{2752,321}{X_1} + 1230,215 \right) + \frac{3220,481 \times 422,849}{X_2 + 650,509} + \frac{31,657(X_3 + 0,2)}{0,229};$$

б) мультипликативную —

$$Y = 2621,231 \left[ \frac{392,849}{X_2 + 645,509} + 0,4 \right]^{2,285} \left[ \frac{2752,32}{X_1 + 1224,2} + 0,5 \right]^{0,478} \left[ \frac{X_3 + 0,2}{0,229} + 0,5 \right]^{0,028};$$

в) экспоненциальную —

$$Y = 735,199 \exp \left\{ \frac{382,849 \times 2,243}{X_2 + 650,509} + \frac{2752,321 \times 0,205}{X_1 + 1324,211} + \frac{(X_3 + 0,2) \times 0,025}{0,229} \right\}.$$

Качество эконометрической модели, определенной по выборке объектов недвижимости, определяется с помощью стандартных статистик. Рассчитанные значения этих оценок могут служить критерием при выборе окончательной структуры модели вместе с интерпретируемостью результатов на соответствие экономической природе рынка. Глубокий анализ отклонений смоделированных значений от фактических данных дает возможность грамотной корректировки как вида модели, так и ее регрессоров.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Основным параметром качества эконометрической модели считается критерий Фишера. Оценочная модель считается статистически значимой, если найденное значение  $F$ -критерия ( $F_{\text{расч}}$ ) превышает пороговое значение  $F_{\text{кр}}$  ( $\alpha; m; N-m-1$  ( $F_{\text{табл}}$ ) при заданном уровне значимости  $\alpha = 0,05$ ).  $F_{\text{табл}}$  — максимально возможное значение  $F$ -статистики при действии случайных

**Таблица 6.** Показатели качества моделей, рассчитанные по контрольной выборке

Показатель качества модели	Вид модели		
	Линейная	Мультипликативная	Экспоненциальная
Критерий Фишера, $F_{расч}$	105,819	103,459	103,351
$F_{табл}$	3,34	3,34	3,34
Средняя относительная погрешность оценки	15,328	17,184	16,359
Пороговые значения	20	20	20
Коэффициент детерминации	0,736	0,609	0,601
Пороговые значения	0,6	0,6	0,6
Среднеквадратичная ошибка оценки	22,942	24,632	24,845
Пороговые значения	25	25	25
Отношение суммы невязок к средней стоимости, %	13,429	13,058	13,428
Пороговые значения	20	20	20

факторов при заданных уровне значимости  $\alpha$  и числе степеней свободы. Пороговые значения F-критерия для заданных параметров  $\alpha$ ,  $m$ ,  $N$  приводятся в специальной статистической таблице.

Для комплексного анализа в целом результатов моделирования используются следующие показатели:

- а) средняя относительная погрешность оценки;
- б) коэффициент детерминации (один из широко используемых критериев качества построенной модели);
- в) среднеквадратичная ошибка оценки (стандартное отклонение) — характеризует разброс модельных оценок относительно соответствующих значений рыночных цен 1 кв. м.

В табл. 6 отражены рассчитанные для контрольной выборки критерии качества трех моделей.

Требования решаемой оценочной задачи к показателям адекватности модели могут удовлетворять нескольким регрессионным моделям с различными функциями, описывающими связи результирующего и влияющих признаков. Разработанные в рамках данного исследования три корреляционно-регрессионные модели кадастровой оценки для г. Армавир можно считать достоверными, так как соблюдены критериальные требования по всем показателям качества моделирования, следовательно, каждая может быть положена в основу определения кадастровой стоимости земельных участков в данном населенном пункте и обеспечить качественные результаты оценки. Окончательное решение в отношении конкретной модели из трех возможных следует принимать с учетом величины несмещенной точечной оценки регрессионного среднего и более узкого доверительного интервалов, рассчитанных для совокупности объектов оценки в г. Армавир.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассчитанные модели оценки хорошо аппроксимируют, поэтому каждая может быть использована для моделирования. Выбор конкретной модели может базироваться не только на критериях качества, но и на дифференциации рыночных цен. Например, в границах муниципального образования может быть район с ценами, в разы отличающимися от средних показателей по рынку. Такую специфику достаточно точно показывает экспоненциальная модель и совершенно не воспроизводит линейная модель.

Следует также заметить, что возможны случаи, когда статистические критерии подтверждают качество модели, а экспертная проверка показывает очевидные рыночные несоответствия. В этом случае причинами могут быть как ненадежность исходной рыночной информации о сделках, так и искаженная диспропорция влияния ценообразующих факторов на результат оценки. Причины указанных рыночных и смоделированных несоответствий (несмотря на теоретически качественные модели по всем принятым критериям) также должны быть предметом пристального внимания аналитиков и, несомненно, требуют дальнейших научных изысканий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Айвазян С.А., Мхитарян В.С.** (1998). Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: ЮНИТИ. [Ayvazyan S.A., Mkhitaryan V.S. (1998). Applied statistics and fundamentals of econometrics. Moscow: UNITY (in Russian).]
- Асаул А.Н., Асаул М.А., Заварин Д.А.** (2015). Особенности постановки на государственный кадастровый учет земельного участка // *Таврический научный обозреватель*. № 5–1. С. 107–115. [Asaul A.N., Asaul M.A., Zavarin D.A. (2015). Features of state cadastral registration of a land plot. *Tavrichesky Scientific Observer*, 5–1, 107–115 (in Russian).]
- Асаул А.Н., Старинский В.Н., Старовойтов М.К., Фалтинский Р.А.** (2013). Оценка объектов недвижимости // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. № 2. С. 105–106. [Asaul A.N., Starinsky V.N., Starovoitov M.K., Faltinsky R.A. (2013). Valuation of real estate objects. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2, 105–106 (in Russian).]
- Баринов Н.П.** (2014). Оценка рыночной стоимости земельного участка методом многомерного регрессионного анализа // *Информационно-аналитический бюллетень RWAY*. № 232 (Июль). № 236 (Ноябрь). Режим доступа: <http://www.appraiser.ru/default.aspx?SectionID=35&Id=3821> [Barinov N.P. (2014). Assessment of the market value of a land plot by the method of multidimensional regression analysis. *RWAY Information and Analytical Bulletin*, 232 (July), 236 (November). Available at: <http://www.appraiser.ru/default.aspx?SectionID=35&Id=3821> (in Russian).]
- Баринов Н.П., Грибовский С.В.** (2016). О распределении цен на рынках недвижимости и «смещенных» оценках рыночной стоимости // *Имущественные отношения в Российской Федерации*. № 6 (177). С. 69–74. [Barinov N.P., Gribovsky S.V. (2016). On the distribution of prices in real estate markets and “biased” estimates of market value. *Property Relations in the Russian Federation*, 6 (177), 69–74 (in Russian).]
- Беляева А.В., Гребенюк Е.А.** (2014). Построение моделей массовой оценки объектов недвижимости с учетом пространственной зависимости // *Проблемы управления*. № 1. С. 45–51. [Belyaeva A.V., Grebenyuk E.A. (2014). Construction of models for mass valuation of real estate objects taking into account spatial dependence. *Management Problems*, 1, 45–51 (in Russian).]
- Бердникова В.Н.** (2019). Взаимосвязь кадастровой и рыночной стоимости // *Вестник Челябинского государственного университета. Экономические науки*. № 9 (431). Вып. 66. С. 210–216. [Berdnikova V.N. (2019). Relationship between cadastral and market value. *Bulletin of the Chelyabinsk State University. Economics*, 9 (431), 66, 210–216 (in Russian).]
- Бердникова В.Н.** (2017). Последствия перехода на налогообложение недвижимости по кадастровой стоимости для местных бюджетов // *Экономика и предпринимательство*. № 9–4 (86). С. 650–653. [Berdnikova V.N. (2017). Consequences of the transition to real estate taxation by cadastral value for local budgets. *Economics and Entrepreneurship*, 9–4 (86), 650–653 (in Russian).]
- Борщевский Г.А.** (2020). Налоговая система и налоговая служба России: измерение эффективности на фоне структурных реформ // *Вопросы экономики*. № 6. С. 56–79. [Borshevsky G.A. (2020). The tax system and the tax service of Russia: Measuring efficiency against the background of structural reforms. *Voprosy Ekonomiki*, 6, 56–79 (in Russian).]
- Гончар Г.И., Натхов Т.В.** (2020). Текстуальный анализ ценообразования на рынке московской жилой недвижимости // *Экономический журнал Высшей школы экономики*. Т. 24 № 1. С. 101–116. [Gonchar G.I., Natkhov T.V. (2020). Textual analysis of pricing in the Moscow residential real estate market. *The HSE Economic Journal*, 24, 1, 101–116 (in Russian).]
- Грибовский С.В., Федотова М.А., Стерник Г.М., Житков Д.Б.** (2005). Экономико-математические модели оценки недвижимости // *Финансы и кредит*. № 3 (171). С. 24–43. [Gribovsky S.V., Fedotova M.A., Sternik G.M., Zhitkov D.B. (2005). Economic and mathematical models of real estate appraisal. *Finance & Credit*, 3 (171), 24–43 (in Russian).]
- Каминский А.В.** (2016). Кадастровая оценка: сотрудничать нельзя противостоять! // *Имущественные отношения в РФ*. № 2(173). С. 6–22. [Kaminsky A.V. (2016). Cadastral valuation: Cooperation cannot be resisted! *Property relations in the Russian Federation*, 2 (173), 6–22 (in Russian).]
- Осенняя А.В., Асаул А.Н., Хахук Б.А., Кушу А.А., Хушт Н.И., Грибкова И.С.** и др. (2019). Концептуальный подход к формированию модели кадастровой оценки недвижимости. Краснодар: ФГБОУ ВО «КубГТУ». [Osennaya A.V., Asaul A.N., Khakhuk B.A., Kushu A.A., Khusht N.I., Gribkova I.S. et al. (2019). *Conceptual approach to the formation of a model of cadastral valuation of real estate*. Krasnodar: FGBOU VO “KubSTU” (in Russian).]
- Осенняя А.В., Середин А.М., Будагов И.В., Хахук Б.А., Анисимова Л.К., Кушу А.А.** и др. (2017). Кадастровая оценка как основа налогообложения недвижимости. Краснодар: ФГБОУ ВО «КубГТУ». [Osennaya A.V., Seredin A.M., Budagov I.V., Khakhuk B.A., Anisimova L.K., Kushu A.A. et al. (2017). *Cadastral valuation as the basis of real estate taxation*. Krasnodar: FGBOU VO “KubSTU” (in Russian).]

- Seredin A.M., Budagov I.V., Khakhuk B.A., Anisimova L.K., Kushu A.A. et al. (2017). *Cadastral valuation as the basis for taxation of real estate*. Krasnodar: FGBOU VO "KubSTU" (in Russian).]
- Эккерт Дж., Глаудеманс Р. Дж., Олми Р.Р. (1997). Организация оценки и налогообложения недвижимости. М.: Российское общество оценщиков. Т. 1–2. [Eckert J., Glaudemans R.J., Olmy R.R. (1997). *Organization of real estate appraisal and taxation*. Moscow: Russian Society of Appraisers. Т. 1–2 (in Russian).]
- Osennyaya A.V., Khakhuk B.A., Gura D.A., Khusht N.I., Kuadze A. Ch., Kushu A.A. (2019a). Analysis of the results if cadastral valuation of buildings, premises, construction in progress and parking spaces for 2018 in the Krasnodar Territory. *Religación. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4, S18, 116–120.
- Osennyaya A.V., Khakhuk B.A., Gura D.A., Khusht N.I., Kuadze E. Ch., Shishkina V.A. (2019b). Modern system of taxation of real estate objects. *Religación. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4, S18, 187–191.

## Constructing a qualitative model for estimating the cadastral value of real estate

© 2021 V.N. Berdnikova, A.V. Osennyaya, B.A. Khakhuk

**V.N. Berdnikova,**

*Kraytehninventarizatsiya-Regional BTI, Krasnodar, Russia; e-mail wkoshman@rambler.ru*

**A.V. Osennyaya,**

*Kuban state technological University, Krasnodar, Russia; e-mail: avosen2910@yandex.ru*

**B.A. Khakhuk,**

*Kuban state technological University, Krasnodar, Russia; e-mail: kuban\_gtu@mail.ru*

Received 15.11.2020

*The reported study was funded by RFBR and the Administration of the Krasnodar Region (project 19-410-230062).*

**Abstract.** Close attention in this article is focused on formation of legally approved cadastral value as the tax base for real estate objects. The essence of the calculation of this value is in theory of selection and construction of cadastral valuation models. In other words, the theory of valuation modeling. This research is targeted at the analysis of the key statements of the fundamentals of production and improvement of the current cadastral evaluation system, with an emphasis on the features of the stage of selection and construction of a quality evaluation model within the state cadastral assessment. The method of statistical (regression) analysis in the research is presented as the most perspective method of mass valuation of real estate. It was found that the dominant factor is location, being an element of the of price-forming factors in regression modeling. To check the correlation in the land market, we used data obtained for several municipalities of the Krasnodar Region. The result of a survey for the Armavir city research formed three types of models: addition, multiplicative and exponential, which were well approximated and therefore can be used in cadastral value modeling, although each of them has its own specifics, but in practice, the quality of the resulting model for calculating the cadastral value can be assessed by several indicators, in particular, by the number of procedures initiated by citizens and legal entities to challenge the approved results of the state cadastral assessment in respect of real estate objects attached to them.

**Keywords:** model, regression analysis, mass estimation, cadastral value, price-forming factors.

**JEL Classification:** C51.

**DOI:** 10.31857/S042473880014895-3

---

---

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

---

---

**Модель стимулирования приватизации предприятий**

© 2021 г. В.И. Аркин, А.Д. Слостников

**В.И. Аркин,**

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

**А.Д. Слостников,**

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

Поступила в редакцию 14.12.2020

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-010-00666).*

**Аннотация.** В статье предложена математическая модель, в рамках которой можно ставить и решать задачу стимулирования процесса приватизации государственного предприятия с помощью механизма налоговых каникул после приватизации. В основе модели лежат предположения о возможности выбора момента приватизации, а также о стохастическом характере потока прибыли предприятия и его скачкообразном изменении после приватизации. В качестве базовой схемы выбора момента приватизации и длительности налоговых каникул взята двухуровневая оптимизация, в рамках которой государство стремится максимизировать интегральный бюджетный эффект от функционирования данного предприятия (до и после приватизации). В предположении, что прибыль предприятия моделируется случайными процессами геометрического броуновского движения, в работе получены явные формулы для оптимального момента приватизации и оптимальной длительности налоговых каникул. Изучены условия, при которых оптимальные налоговые каникулы имеют нулевую или положительную длительность либо вообще не существуют. Проведено также исследование зависимости оптимального момента приватизации и оптимальных налоговых каникул от затрат покупателя на приватизацию, а также от величины налоговой нагрузки на предприятие.

**Ключевые слова:** приватизация, государственные предприятия, бюджетный эффект, неопределенность, срок приватизации, налоговые каникулы.

**Классификация JEL:** C61, D81, G38.

**DOI:** 10.31857/S042473880014905-4

Стимулирование процесса приватизации остается актуальным в рамках продолжающегося курса Правительства РФ на приватизацию предприятий, находящихся в государственной собственности. Хотя формы и методы стимулирования этого процесса почти никак не отражены в соответствующих законодательных положениях, в настоящее время для этого обычно используются различные административные и финансовые инструменты, такие как упрощение процедур участия в приватизационных аукционах и конкурсах, совершенствование механизма продажи, консультационное и информационное сопровождение продаж, кредитная поддержка и т. п.

Однако в последнее время увеличился интерес и к другим формам поддержки и стимулирования приватизации, в том числе льготным налоговым режимам с пониженными ставками по ряду налогов. Так, в Налоговый кодекс (п. 2 ст. 146) введено освобождение от НДС для операций по приватизации субъектами малого и среднего предпринимательства арендуемого ими государственного имущества (при соблюдении определенных условий по арендуемому имуществу).

Министерством культуры РФ разработан законопроект, согласно которому покупателям недвижимости, являющейся объектом культурного наследия федерального или регионального значения, могут увеличить имущественный налоговый вычет (с 2 млн до 4 млн руб.) или предоставить освобождения от уплаты налогов на землю (сроком на 7 лет) и на имущество.

В 2019 г. Совет при Президенте РФ по развитию гражданского общества и правам человека (СПЧ) рекомендовал Государственной думе внести изменения в Налоговый кодекс о специальных режимах налогообложения для собственников объектов культурного наследия (памятников

истории и культуры народов России) на период их восстановления или реставрации. Эти режимы должны включать льготы по налогу на имущество, земельному налогу и налогу на прибыль организаций<sup>1</sup>.

Почти целый год длились споры «Роснефти» и Минфина о налоговых льготах для одного из крупнейших в России нефтяных месторождений — Самотлорского, которое дает около 10% всей добычи «Роснефти». При приватизации акций «Роснефти» власти РФ дали обязательство по налоговым льготам иностранным инвесторам, при этом «Роснефть» настаивала на снижении ставки налога на добычу полезных ископаемых (НДПИ) вдвое, что было одним из условий приватизации 19,5% ее акций в декабре 2016 г. В итоге Минфин сократил запрашиваемый объем льгот и согласился на снижение НДПИ в рамках данного месторождения ежегодно на 35 млрд руб. в течение 10 лет. При этом, как заявляют в руководстве «Роснефти», положительный эффект наблюдается не только для компании, но и для бюджета (хотя он может быть связан и с другими сопутствующими факторами)<sup>2</sup>.

Хотя налоговые льготы еще реально не работают в качестве одного из стимулов приватизации, исследование их потенциальных возможностей для ускорения приватизации и повышения ее эффективности представляется интересным, по крайней мере с теоретической точки зрения. В данной работе предлагается математическая модель, в рамках которой можно описать процесс приватизации существующего предприятия и исследовать, как введение налоговых льгот после приватизации может повлиять на эффективность приватизации (с точки зрения государства). Описание модели и постановка задачи оптимизации налоговых льгот для процесса приватизации приводится в разд. 1, а решение соответствующей оптимизационной задачи — в разд. 2. Разд. 3 посвящен исследованию свойств решения и выводам, которые могут быть из него получены.

## 1. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

В данной работе объектом исследования является государственное предприятие, а владельцем его основных средств — государство. Для предприятия в некоторый (нулевой) момент времени возникает потенциальная возможность провести приватизацию.

Если приватизация происходит в момент времени  $\tau$ , то прибыль предприятия до приватизации моделируется случайным процессом  $\pi_t^1$ ,  $0 \leq t < \tau$ , а после приватизации — случайным процессом  $\pi_{t,\tau}^2$ ,  $t \geq \tau$ , которые заданы на некотором вероятностном пространстве  $(\Omega, \mathcal{P}, \mathbb{F})$  с потоком  $\sigma$ -алгебр  $\mathbb{F}_t$ ,  $t \geq 0$ .

Налоговая система представлена в модели коэффициентом налоговой нагрузки  $\gamma$  (долей всех налогов в прибыли) и долей  $\theta$  дополнительных отчислений в бюджет для государственных предприятий. Величина дополнительных отчислений устанавливается собственником предприятия. Так, для федеральных и многих муниципальных унитарных предприятий она должна составлять не менее 50% оставшейся у предприятия чистой прибыли (после выплаты всех налогов и других обязательных платежей). Поэтому можно считать, что государственное предприятие отдает всего в бюджет долю  $\tilde{\theta} = \gamma + \theta(1 - \gamma)$  своей прибыли.

Близкая модель приватизации государственного предприятия, но без налоговых льгот, была предложена в статье (Аркин, Сластников, 2019). Предметами поиска в ней были оптимальный момент приватизации и цена приватизационной сделки, там же можно найти и обзор работ по моделям приватизации, близким к рассматриваемой авторами в настоящей статье. Мы не будем повторять этот обзор, только отметим, что среди таких работ модели с механизмами стимулирования приватизации авторам не встречались.

Предполагается, что государство заинтересовано в приватизации данного предприятия и имеет возможность стимулировать этот процесс. В качестве механизма стимулирования в модели выступают налоговые каникулы, т.е. освобождение от уплаты налогов в течение некоторого периода времени после приватизации. Налоговые каникулы являются одними из наиболее популярных налоговых льгот в мире (см., например, (Tax Incentives..., 2000) или (Shkodinsky et al., 2019) для России). Для моделей, близких к рассматриваемой в настоящей статье, налоговые каникулы как механизм стимулирования инвестиций в реальном

<sup>1</sup> См. <http://president-sovet.ru/documents/read/668/>

<sup>2</sup> См. <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2019/11/10/815858-oslablenie-rublya>

секторе изучались, в частности, в (Аркин, Слостников, 2007, 2016), а других типов, — например в (Mintz, 1990; Jou, 2000; Azevedo, Pereira, Rodrigues, 2019).

Существенным предположением данной модели является то, что покупатель обладает определенной свободой при выборе момента приватизации  $\tau$ . При этом он пользуется только экономическими соображениями и исходит из критерия максимизации показателя NPV, в который включены ожидаемая приведенная прибыль от приватизируемого предприятия (с учетом налогов), а также его расходы на приватизацию. В эти расходы входит цена приватизации  $P$ , которую покупатель платит государству в бюджет, а также дополнительные расходы  $M$ , не идущие в бюджет (например, на процедуру смены собственности, модернизацию и подготовку предприятия к дальнейшей деятельности и т.д.).

Функционирование предприятия рассматривается в непрерывном времени. Для упрощения изложения время жизни предприятия считается бесконечным (хотя это не носит принципиального характера), поэтому NPV для покупателя как функцию от момента приватизации  $\tau$  и длительности налоговых каникул  $\nu$  можно представить в виде

$$N(\tau, \nu) = E \left( \int_{\tau}^{\tau+\nu} \pi_{t,\tau}^2 e^{-\rho t} dt + \int_{\tau+\nu}^{\infty} (1-\gamma) \pi_{t,\tau}^2 e^{-\rho t} dt - (P+M)e^{-\rho\tau} \right), \quad (1)$$

где  $E$  — знак математического ожидания,  $\rho$  — ставка дисконтирования.

Один из основных системных приоритетов современной экономической политики РФ в области приватизации связан с ее использованием для расширения дополнительных доходов бюджета. Принцип обеспечения максимальной бюджетной эффективности приватизации объектов закреплен в прогнозных планах приватизации многих муниципальных образований (см. (Приватизация в современном мире..., 2014)). Поэтому в качестве критерия государства в процессе приватизации предприятия рассматривается интегральный бюджетный эффект  $B(\tau, \nu)$  от предприятия на всем периоде его функционирования. Этот показатель в модели представляет собой все ожидаемые приведенные (к нулевому моменту времени) поступления в бюджет от предприятия и состоит из трех частей:

- 1) налогов и дополнительных отчислений от предприятия до момента приватизации;
- 2) дохода от продажи предприятия в момент приватизации;
- 3) налоговых поступлений от уже приватизированного предприятия (после окончания налоговых каникул).

Таким образом,

$$B(\tau, \nu) = E \left( \int_0^{\tau} \tilde{\theta} \pi_t^1 e^{-\tilde{\rho} t} dt + P e^{-\tilde{\rho}\tau} + \int_{\tau+\nu}^{\infty} \gamma \pi_{t,\tau}^2 e^{-\tilde{\rho} t} dt \right). \quad (2)$$

Отметим, что ставки дисконтирования в формулах (1) и (2), вообще говоря, могут быть разными. Так, ставка  $\rho$  связана с коммерческими возможностями покупателя, а  $\tilde{\rho}$  отражает межвременные предпочтения бюджетных накоплений<sup>3</sup>.

Описанная модель предполагает отсутствие конкуренции среди покупателей предприятия. В этой ситуации сделка может проводиться непосредственно между государством и покупателем. Для исследования потенциальных возможностей налоговых каникул как стимулирующего фактора приватизации в рамках данной модели используется следующая схема двухуровневой оптимизации.

На нижнем уровне в этой схеме находится покупатель, который при заданной длительности налоговых каникул  $\nu$  стремится максимизировать свое NPV от приватизации предприятия, выбирая для этого оптимальный момент приватизации  $\tau^*(\nu)$  как решение оптимизационной задачи

$$N(\tau, \nu) \rightarrow \max_{\tau} \quad (3)$$

где максимум берется по всем марковским (относительно потока  $\mathbb{F}_t, t \geq 0$ ) моментам  $\tau$ .

На верхнем уровне располагается государство, которое, зная принцип оптимального выбора покупателем момента приватизации  $\tau^*(\nu)$  как функцию от длительности налоговых каникул  $\nu$ , выбирает оптимальную длительность каникул  $\nu^*$  так, чтобы максимизировать интегральный бюджетный эффект  $B(\tau^*(\nu), \nu)$  по всем налоговым каникулам:

$$B(\tau^*(\nu), \nu) \rightarrow \max_{\nu \geq 0} \quad (4)$$

<sup>3</sup> Авторы благодарны рецензенту, обратившему их внимание на эти особенности модели.

Описанная оптимизационная схема позволяет оценить потенциальные возможности механизма приватизации предприятий с точки зрения наполнения бюджета.

Решение  $(\tau^*(v^*), v^*)$  задачи двухуровневой оптимизации (3)–(4) можно также рассматривать как равновесие по Штакельбергу в «приватизационной игре» между частным инвестором (покупателем) и государством. В рамках такой теоретико-игровой интерпретации стратегией первого игрока (покупателя) является момент приватизации предприятия  $\tau^*(v)$ , а стратегией второго игрока (государства) — длительность налоговых каникул  $v$ . Предполагается, что второй игрок знает правила (принципы), по которым первый игрок находит свои оптимальные решения при любых стратегиях второго игрока.

## 2. ОПТИМАЛЬНОЕ СТИМУЛИРОВАНИЕ ПРИВАТИЗАЦИИ

Для того чтобы найти решение в сформулированной выше задаче оптимизации, нам понадобятся некоторые формальные предположения.

**Математические предположения.** Будем считать, что поток прибыли предприятия до приватизации  $\pi_t^1$  описывается процессом геометрического броуновского движения

$$\pi_t^1 = \pi_0^1 \exp\{(\alpha_1 - 0,5\sigma_1^2)t + \sigma_1 w_t^1\}, \quad t \geq 0, \quad (5)$$

где задано начальное значение  $\pi_0^1$ , а  $w_t^1, t \geq 0$  — винеровский процесс. Прибыль приватизированного предприятия описывается семейством геометрических броуновских движений  $\pi_{t,\tau}^2$  (здесь параметр  $\tau$  имеет смысл момента приватизации):

$$\pi_{t,\tau}^2 = \pi_{\tau,\tau}^2 \exp\{(\alpha_2 - 0,5\sigma_2^2)(t - \tau) + \sigma_2 w_{t-\tau}^2\}, \quad \tau \geq 0, \quad t \geq \tau, \quad (6)$$

где  $w_s^2, s \geq 0$  — винеровский процесс, а начальное состояние прибыли (после приватизации)  $\pi_{\tau,\tau}^2$  связано с последним состоянием прибыли до приватизации  $\pi_\tau^1$  соотношением

$$\pi_{\tau,\tau}^2 = k\pi_\tau^1, \quad k > 0 \quad (7)$$

(строго говоря, в правой части равенства (7) следовало бы писать  $\pi_{\tau-0}^1$ , но в силу непрерывности процесса геометрического броуновского движения  $\pi_{\tau-0}^1 = \pi_\tau^1$ ).

Моделирование прибыли в виде процесса геометрического броуновского движения широко используется в теории реальных опционов и финансовой математике (см., например, (McDonald, Siegel, 1986; Dixit, Pindyck, 1994; Ширяев, 1998)). Параметры геометрического броуновского движения имеют естественную экономическую интерпретацию: они являются средним значением и дисперсией (волатильностью) мгновенного темпа роста процесса. Поскольку время жизни предприятия не ограничено, для корректности дальнейших рассуждений следует считать, что  $\max(\alpha_1, \alpha_2) < \min(\rho, \tilde{\rho})$ , т.е. все ставки дисконтирования превышают все средние темпы роста прибылей.

В момент приватизации происходит скачок прибыли — она мгновенно изменяется в  $k$  раз. Такой скачок можно связывать как с перестройкой деятельности предприятия после смены собственника, так и с определенными условиями приватизации, которые выдвигает государство. Мы не накладываем каких-либо дополнительных условий ни на величину коэффициента  $k$ , влияющего на стартовые условия приватизированного предприятия, ни на соотношение между параметрами прибыли до и после приватизации.

Сделанные предположения о динамике прибыли дают возможность найти решение задачи двухуровневой оптимизации (3)–(4).

**Оптимальный момент приватизации.** Далее будем обозначать через  $E_t(\cdot) = E(\cdot | \mathbb{F}_t)$  условное математическое ожидание при известной информации до момента времени  $t$ . Из предположений (5)–(7) и свойств геометрического броуновского движения имеем:

$$\begin{aligned} N(\tau, v) &= E\left(\int_\tau^{\tau+v} (E_\tau \pi_{t,\tau}^2) e^{-\rho t} dt + (1-\gamma) \int_{\tau+v}^\infty (E_\tau \pi_{t,\tau}^2) e^{-\rho t} dt - (P+M)e^{-\rho\tau}\right) = \\ &= E\left(\pi_{\tau,\tau}^2 e^{-\rho\tau} (1 - e^{-\rho 2v}) / \rho_2 + (1-\gamma) \pi_{\tau,\tau}^2 e^{-\rho\tau} e^{-\rho 2v} / \rho_2 - (P+M)e^{-\rho\tau}\right) = \\ &= E\left(\pi_{\tau,\tau}^2 (1 - \gamma(v)) / \rho_2 - (P+M)\right) e^{-\rho\tau} = E\left((1 - \gamma(v)) k \pi_\tau^1 / \rho_2 - (P+M)\right) e^{-\rho\tau}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
 B(\tau, v) &= E \left( \int_0^\infty \tilde{\theta} \pi_t^1 e^{-\tilde{\rho}t} dt - \int_\tau^\infty \tilde{\theta} \pi_t^1 e^{-\tilde{\rho}t} dt + \int_{\tau+v}^\infty \gamma \pi_{t,\tau}^2 e^{-\tilde{\rho}t} dt + P e^{-\tilde{\rho}\tau} \right) = \\
 &= \frac{\tilde{\theta}}{\tilde{\rho}_1} \pi_0^1 + E \left( \gamma \int_{\tau+v}^\infty (E_\tau \pi_{t,\tau}^2) e^{-\tilde{\rho}t} dt - \tilde{\theta} \int_\tau^\infty (E_\tau \pi_t^1) e^{-\tilde{\rho}t} dt + P e^{-\tilde{\rho}\tau} \right) = \\
 &= \frac{\tilde{\theta}}{\tilde{\rho}_1} \pi_0^1 + E \left( \frac{\gamma}{\tilde{\rho}_2} e^{-\tilde{\rho}_2 v} \pi_{\tau,\tau}^2 e^{-\tilde{\rho}\tau} - \frac{\tilde{\theta}}{\tilde{\rho}_1} \pi_\tau^1 e^{-\tilde{\rho}\tau} + P e^{-\tilde{\rho}\tau} \right) = \frac{\tilde{\theta}}{\tilde{\rho}_1} \pi_0^1 + E \left[ \left( \frac{k}{\tilde{\rho}_2} \tilde{\gamma}(v) - \frac{\tilde{\theta}}{\tilde{\rho}_1} \right) \pi_\tau^1 + P \right] e^{-\tilde{\rho}\tau},
 \end{aligned} \tag{9}$$

где  $\rho_i = \rho - \alpha_i$ ,  $\tilde{\rho}_i = \tilde{\rho} - \alpha_i$ ,  $i = 1, 2$ ,  $\gamma(v) = \gamma \exp\{-\rho_2 v\}$ ,  $\tilde{\gamma}(v) = \gamma \exp\{-\tilde{\rho}_2 v\}$  (далее ради краткости будем писать  $\gamma$  и  $\tilde{\gamma}$ ).

Таким образом, задача покупателя предприятия (3) — это задача оптимальной остановки случайного процесса  $\pi_t^1$  (геометрического броуновского движения), где в качестве функции выигрыша берется аффинная функция от этого процесса. Известно, что оптимальный момент остановки в такой задаче является первым моментом выхода случайного процесса за некоторый уровень (см., например, (Dixit, Pindyck, 1994) или (Аркин, Слостников, 2007) — для более общего случая). В данной модели оптимальный момент приватизации равен первому моменту времени, когда текущая прибыль госпредприятия превысит некоторый уровень, т.е.

$$\tau^*(v) = \min\{t \geq 0 : \pi_t^1 \geq \pi^*(v)\}, \tag{10}$$

где  $\pi^*(v) = \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{\rho_2}{k(1-\gamma(v))} (P+M)$ ,  $\beta$  — положительный корень квадратного уравнения  $0,5\sigma_1^2\beta(\beta-1) + \alpha_1\beta - \rho = 0$ , причем  $\beta > 1$ , поскольку  $\rho > \alpha_1$ .

Чтобы избежать вырожденного случая  $\tau^*(v) = 0$  (моментальная приватизация), будем считать, что  $\pi_0^1 < \pi^*(\infty) = \beta\rho_2(P+M) / (k(\beta-1))$ . Это обеспечивает положительность (с вероятностью 1) оптимального момента приватизации.

При оптимальном поведении покупателя предприятия (т.е. использовании им оптимального момента приватизации (10)) интегральный бюджетный эффект равен

$$\begin{aligned}
 B(\tau^*(v), v) &= \frac{\tilde{\theta}}{\tilde{\rho}_1} \pi_0^1 + E \left[ \left( \frac{k}{\tilde{\rho}_2} \tilde{\gamma}(v) - \frac{\tilde{\theta}}{\tilde{\rho}_1} \right) \pi_{\tau^*}^1 + P \right] e^{-\tilde{\rho}\tau^*(v)} = \\
 &= \frac{\tilde{\theta}}{\tilde{\rho}_1} \pi_0^1 + \left[ \left( \frac{k}{\tilde{\rho}_2} \tilde{\gamma}(v) - \frac{\tilde{\theta}}{\tilde{\rho}_1} \right) \pi^*(v) + P \right] \left( \frac{\pi_0^1}{\pi^*(v)} \right)^\beta = \frac{\tilde{\theta}}{\tilde{\rho}_1} \pi_0^1 + b_0 b(v),
 \end{aligned} \tag{11}$$

где  $\tilde{\beta}$  — положительный корень квадратного уравнения  $0,5\sigma_1^2\tilde{\beta}(\tilde{\beta}-1) + \alpha_1\tilde{\beta} - \tilde{\rho} = 0$ ,

$$\begin{aligned}
 b_0 &= \left( \frac{k(\beta-1)\pi_0^1}{\beta\rho_2(P+M)} \right)^\beta P, \quad b(v) = (1-\gamma)^\beta \left[ \left( \frac{k}{\tilde{\rho}_2} \tilde{\gamma} - \frac{\tilde{\theta}}{\tilde{\rho}_1} \right) \frac{\beta\rho_2(1+m)}{k(\beta-1)(1-\gamma)} + 1 \right] = \\
 &= (1-\gamma)^\beta + c_0 (1-\gamma)^{\tilde{\beta}-1} (\tilde{\gamma} - \tilde{\theta}\lambda), \quad c_0 = \frac{\beta(1+m)}{\beta-1} \times \frac{\rho_2}{\tilde{\rho}_2}, \quad \lambda = \frac{\tilde{\rho}_2}{k\tilde{\rho}_1}, \quad m = \frac{M}{P}.
 \end{aligned} \tag{12}$$

Величина  $\lambda$  равна отношению ожидаемых приведенных доналоговых прибылей неприватизированного и приватизированного (в момент времени  $\tau$ ) предприятия, а именно, как нетрудно убедиться, при сделанных предположениях (5)–(7) о потоке прибыли предприятия до и после приватизации

$$\lambda = E_\tau \left( \int_\tau^\infty \pi_t^1 e^{-\tilde{\rho}(t-\tau)} dt \right) / E_\tau \left( \int_\tau^\infty \pi_{t,\tau}^2 e^{-\tilde{\rho}(t-\tau)} dt \right).$$

Такую величину, введенную в (Аркин, Слостников, 2019), можно интерпретировать как показатель *доналоговой эффективности приватизации* (или показатель *эффективности приватизации*). При увеличении потока прибыли после приватизации величина  $\lambda$  уменьшается, поэтому с некоторой долей условности можно говорить, что чем эффективнее приватизация, тем показатель  $\lambda$  меньше<sup>4</sup>. Аналогично можно рассматривать и показатель *налоговой эффективности приватизации*, если вместо отношения приведенных прибылей взять отношение поступлений в бюджет от потока прибыли приватизированного

<sup>4</sup> Возможно, было бы логичнее называть показателем доналоговой эффективности приватизации величину, обратную к  $\lambda$ , т.е.  $1/\lambda$ . Мы используем  $\lambda$  в качестве такого показателя во многом из-за более простой и удобной записи формулы.

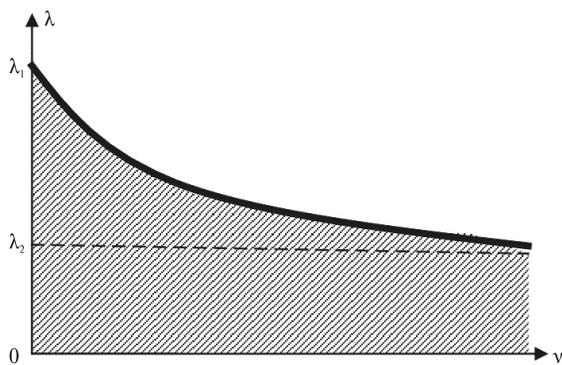


Рис. 1. Область бюджетно-эффективной приватизации

мент времени. Если приватизация с каникулами длительности  $v$  увеличивает оптимальный интегральный бюджетный эффект  $B(\tau^*(v), v)$  по сравнению с отсутствием приватизации (т.е.  $B(\tau^*(v), v) > B(\infty, 0)$ ), ее можно назвать *бюджетно-эффективной приватизацией*.

Из формул (11) и (12) следует, что приватизация с налоговыми каникулами длительности  $v$  увеличивает интегральный бюджетный эффект  $B(\tau^*(v), v)$  (при оптимальном поведении покупателя) в том и только том случае, когда  $b(v) > 0$ , т.е.

$$1 - \gamma + c_0(\gamma - \tilde{\theta}\lambda) > 0, \text{ или } \lambda < \lambda(v) := \frac{1 + (c_0 - 1)\hat{\gamma}}{c_0 \tilde{\theta}} = \frac{\beta - 1 + \gamma e^{-\rho_2 v} (1 + \beta m)}{\beta(1 + m)[\gamma(1 - \theta) + \theta]}. \quad (13)$$

Тем самым неравенство (13) является необходимым и достаточным условием для того, чтобы оптимальная приватизация (с использованием налоговых каникул длительности  $v$ ) была бюджетно-эффективной.

На рис. 1 приведен вид области в пространстве параметров  $(v, \lambda)$ , где существует бюджетно-эффективная приватизация (здесь  $v$  — длительность налоговых каникул, а  $\lambda$  — показатель эффективности приватизации).

Область, изображенная на рис. 1, характеризуется двумя величинами, соответствующими крайним значениям длительности налоговых каникул — 0 и  $\infty$ , а именно:

$$\lambda_1 = \lambda(0) = \frac{\beta - 1 + \gamma(1 + \beta m)}{\beta(1 + m)[\gamma(1 - \theta) + \theta]}, \quad \lambda_2 = \lambda(\infty) = \frac{\beta - 1}{\beta(1 + m)[\gamma(1 - \theta) + \theta]}. \quad (14)$$

Если  $\lambda > \lambda_1$ , то никакими налоговыми каникулами нельзя сделать приватизацию бюджетно-эффективной. В этом случае можно говорить, что приватизация не может обеспечить дополнительные поступления в бюджет даже при ее стимулировании налоговыми каникулами.

Если  $\lambda \leq \lambda_2$ , то приватизация будет бюджетно-эффективной с любыми налоговыми каникулами.

В области  $\lambda_2 < \lambda \leq \lambda_1$  бюджетная эффективность приватизации возникает только для налоговых каникул ограниченной длительности:  $0 \leq v \leq \tilde{v}$ , где  $\tilde{v}$  — корень уравнения  $\lambda(v) = \lambda$ , а  $\lambda(v)$  определено в (13).

В рамках данной модели будет рассматриваться только бюджетно-эффективная приватизация, когда для параметров модели выполнено соотношение (13), необходимым условием для которого является ограничение на показатель эффективности  $\lambda \leq \lambda_1$ .

**Оптимальные налоговые каникулы.** Перейдем к нахождению оптимальных налоговых каникул  $v^*$ , т.е. решению задачи (4). Из соотношения (11) следует, что эта задача равносильна максимизации функции  $b(v) = (1 - \gamma)^\beta + c_0(1 - \gamma)^{\beta-1}(\gamma - \tilde{\theta}\lambda)$  по  $v$ . Далее,

$$b'(v) = -\tilde{\rho}_2 \gamma (1 - \gamma)^{\beta-2} \left[ -(\beta - 1)(1 - \gamma + c_0(\gamma - \tilde{\theta}\lambda)) + (1 - \gamma)(-1 + c_0) \right] \propto \beta(c_0 - 1)\gamma - (\beta - 1)c_0\tilde{\theta}\lambda + \beta - c_0. \quad (15)$$

Символ « $\propto$ » означает положительную пропорциональность (т.е. равенство с точностью до положительного множителя). Поскольку  $\gamma = \gamma(v)$  убывает по  $v$ , а  $c_0 > 1$ , то  $b'(v)$  будет убывающей функцией.

Для дальнейшего анализа необходимо рассмотреть различные возможные случаи поведения  $b'(v)$  в граничных точках  $v = 0$  и  $v \rightarrow \infty$ .

и неприватизированного предприятия. Такой показатель отличается от  $\lambda$  множителем  $\tilde{\theta} / \tilde{\gamma}(v)$ .

Будем считать, что ставки дисконтирования у покупателя и государства (бюджета) одинаковые, т.е.  $\rho = \tilde{\rho}$ . Такое предположение не носит принципиального характера, а вводится только для того, чтобы не усложнять анализ модели и интерпретацию результатов.

**Бюджетно-эффективная приватизация.** Величина  $\theta\pi_0^1 / \rho_1$  (см. формулу (11)) представляет собой интегральный бюджетный эффект от неприватизированного предприятия (на бесконечном интервале времени его функционирования), который формально можно записать как  $B(\infty, 0)$ , что соответствует приватизации в бесконечный момент времени.

1. Если  $b'(0) \leq 0$ , то  $b'(v) < 0$  при всех  $v > 0$ , т.е.  $b(v)$  убывает. Поэтому оптимальными будут нулевые налоговые каникулы ( $v^* = 0$ ). Условие  $b'(0) \leq 0$  равносильно тому, что  $(\beta - 1)c_0\tilde{\theta}\lambda \geq \beta[1 + (c_0 - 1)\gamma] - c_0$ , или  $\lambda \geq \lambda^0$ , где

$$\lambda^0 = \frac{\beta[1 + (c_0 - 1)\gamma] - c_0}{(\beta - 1)c_0\tilde{\theta}} = \frac{\beta + \gamma - 2 - (1 - \beta\gamma)m}{(\beta - 1)(1 + m)[\gamma(1 - \theta) + \theta]} \quad (16)$$

Заметим, что величина  $\lambda^0$  не обязательно положительна, например,  $\lambda^0 < 0$  в случае, когда  $m = 0$  и  $\beta < 2 - \gamma$ . Учитывая, что приватизация должна быть бюджетно-эффективной, а показатель  $\lambda$  положителен, приходим к выводу, что если показатель эффективности приватизации  $\lambda$  удовлетворяет ограничениям  $\max(0, \lambda^0) < \lambda \leq \lambda_1$ , то  $v^* = 0$ .

2. Пусть теперь  $b'(0) > 0$ , а  $b'(\infty) = -(\beta - 1)c_0\tilde{\theta}\lambda + \beta - c_0 < 0$ . Эти условия можно записать в виде неравенств  $\lambda_0 < \lambda < \lambda^0$ , где  $\lambda^0$  — определено в (16),

$$\lambda_0 = \frac{\beta - c_0}{(\beta - 1)c_0\tilde{\theta}} = \frac{\beta - 2 - m}{(\beta - 1)(1 + m)[\gamma(1 - \theta) + \theta]} \quad (17)$$

При выполнении этих условий существует  $v^* > 0$  такое, что  $b'(v^*) = 0$  и знак производной меняется в точке  $v^*$  с положительного на отрицательный. Это означает, что  $b(v)$  достигает максимума в точке  $v^*$ , которая удовлетворяет уравнению

$$\beta(c_0 - 1)\gamma(v^*) = (\beta - 1)c_0\tilde{\theta}\lambda - \beta + c_0, \quad (18)$$

т.е.  $v^* = (\rho_2)^{-1} \log\left(\beta(c_0 - 1)\gamma / [(\beta - 1)c_0\tilde{\theta}\lambda - \beta + c_0]\right)$ .

Заметим, что приватизация с каникулами  $v^*$  будет бюджетно-эффективной, поскольку

$$\begin{aligned} (\beta - 1)c_0\tilde{\theta}\lambda &= \beta[1 + (c_0 - 1)\gamma(v^*)] - c_0 = (\beta - 1)[1 + (c_0 - 1)\gamma(v^*)] - \\ &- (c_0 - 1)(1 - \gamma(v^*)) < (\beta - 1)[1 + (c_0 - 1)\gamma(v^*)], \end{aligned}$$

т.е. выполнено условие (13). Отметим, что при  $\lambda \rightarrow \lambda_0$  оптимальные каникулы  $v^*$  неограниченно возрастают.

3. Рассмотрим случай  $b'(\infty) \geq 0$ , которому соответствует неравенство для показателя эффективности  $\lambda \leq \lambda_0$ , где  $\lambda_0$  определено в (17). При этом  $b'(v) > 0$  при всех  $v \geq 0$ , т.е.  $b(v)$  — возрастающая функция, и  $b(v) \rightarrow 1 - c_0\tilde{\theta}\lambda$  при  $v \rightarrow \infty$ . Таким образом, функция  $b(v)$  не достигает максимума, и оптимальных налоговых каникул не существует.

Собирая полученные выше результаты и учитывая, что показатель эффективности приватизации  $\lambda$  должен быть положительным, приходим к следующему утверждению.

**Теорема.** Пусть приватизация является бюджетно-эффективной. Тогда:

- 1) если  $\max(0, \lambda^0) \leq \lambda \leq \lambda_1$ , где  $\lambda^0$  определено в (16), то оптимальные налоговые каникулы равны нулю;
- 2) если  $\max(0, \lambda_0) < \lambda < \max(0, \lambda^0)$ , где  $\lambda_0$  определено в (17), то длительность оптимальных налоговых каникул  $v^*$  описывается формулой (18);
- 3) если  $0 < \lambda \leq \max(0, \lambda_0)$ , то оптимальных налоговых каникул не существует.

Иллюстрацией к сформулированной теореме может служить рис. 2, на котором изображены графики длительности оптимальных налоговых каникул  $v^*$  как функции от показателя эффективности приватизации для различных случаев взаимного расположения величин  $\lambda_0$ ,  $\lambda^0$  и нуля.

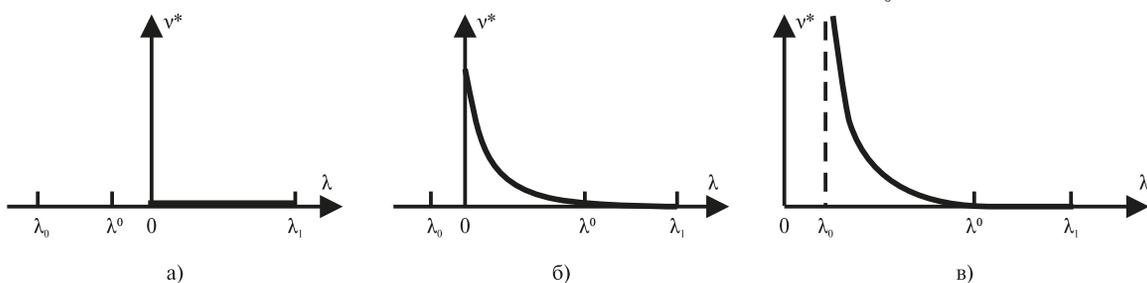


Рис. 2. Длительность оптимальных налоговых каникул в зависимости от показателя эффективности приватизации  $\lambda$

## 3. МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

В этом разделе мы изучим свойства оптимальных налоговых каникул  $v^*$  и установим, какие выводы из них могут быть сделаны.

**Нулевые каникулы.** Как следует из теоремы, п. 1, если величина  $\lambda^0$  не положительна, то  $v^* = 0$  для всех значений показателя эффективности приватизации  $\lambda$  (обеспечивающих бюджетную эффективность, т.е.  $\lambda \leq \lambda_1$ ). Этой ситуации соответствует рис. 2а. Условие  $\lambda^0 \leq 0$  можно записать в виде

$$\beta + \gamma - 2 \leq (1 - \beta\gamma)m, \quad (19)$$

$$\text{или } \beta \leq \frac{2 + m - \gamma}{1 + \gamma m} = 1 + \frac{(1 - \gamma)(1 + m)}{1 + \gamma m}.$$

Нетрудно показать, что показатель  $\beta$ , являющийся положительным корнем квадратного уравнения  $0,5\sigma_1^2\beta(\beta - 1) + \alpha_1\beta - \rho = 0$ , монотонно убывает по параметрам прибыли предприятия (до приватизации) — среднему темпу роста  $\alpha_1$  и волатильности  $\sigma_1$ <sup>5</sup>. Поэтому ограничение сверху для  $\beta$  означает, что волатильность  $\sigma_1$  должна быть больше некоторого порогового значения ( $\sigma_1 \geq \bar{\sigma}$ ). Кроме того,  $\beta \rightarrow 1$  при  $\sigma_1 \rightarrow \infty$ , т.е. при большой волатильности неравенство (19) будет выполняться и оптимальные налоговые каникулы будут нулевыми при любых показателях эффективности приватизации.

Таким образом, при большой неопределенности (волатильности) прибыли предприятия (до приватизации) механизм налоговых каникул не является эффективным инструментом стимулирования приватизации (с точки зрения бюджетного эффекта).

**Оптимальные каникулы ограниченной длительности.** Рассмотрим теперь ситуацию на рис. 2б, когда  $\lambda_0 < \lambda < \lambda^0$ . Эти неравенства, с учетом (17) и (19), можно записать как

$$1 + \frac{(1 - \gamma)(1 + m)}{1 + \gamma m} < \beta < 2 + m. \quad (20)$$

Неравенства (20) соответствуют умеренной неопределенности, когда волатильность прибыли предприятия лежит между двумя пороговыми значениями  $\underline{\sigma} < \sigma_1 < \bar{\sigma}$ . При этом длительность оптимальных налоговых каникул для всех значений показателя эффективности приватизации  $\lambda$  не будет превышать величины  $v_{max}$ , определяемой из уравнения для оптимальных каникул (18) при подстановке в него  $\lambda = 0$  (см. рис. 2б), т.е.  $v_{max} = (\rho_2)^{-1} \log((1 + \beta m)\gamma / (2 + m - \beta))$ .

**Бесконечные налоговые каникулы.** Обратимся, наконец, к наиболее сложной ситуации, когда  $\lambda_0 > 0$  (см. рис. 2в), что можно записать, согласно (17), в виде неравенства

$$\beta > 2 + m, \quad (21)$$

которому соответствует ограниченная волатильность  $\sigma_1$ , не превышающая порогового значения  $\underline{\sigma}$ . Здесь тип оптимальных налоговых каникул будет зависеть от величины показателя эффективности приватизации  $\lambda$ .

Если  $\lambda \geq \lambda_0$ , оптимальными каникулами будут *нулевые*; если  $\lambda_0 < \lambda < \lambda^0$  — *положительные*. В случае, когда  $0 < \lambda < \lambda_0$ , интегральный бюджетный эффект  $B(\tau^*(v), v)$  возрастает по  $v$ . При этом максимум эффекта  $B(\tau^*(v), v)$  не достигается ни на каких налоговых каникулах конечной длительности, но условно можно говорить, что оптимальные каникулы являются *бесконечными*. В данном случае это означает, что если доналоговая эффективность приватизации достаточно велика (соответствующий показатель меньше величины  $\lambda_0$ ), то с точки зрения интегрального бюджетного эффекта государству выгодно вообще не облагать предприятие налогами после приватизации, а довольствоваться лишь непосредственным доходом от продажи предприятия (величиной  $P$ ). Конечно, если существуют какие-то априорные ограничения сверху на длительность налоговых каникул, то в этой ситуации следует использовать каникулы максимально возможной длительности.

Для дальнейшего анализа перепишем формулу (18), определяющую оптимальные налоговые каникулы  $v^*$ , в виде

$$\gamma(v^*) = \gamma e^{-\rho_2 v^*} = \left[ (\beta - 1)\bar{\theta}\lambda(1 + m) + 2 + m - \beta \right] / (1 + \beta m). \quad (22)$$

<sup>5</sup> В этом нетрудно убедиться непосредственным дифференцированием, соответствующие выкладки приведены, например, в (Аркин, Сластников, 2019).

Исходя из формулы (10), введем также оптимальный уровень прибыли для продажи предприятия с оптимальными налоговыми каникулами:

$$\pi^{**} = \pi^*(v^*) = \frac{\beta}{\beta-1} P(1+m)\rho_1 \frac{\lambda}{1-\gamma(v^*)}. \quad (23)$$

Уровень  $\pi^{**}$  полностью определяет момент  $\tau^{**}$  приватизации предприятия при оптимальном поведении покупателя (исходящего из критерия NPV) и государства (предоставляющего налоговые каникулы длительности  $v^*$ ), а именно  $\tau^{**} = \min\{t \geq 0: \pi_t^! \geq \pi^{**}\}$ . При этом увеличение  $\pi^{**}$  означает, что приватизация предприятия наступит позже (с вероятностью 1), а уменьшение  $\pi^{**}$  соответствует более ранней приватизации.

**Зависимость от эффективности приватизации.** Из соотношений (22) и (23) следует, что длительность оптимальных налоговых каникул  $v^*$  убывает, а оптимальный уровень  $\pi^{**}$  возрастает по показателю  $\lambda$ . Это означает, что с ростом (доналоговой) эффективности приватизации, т.е. с уменьшением показателя  $\lambda$ , оптимальные каникулы (когда они существуют) должны увеличиваться, при этом приватизация будет наступать раньше.

**Зависимость от цены приватизации и дополнительных затрат покупателя.** Прежде всего заметим, что оптимальные каникулы  $v^*$  не зависят явно от цены сделки приватизации  $P$ , а зависят от относительной доли дополнительных затрат покупателя  $m = M/P$ . Из формулы (22) получаем

$$\begin{aligned} (\gamma(v^*))_m &\propto [(\beta-1)\tilde{\theta}\lambda + 1](1+\beta m) - \beta[(\beta-1)\tilde{\theta}\lambda(1+m) + 2 + m - \beta] = \\ &= (\beta-1)^2(1-\tilde{\theta}\lambda) \geq (\beta-1)^2(1-\tilde{\theta}\lambda^0) \propto 1-\gamma + \beta m(1-\gamma) > 0, \end{aligned}$$

поскольку (22) имеет место при условии  $\lambda \leq \lambda^0$ . Таким образом, оптимальные каникулы  $v^*$  убывают по  $m$ . Отсюда и из (23) следует, что оптимальный уровень  $\pi^{**}$  возрастает по  $m$  (при фиксированной цене сделки  $P$ ). Это означает, что если относительная доля дополнительных затрат покупателя на приватизацию предприятия увеличивается, оптимальные каникулы следует уменьшить, при этом момент приватизации наступит позже.

**Зависимость от налоговой нагрузки.** В отличие от предыдущих параметров зависимость  $v^*$  и  $\pi^{**}$  от коэффициента налоговой нагрузки  $\gamma$  носит более сложный характер и определяется несколькими соотношениями между параметрами модели  $\beta$ ,  $m$ ,  $\theta$  и показателем эффективности приватизации  $\lambda$ . В данной статье мы не будем подробно разбирать все возможные ситуации, а ограничимся лишь одним крайним случаем, когда волатильность прибыли неприватизированного предприятия  $\sigma_1$  велика (этот случай, кстати, не очень понятен с экономической интуитивной точки зрения).

Итак, будем рассматривать случай, когда  $\beta < 2 + m$ . Как уже обсуждалось выше, это неравенство соответствует тому, что волатильность  $\sigma_1$  превышает некоторое пороговое значение. В частности, при неограниченном увеличении  $\sigma_1$  показатель  $\beta$  будет приближаться к 1. Из (17) следует, что в рассматриваемом случае  $\lambda_0 < 0$  при всех значениях налоговой нагрузки  $\gamma$  и, значит, всегда существуют оптимальные налоговые каникулы конечной длительности (иногда нулевой).

В то же время величина  $\tilde{\lambda}^0(\gamma) = \max(0, \lambda^0)$ , где  $\lambda^0$  определено в (16), характеризующая границу между нулевыми и положительными оптимальными налоговыми каникулами, сначала будет нулевой при малых налоговых нагрузках  $0 < \gamma \leq \tilde{\gamma} := (2 + m - \beta) / (1 + \beta m)$ , а затем становится положительной. Это означает, что оптимальные налоговые каникулы  $v^*$  при малых  $\gamma$  будут нулевыми для любых показателей эффективности приватизации  $\lambda$ , а при  $\gamma > \tilde{\gamma}$  могут быть как положительными (если  $\lambda < \tilde{\lambda}^0(\gamma)$ ), так и нулевыми (если  $\lambda \geq \tilde{\lambda}^0(\gamma)$ ). Кроме того, с ростом  $\gamma$  оптимальные каникулы не убывают, поскольку из формулы (22) следует, что

$$e^{-\rho_2 v^*} = \frac{\gamma(v^*)}{\gamma} = \frac{(\beta-1)(1+m)}{1+\beta m} \left( \lambda(1-\theta) + \frac{\lambda\theta}{\gamma} + \frac{2+m-\beta}{\gamma(\beta-1)(1+m)} \right), \quad (24)$$

а  $2 + m - \beta > 0$ . Из (24) следует, что  $\gamma(v^*)$  является возрастающей функцией от  $\gamma$ , поэтому оптимальный уровень  $\pi^{**}$  также будет возрастать с ростом налоговой нагрузки, т.е. приватизация будет наступать позже.

## 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложена математическая модель, в рамках которой можно ставить и решать задачу стимулирования процесса приватизации государственного предприятия с помощью механизма налоговых каникул после приватизации. В основе модели лежат предположения о возможности выбора момента приватизации, а также о скачкообразном изменении прибыли предприятия после приватизации. Для выбора момента приватизации и длительности налоговых каникул взята схема двухуровневой оптимизации, в которой государство, зная принцип поведения покупателя (максимизация NPV от приватизированного предприятия), предлагает ему такие налоговые каникулы, чтобы максимизировать интегральный бюджетный эффект от функционирования данного предприятия (до и после приватизации).

В случае когда прибыль предприятия до и после приватизации моделируется случайными процессами геометрического броуновского движения, в работе получены явные формулы для оптимального момента приватизации и оптимальной длительности налоговых каникул.

Показано, что при большой неопределенности прибыли предприятия (до приватизации) механизм налоговых каникул не является эффективным инструментом стимулирования приватизации (с точки зрения интегрального бюджетного эффекта), поскольку оптимальные налоговые каникулы будут нулевыми. Напротив, если волатильность прибыли не превышает некоторого порогового значения, оптимальные каникулы могут быть нулевой или положительной длительности в зависимости от величины введенного показателя эффективности приватизации. Кроме того, могут возникнуть ситуации, когда оптимальные каникулы не существуют и государству выгодно (с точки зрения интегрального бюджетного эффекта) вообще не облагать предприятие налогами после приватизации.

Показано, что оптимальная длительность налоговых каникул зависит не от цены сделки приватизации (идущей в бюджет), а лишь от доли дополнительных затрат покупателя (не идущих в бюджет) относительно цены приватизации. При этом с увеличением этой доли оптимальные каникулы уменьшаются, а момент приватизации наступает позже.

В работе проведено исследование зависимости оптимального момента приватизации и оптимальной длительности налоговых каникул от величины налоговой нагрузки на предприятие. В частности, если волатильность прибыли неприватизированного предприятия превышает некоторое пороговое значение, то при любой налоговой нагрузке существуют оптимальные налоговые каникулы (конечной длительности). При этом для маленькой нагрузки длительность таких каникул будет нулевой, а при большой нагрузке может оставаться нулевой или становиться положительной в зависимости от величины показателя эффективности приватизации. Кроме того, с ростом налоговой нагрузки приватизация будет наступать позже.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Аркин В.И., Сластников А.Д.** (2007). Инвестиционные ожидания, стимулирование инвестиций и налоговые реформы // *Экономика и математические методы*. Т. 43. № 2. С. 76–100. [Arkin V.I., Slastnikov A.D. (2007). Theory of investment expectations, investment incentives, and tax reforms. *Economics and Mathematical Methods*, 43, 2, 76–100 (in Russian).]
- Аркин В.И., Сластников А.Д.** (2016). Сравнительный анализ различных принципов назначения налоговых каникул // *Экономика и математические методы*. Т. 52. № 3. С. 78–91. [Arkin V.I., Slastnikov A.D. (2016). Comparative analysis of various principles of the granting tax holidays. *Economics and Mathematical Methods*, 52, 3, 78–91 (in Russian).]
- Аркин В.И., Сластников А.Д.** (2019). Математическая модель приватизации унитарного предприятия в реальном секторе // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 3 (43). С. 12–33. [Arkin V.I., Slastnikov A.D. (2019). Mathematical model of unitary enterprise privatization in the real sector. *The Journal of the New Economic Association*, 3 (43), 12–33 (in Russian).]
- Приватизация в современном мире: теория, эмпирика, «новое измерение» для России (2014). А.Д. Радыгин (ред.). М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС. [*Privatization in the modern world: Theory, empiricism, “a new dimension” for Russia* (2014). A.D. Radygin (ed.). Moscow: Izdatel'skii dom “Delo” RANKhiGS (in Russian).]
- Ширяев А.Н.** (1998). Основы стохастической финансовой математики. Т. 1–2. М.: Фазис. [Shiryayev A.N. (1999). *Essentials of stochastic finance. Facts, models, theory*. Singapore: World Scientific.]

- Azevedo A., Pereira P.J., Rodrigues A. (2019). Foreign direct investment with tax holidays and policy uncertainty. *International Journal of Finance and Economics*, 24, 2, 727–739.
- Dixit A.K., Pindyck R.S. (1994). *Investment under uncertainty*. Princeton: Princeton University Press.
- Jou J.B. (2000). Irreversible investment decisions under uncertainty with tax holidays. *Public Finance Review*, 28, 1, 66–81.
- McDonald R., Siegel D. (1986). The value of waiting to invest. *Quarterly Journal of Economics*, 101, 707–727.
- Mintz J.M. (1990). Corporate tax holidays and investment. *The World Bank Economic Review*, 4, 1, 81–102.
- Shkodinsky S.V., Suglobov A.E., Karpovich O.G., Titova O.V., Orlova E.A. (2019). Tax holidays as an upcoming tool of tax incentive for business renewal. In: *Optimization of the Taxation System: Preconditions, Tendencies and Perspectives*. I. Gashenko, Y. Zima, A. Davidyán (eds). Springer, Cham, 67–74.
- Tax incentives and foreign direct investment. A global survey* (2000). ASIT advisory studies. No. 16. UNCTAD. N.Y., Geneva: United Nations.

## The model of stimulating the privatization process for state-owned enterprises

© 2021 V.I. Arkin, A.D. Slastnikov

**V.I. Arkin,**

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

**A.D. Slastnikov,**

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

Received 14.12.2020

*The study is supported by Russian Foundation for Basic Research (project 18-010-00666).*

**Abstract.** The paper describes a model which allows setting and solving the problem of stimulating the privatization process for state-owned enterprises with the help of tax holidays. The model assumes the possibility to choose the moment of privatization, as well as the stochastic behavior of the enterprise's profits and its change after privatization. The proposed scheme allows to find the optimal (in NPV criterion of the buyer) time of privatization and the optimal (in integral budgetary effect criterion) duration of tax holidays. In the case when the profit before and after privatization is modeled by random processes of geometric Brownian motion, the explicit formulas are obtained for the optimal time of privatization and the optimal duration of tax holidays. We derive the conditions, under which the optimal tax holidays have zero, or positive duration, or do not exist. Besides, we study the dependence of both the optimal time of privatization and the optimal tax holidays on privatization cost and the tax burden to enterprises.

**Keywords:** privatization, state-own enterprises, budgetary effect, uncertainty, time of privatization, tax holidays.

**JEL Classification:** C61, D81, G38.

**DOI:** 10.31857/S042473880014905-4

---

---

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

---

---

**Гарантированный детерминистский подход  
к маржированию на срочном рынке**

© 2021 г. С.Н. Смирнов, И.В. Полиматиди

**С.Н. Смирнов,**

*Факультет ВМК МГУ, Москва; e-mail: s.n.smirnov@gmail.com*

**И.В. Полиматиди,**

*АО ЮниКредит Банк, Москва; e-mail: ipolimatidi@gmail.com*

Поступила в редакцию 27.08.2020

*Авторы благодарны коллегам из департамента риск-менеджмента Чикагской товарной биржи (CME) за организацию семинара в 2002 г. для презентации нашей методики маржирования. Мы также признательны Луичи Висенте за полезные обсуждения.*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта 19-01-00613а.*

**Аннотация.** В статье обсуждается современный подход к риск-менеджменту центрального контрагента, в первую очередь вопрос о достаточности его финансовых ресурсов, включая обеспечение участников клиринга, капитал центрального контрагента и фонд солидарной ответственности. Особое внимание уделено системе маржирования, отвечающей за адекватный уровень обеспечения участников клиринга и играющей важную роль в риск-менеджменте. Критически анализируется регулирование, принятое в настоящее время в международной практике. Описывается система маржирования портфеля из опционов и фьючерсов на срочном рынке, с дефолт-менеджментом, основанным на методологии, предложенной рядом авторов изобретения, зарегистрированного в 2004 г. Для этой системы строится математическая модель маржирования, т.е. определения требуемого уровня депозитной маржи (гарантийного обеспечения). Основная идея состоит в том, что измерение риска портфеля для целей маржирования должно учитывать метод дефолт-менеджмента, а вместо простейшей процедуры, состоящей в ликвидации позиций дефолтера, центральному контрагенту целесообразно использовать управление портфелем дефолтера. Новизна данной статьи заключается в использовании идеологии гарантированного детерминистского подхода к суперхеджированию, предложенного одним автором в ряде публикаций и основанного на теоретико-игровой интерпретации. Из экономического смысла задачи непосредственно выводятся уравнения Беллмана–Айзекса для требуемого уровня маржи. Изучаются свойства этих уравнений, в частности доказано свойство субаддитивности маржи портфеля — важное с экономической точки зрения требование к системе маржирования. Полученные уравнения приведены к форме, удобной для вычислений, они позволяют проводить численные эксперименты. Соответствующие результаты анализа работоспособности системы маржирования будут представлены в последующей публикации.

**Ключевые слова:** центральный контрагент, клиринг, дефолт-менеджмент, капитал, маржирование, опцион, фьючерс, уравнения Беллмана–Айзекса, субаддитивность обеспечения портфеля.

**Классификация JEL:** C61, C63, G23.

**DOI:** 10.31857/S042473880014918-8

## ВВЕДЕНИЕ

После глобального финансового кризиса, начавшегося в 2007 г., сформировалась международная тенденция, заключающаяся в повышении роли клиринга через центрального контрагента (central counterparty, ССР) — унифицированного финансового института, замещающего стороны сделки, с целью снижения риска неисполнения участниками торгов своих обязательств. Подробно тематика клиринга изложена в книге (Майоров, 2015).

Клиринговая организация должна рассчитывать требования к депозитной марже<sup>1</sup> членов биржи, т.е. уровень средств, который необходимо поддерживать на клиринговом счете для обеспечения обязательств по портфелю участника биржи. Обеспечение может быть внесено как в денежной форме, так и в виде ценных бумаг и других высоколиквидных активов, связанных с соответствующими инструментами. Клиринговая организация осуществляет контроль над соблюдением требований по депозитной марже. При этом клиринговая организация может изменять требования по депозитной марже в течение срока действия контракта, но член биржи — участник торгов — обязан поддерживать количество средств на своем клиринговом счете на требуемом уровне. В случае если участник торгов не удовлетворяет требованиям по депозитной марже, клиринговая организация производит урегулирование ситуации с дефицитом маржи. В мировой практике общепринятым способом урегулирования является ликвидация (полная или частичная) портфеля участника, не удовлетворяющего требованиям по депозитной марже (дефолтера), по текущим рыночным ценам. В особых случаях при недостаточной ликвидности рынка (в частности, при крупных позициях дефолтера) может проводиться аукцион. Однако, по нашему мнению, дизайн аукциона должен быть тщательно продуман и подробно описан в правилах клиринга. При этом возникающие убытки портфеля дефолтера должны в первую очередь покрываться за счет обеспечения (депозитной маржи), внесенного данным участником, — это первый эшелон защиты центрального контрагента. Если этих средств окажется недостаточно, то используют его взнос в фонд солидарной ответственности членов клиринга. Если этого также недостаточно, то используют фонд, формируемый из капитала (собственных средств) центрального контрагента, — это второй эшелон защиты. А если и этого окажется недостаточно, то убытки погашаются за счет фонда солидарной ответственности участников клиринга (в этом случае участникам клиринга предлагают впоследствии пополнить этот фонд). Таким образом, создается несколько эшелонов защиты контрагента, совокупность которых на английском языке принято называть “default waterfall”. На русском языке терминология еще не сформировалась, поэтому мы будем использовать термин «дефолтное эшелонирование». Капитал центрального контрагента, используемый на покрытие убытков, так называемый “skin-in-the-game”<sup>2</sup>, и фонд солидарной ответственности участников клиринга играют дополняющую роль к депозитной марже участников клиринга. Центральное место в дискуссии о достаточности финансовых ресурсов центрального контрагента, активно ведущейся в настоящее время, занимает вопрос о стимулах, создаваемых структурой дефолтного эшелонирования (см. (Cont, 2015, Carponi, Cheng, Sethuraman, 2017)).

Маржирование не только выступает в роли авангарда в дефолтном эшелонировании, но и, являясь наиболее чувствительным к риску эшелоном защиты, играет критическую роль в риск-менеджменте центрального контрагента. Поэтому регуляторы особое внимание уделяют проблеме маржирования. Исторически первый документ, *Report on margin* (IOSCO, 1996), определявший международные принципы регулирования, был разработан IOSCO еще в 1996 г. Регулирование центральных контрагентов с упором на практику управления рисками было кардинально усовершенствовано после мирового финансового кризиса. Это отражено в документе «Принципы инфраструктуры финансового рынка» (CPSS, IOSCO, 2012), имеющем характер глобального руководства для национальных регуляторов; в Европейском союзе роль такого регулирования играет EMIR<sup>3</sup>. В частности, EMIR требует, чтобы степень покрытия депозитной маржей была «достаточной для покрытия экспозиции к риску, которая, по оценкам центрального контрагента, может возникнуть вплоть до ликвидации<sup>4</sup> соответствующих позиций»<sup>5</sup>. Мы же считаем более корректно использовать расширенное толкование критерия качества системы портфельного маржирования из Принципа 6 в «Принципах инфраструктуры финансового

<sup>1</sup> Терминология, использовавшаяся на Московской межбанковской валютной бирже (ММВБ). На Московской бирже, образованной в 2011 г. в результате слияния бирж ММВБ и РТС, принят термин «гарантийное обеспечение», использовавшийся на срочном рынке РТС.

<sup>2</sup> Афоризм на английском языке (дословный перевод — «шкура в игре»), распространен в бизнесе, финансах и азартных играх, а также в политике. В данном контексте — часть капитала центрального контрагента, которая может быть использована для покрытия убытков в случае дефолта участников рынка. В терминологии, принятой на Московской бирже, это выделенный капитал центрального контрагента.

<sup>3</sup> The European Market Infrastructure Regulation. Действует с 2012 г.

<sup>4</sup> Курсив наш.

<sup>5</sup> The EMIR RTS No. 153/2013.

рынка». Незначительно перефразируя<sup>6</sup>, можно сформулировать это следующим образом: требуемый уровень депозитной маржи должен корректно и адекватно отражать риск портфеля участника клиринга, а именно обеспечивать заданную степень<sup>7</sup> покрытия потерь, которые могут возникнуть в результате закрытия всех позиций в портфеле. Особо отметим, что закрытие позиций может происходить по определенной центральным контрагентом процедуре дефолт-менеджмента, отличной от простой ликвидации. Подробно современные требования к системе риск-менеджмента центрального контрагента изложены в (CPMI–IOSCO, 2017), а также в документе (ISDA, 2019), касающемся наилучших практик центрального контрагента.

В данной статье нас будут интересовать системы портфельного маржирования для торговли биржевыми производными финансовыми инструментами, фьючерсами и опционами. Наиболее популярной из систем портфельного маржирования, которые используются в мировой практике, является система SPAN<sup>8</sup>, разработанная еще в 1988 г. на Чикагской товарной бирже (CME). В настоящее время ею пользуются более чем в 50 биржевых и клиринговых организациях по всему миру<sup>9</sup>. Подробное изложение особенностей построения системы SPAN можно найти в (Долматов, 2007). С нашей точки зрения, на сегодняшний день наиболее продвинутой является система CORE, разработанная на бразильской бирже BM&FVovespa. Система CORE обобщает классический метод стресс-сценариев SPAN путем явного включения рыночной ликвидности финансовых инструментов посредством моделирования профиля ликвидности инструментов и механизма ликвидации на аукционе. Главным компонентом методологии CORE является определение стратегии закрытия позиций для портфеля дефолтера, ликвидации или урегулирования портфеля — от, возможно, простейшей стратегии закрытия — скорейшей ликвидации всех позиций портфеля (что можно назвать наивной стратегией) — до более сложного формата, основанного на определенных правилах. Идеология системы описана в (Avellaneda, Cont, 2013), ее технические аспекты — в (Vicente, 2012); см. также изобретение (Vicente et al., 2015), оно касается процесса оценки риска при закрытии позиций портфеля.

При разработке нами нового подхода к организации торгов срочными инструментами — фьючерсами и опционами на основе правил клиринга с оригинальной процедурой урегулирования ситуации с дефицитом маржи и системой портфельного маржирования — была использована идея детерминистского гарантированного оценивания опционов. Соответствующий способ моделирования неопределенности движения цен был опубликован значительно позже, в статье (Смирнов, 2018; Smirnov, 2021). Близкие идеи стали активно развиваться лет через 10–15 в работах ряда авторов в виде направления интервального оценивания (см. (Bernhard et al., 2013)) и модного сейчас направления робастного суперхеджирования (см., например, (Burzoni et al., 2019; Carassus, Oblój, Wiesel, 2019)), что стало признаваться альтернативой традиционному вероятностному подходу (современное изложение которого можно найти в книге (Föllmer, Schied, 2016)).

Разработанная нами методика<sup>10</sup> прошла апробацию в 2002 г. в департаменте риск-менеджмента Чикагской товарной биржи (CME), а в 2004 г. был получен патент РФ на изобретение (Смирнов и др., 2004). Наш подход совместим с методологией CORE — достаточно прочитать Abstract на первой странице изобретения (Vicente et al., 2015), чтобы увидеть сходство идеологии изобретений (Vicente et al., 2015; Смирнов и др., 2004). Можно сделать вывод, что изобретение (Смирнов и др., 2004) опередило время лет на десять — в финансовой индустрии стали внимательно относиться к качеству математических моделей только после (и вследствие) глобального финансового кризиса. Изобретение (Смирнов и др., 2004) — конкретнее и детальнее по сравнению с (Vicente et al., 2015), поскольку относится к более узкой предметной области (срочный рынок).

<sup>6</sup> В оригинале: "...initial margin models and parameters that are risk-based and generate margin requirements sufficient to cover its potential future exposure to participants in the interval between the last margin collection and the close out of positions following a participant default".

<sup>7</sup> К сожалению, *заданная степень*, как правило, воспринимается буквально, т.е. как (статистический) доверительный уровень.

<sup>8</sup> Standard Portfolio. Analysis of risk.

<sup>9</sup> CME Group разработала следующее поколение системы маржирования — CME SPAN2, внедрение которой началось в 2020 г. Ожидается, что полное развертывание продлится до четырех лет, в течение которых SPAN и SPAN2 будут параллельно доступны для конечных пользователей. Методология системы не раскрывается.

<sup>10</sup> Изначально методика создавалась в начале 2000-х годов с целью внедрения на фондовой бирже «Российская торговая система» — РТС, но в связи с уходом президента биржи И.А. Тырышкина в феврале 2003 г. проект не был реализован.

## 1. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ МАРЖИРОВАНИЯ, ОСНОВАННОЙ НА ДЕТЕРМИНИСТСКОМ ГАРАНТИРОВАННОМ ПОДХОДЕ

Предлагаемая в (Смирнов и др., 2004) методика организации биржевых торгов производными финансовыми инструментами с оригинальной системой портфельного маржирования и процедурой урегулирования разработана с целью обеспечения устойчивой работы не только в случае нормального, но и низколиквидного рынка. Один из простейших вариантов реализации системы основан на урегулировании ситуации при дефиците маржи путем управления портфелем *ассигнора*<sup>11</sup> при помощи фьючерсных сделок, оставляя опционные позиции неизменными. Таким образом, достигается устойчивость работы системы в условиях низкой ликвидности рынка, поскольку опционы обладают значительно меньшей ликвидностью по сравнению с фьючерсами.

Система предназначена для электронной формы организации биржевых торгов. Каждая новая заявка участника торгов проверяется в режиме реального времени на допустимость<sup>12</sup>: это означает, что с учетом всех активных заявок и текущего портфеля участника торгов исполнение какой-либо части заявок не может привести к возникновению *дефицита маржи*. Тем самым гарантируется, что дефицит маржи не может возникнуть между клиринговыми сессиями. Перестройка портфеля, связанная с исполнением заявки, приводит к перерасчету требований к депозитной марже и, возможно, к изменению количества средств на клиринговом счете. По окончании торговой сессии проводится клиринговая сессия, по итогам которой определяется расчетная цена (цена закрытия) основы<sup>13</sup>, эта цена используется для определения новых требований по депозитной марже. Во время клиринговой сессии могут быть изменены параметры системы, такие как, например, *дневные лимиты изменения фьючерсной цены*, которые также влияют на требования по депозитной марже участников рынка.

Дефицит маржи определяется у участников торгов по результатам клиринговой сессии и подлежит урегулированию, начиная со следующего торгового дня. Предлагаемая процедура урегулирования ситуации дефицита маржи у участника торгов — если участник не смог самостоятельно урегулировать ситуацию путем перестройки портфеля или внесения необходимых средств на клиринговый счет в установленный правилами биржи срок (обычно несколько часов после открытия торгов) — использует переход права на управление портфелем, состоящим из фьючерсов и опционов, к клиринговой организации. При этом управление портфелем заключается в проведении понижающих риск портфеля корректирующих операций с фьючерсами от имени и по поручению участника рынка по алгоритму, заранее и полностью описанному в правилах клиринга центрального контрагента. Ситуация с дефицитом маржи ассигнора может быть урегулирована в результате:

- 1) исполнения контрактов (возможно, с использованием средств резервного или гарантийного фонда);
- 2) полного закрытия позиций участника (возможно, с использованием капитала центрального контрагента и средств фонда солидарной ответственности членов клиринга);
- 3) частичного закрытия позиций участника, приводящего к устранению дефицита маржи;
- 4) устранения дефицита маржи в результате управления центральным контрагентом портфелем ассигнора или изменения параметров торговой системы, например дневных лимитов изменения цены;
- 5) внесения участником необходимых средств на клиринговый счет.

В случаях 3, 4 и 5 участнику клиринга, имевшему статус ассигнора, возвращается право на проведение операций со своим портфелем, начиная со следующего торгового дня.

Уровень депозитной маржи определяется исходя из оптимального управления портфелем ассигнора при помощи *фьючерсной коррекции* (заключения центральным контрагентом фьючерсных контрактов от имени и по поручению ассигнора) без изменения его опционных позиций<sup>14</sup>. Это — одно из существенных отличий от систем типа SPAN, поведение которых можно назвать

<sup>11</sup> Данный термин является введенным нами неологизмом (от англ. assignor).

<sup>12</sup> В таком режиме в настоящее время работает торговая система на срочном рынке Московской биржи.

<sup>13</sup> На английском языке underlying — базовый актив, или ценовой индекс.

<sup>14</sup> Пример формализации задачи для случая европейских опционов приведен в следующем разделе.

близоруком, поскольку там учитываются сценарии поведения рынка только на день вперед. Предлагаемая процедура урегулирования ситуации с дефицитом маржи, в отличие от общепринятого способа управления, заключающегося в полной или частичной ликвидации портфеля, приводит к более щадящему, с точки зрения участников рынка, способу — к сохранению опционных позиций и поддержанию сбалансированных портфелей с точки зрения их риска. Для того чтобы осуществить корректирующее управление портфелем ассигнора, необходимо рассчитать число длинных или коротких фьючерсных позиций, которые необходимо открыть за торговый день. При этом заключение этих контрактов целесообразно производить постепенно, небольшими порциями, чтобы минимизировать влияние на формирование рыночных цен.

Для обеспечения системной устойчивости рынка способ определения уровня депозитной маржи должен удовлетворять *принципу децентрализации*, что означает выполнение свойства субаддитивности требуемого обеспечения для портфелей из опционов и фьючерсов, а это обеспечивает конструкция предлагаемой системы. При этом к брокерам должно применяться правило, обязывающее их требовать от своих клиентов депозитной маржи в размере не ниже уровня, устанавливаемого системой маржирования клиринговой организации (обычно такое правило устанавливает регулятор рынка<sup>15</sup>). Члены клиринга, которые имеют клиентов, т.е. выполняют брокерские функции, в случае возникновения дефицита маржи у клиента, когда клиент не урегулирует данную ситуацию в течение времени, отведенного правилами клиринга, обязаны открыть клиенту *ассигнорский торговый счет* и *ассигнорский клиринговый счет*, на которые переводятся соответственно его позиции и его средства. Для каждого такого клиента открываются отдельные счета, т.е. соблюдается принцип сегрегации счетов с целью защиты клиентских средств. Далее центральный контрагент производит с этими клиентскими счетами такие же действия, как и со счетами ассигнора, являющегося членом клиринга.

При наличии лимитов изменения базового актива возможен гарантированный (безрисковый) вариант системы, который обеспечивает покрытие обязательств участников рынка при всех сценариях поведения рынка, включая полную потерю ликвидности. Разумеется, это подразумевает высокий уровень депозитной маржи, возможно, неприемлемый для участников клиринга. А это означает полное отсутствие рыночных и кредитных рисков для центрального контрагента и участников рынка<sup>16</sup>. При такой конструкции капитал центрального контрагента и фонд солидарной ответственности членов клиринга покрывают лишь операционный риск.

Другой вариант предлагаемой системы отвечает случаю, когда центральный контрагент принимает часть рисков на себя. При дефолте участника клиринга покрытие его обязательств может производиться с частичным использованием капитала центрального контрагента и фонда солидарной ответственности членов клиринга. Достоинство предлагаемой в (Смирнов и др., 2004) системы состоит в том, что сценарии неполного покрытия могут быть описаны конструктивно, т.е. центральный контрагент имеет возможность осознанно принимать риски, а также регулировать их путем изменения параметров системы.

В зависимости от выбора конкретных спецификаций опционов (американского или европейского типа, расчетные или поставочные, *традиционное маржирование опционов* или *фьючерсный стиль маржирования опционов*), а также в зависимости от наличия или отсутствия лимитов на дневное изменение фьючерсных цен возможны различные варианты реализации системы.

Хеджирующая (корректирующая) стратегия системы маржирования в (Смирнов и др., 2004) может быть встроена в стандартную процедуру клиринга различными способами. Так, например, для одного такого типа встраивания предлагается выделение этапа корректирующего управления портфелем участника в течение заранее заданного срока, если сам участник не смог вовремя урегулировать ситуацию дефицита маржи. Если в течение этого срока корректирующее управление позволило устранить дефицит, а срок исполнения еще не наступил, портфель возвращается участнику. В противном случае участник меняет статус с ассигнора на дефолтера, а портфель безвозвратно переходит к клиринговой организации. Клиринговая организация проводит процедуру финализации<sup>17</sup>, которая отличается от корректирующего управления тем,

<sup>15</sup> См., например, (IOSCO, 1996).

<sup>16</sup> Отметим, что исторически система, действовавшая с ноября 2000 г. на Московской межбанковской валютной бирже (ММВБ), являлась гарантированной, однако обеспечивала торговлю только фьючерсами.

<sup>17</sup> Терминология наша.

что хеджирование производится всеми имеющимися на рынке средствами (в том числе путем проведения сделок с опционами, снижающими риск портфеля) с целью минимизировать функцию выплат портфеля в течение всего срока, оставшегося до исполнения или полного закрытия позиций портфеля. В случае корректирующего управления используются наиболее ликвидные инструменты — фьючерсы, а целью является устранение дефицита маржи. Процедуру можно упростить, оставив только финализацию, т.е. если участник не смог устранить дефицит самостоятельно в отведенный срок, он сразу становится дефолтером.

## 2. МАРЖИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФИНАНСОВОГО РЫНКА С ДЕТЕРМИНИСТСКОЙ ЭВОЛЮЦИЕЙ ЦЕН

Предположим, что клиринговая сессия производится один раз в день<sup>18</sup> и в системе маржирования предписано проведение фьючерсных корректирующих сделок один раз в каждый торговый день, вплоть до экспирации, одинаковой для всех финансовых инструментов в портфеле, а срок корректирующего управления равен числу дней до экспирации.

Опишем метод расчета маржи на примере рынка европейских опционов на фьючерсы (европейский опцион характеризуется тем, что объем выплат определяется на основе цены закрытия дня исполнения данной серии опционов). На движение фьючерсных цен в модели наложены ограничения: изменение цены внутри дня не должно выводить цену за пределы коридора — интервала  $I(x) = [x - \Delta^d, x + \Delta^u]$ , где  $x$  — цена закрытия предыдущего торгового дня;  $\Delta^d > 0$  и  $\Delta^u > 0$  — нижний и верхний лимиты изменения цен фьючерсной цены соответственно. Размеры этих лимитов являются параметрами системы, они, в частности, могут зависеть от конкретного инструмента и от предыстории цен. Как правило, лимиты изменения фьючерсной цены устанавливаются в виде определенного процента от цены закрытия предыдущего торгового дня. Предположим в нашей модели, что фьючерсные цены положительные,  $\Delta^d = \alpha x$ , а  $\Delta^u = \beta x$ , где  $0 < \alpha < 1$  и  $0 < \beta < 1$  (на практике  $\alpha$  и  $\beta$  бывают порядка нескольких процентов, причем, поскольку опасность падения цен обычно сильнее опасений их роста, разумно выбрать  $\alpha \geq \beta$ ). Случаи потери ликвидности фьючерсного рынка следует относить к крайне маловероятным и экстремальным, так что для покрытия убытков, если они возникают, разумно использовать средства дефолтного эшелонирования, начиная с капитала центрального контрагента. При условии ликвидности фьючерсного рынка строится гарантированная система маржирования, при которой взимаемая с участника клиринга маржа гарантированно покрывает возможные потери центрального контрагента при неисполнении этим участником своих обязательств. Это достигается за счет исполнения центральным контрагентом предписанной процедуры урегулирования ситуации с дефицитом маржи и непосредственной связи требуемого уровня депозитной маржи с этой процедурой.

Предположим, что корректирующая фьючерсная сделка, производящаяся один раз в день, происходит по цене, входящей в интервал  $I(x)$ . Однако точное значение этой цены заранее неизвестно, так что в модели возникают косвенные транзакционные издержки, описывающие наиболее неблагоприятный сценарий при совершении этой сделки. С учетом этого обстоятельства введем целевую функцию  $V_t(x, k)$  — неотрицательное количество денежных средств на счете в момент времени  $t$ , необходимых для покрытия потенциальных потерь портфеля участника, для которого будут проводиться корректирующие сделки раз в день вплоть до исполнения. Отметим, что целевая функция зависит не только от цены  $x$ , но и от числа фьючерсов<sup>19</sup>  $k$  в корректируемом портфеле по итогам закрытия предыдущего торгового дня.

Рыночный риск портфеля из опционов европейского типа и фьючерсов определяется функцией выплат по портфелю  $f(x)$  — размером средств, который получает (в случае положительного значения) или выплачивает (в случае отрицательного значения) владелец данного портфеля (в предположении его неизменности) в момент исполнения через срок  $T$ , в зависимости от цены закрытия  $x$  основы (фьючерсной цены) в этот момент. Предполагается, что эта функция удовлетворяет условию Липшица<sup>20</sup>.

<sup>18</sup> На самом деле клиринговая сессия может проводиться несколько раз в день, и это особенно оправдано в случае высокой волатильности рынка.

<sup>19</sup> Поскольку от числа корректирующих фьючерсов в портфеле зависят косвенные транзакционные издержки.

<sup>20</sup> Что на самом деле вполне естественно, так как в случае комбинации опционов call и put (с одним сроком экспирации и разными ценами исполнения) функция будет кусочно-линейной с конечным числом интервалов линейности.

В терминальный момент должно выполняться  $V_T(x, k) \geq -f(x)$ , так что положим

$$V_T(x, k) = (-f(x))^+ = (f(x))^-; \quad (1)$$

здесь и далее используются  $a^+ = \max(0, a)$  и  $a^- = \max(0, -a)$ , для  $a \in \mathbb{R}$ .

Для получения рекуррентных соотношений для целевой функции предположим, что на шаге  $t < T$  после клиринговой сессии на счете имеется (неотрицательная) сумма и открыта позиция в размере  $k$  фьючерсов (а это — отрицательное число для коротких позиций и положительное — для длинных). Если корректирующая фьючерсная сделка покупки/продажи фьючерсов происходит по цене  $y$ , входящей в интервал —  $I(x)$ , а цена закрытия следующего дня ( $t+1$ ) также входит в интервал  $I(x)$  и равна  $z$ , то вариационная маржа составит величину  $k(z-x) + m(z-y)$ . Для покрытия потерь в терминальный момент необходимо, чтобы  $v + k(z-x) + m(z-y) \geq V_{t+1}(z, k+m)$  для любых  $y \in I(x)$  и  $z \in I(x)$ . При этом  $m$ , объем сделки (со знаком), можно выбрать оптимальным образом, так что

$$V_t(x, k) = \min_{m \in \mathbb{Z}} \max_{z \in I(x)} \max_{y \in I(x)} [V_{t+1}(z, k+m) + kx - (k+m)z + my]^+; \quad (2)$$

здесь и далее  $\mathbb{Z}$  обозначает множество всех целых чисел. Нетрудно упростить формулу (2), явно находя максимум по  $y$  выражения  $my$ , который равен

$$\max_{y \in I(x)} my = mx + (m^- \Delta^d + m^+ \Delta^u) = mx + (\alpha m^- + \beta m^+)x = mx + c(x, m). \quad (3)$$

С экономической точки зрения неотрицательная величина

$$c(x, m) = m^- \Delta^d + m^+ \Delta^u = (\alpha m^- + \beta m^+)x$$

представляет собой косвенные транзакционные издержки<sup>21</sup>, максимально возможные за торговый день при сделанных предположениях относительно эволюции фьючерсной цены. Используя (3), рекуррентные соотношения для целевой функции приобретают вид следующих уравнений Беллмана—Айзкса<sup>22</sup>:

$$V_t(x, k) = \min_{m \in \mathbb{Z}} \max_{z \in I(x)} [V_{t+1}(z, k+m) - (k+m)(z-x) + c(x, m)]^+, \quad t = T-1, \dots, 0. \quad (4)$$

В действительности нет необходимости брать положительную часть от квадратных скобок в (4), т.е. для целевой функции имеют место уравнения

$$V_T(x, k) = (f(x))^- ,$$

$$V_t(x, k) = \min_{m \in \mathbb{Z}} \max_{z \in I(x)} [V_{t+1}(z, k+m) - (k+m)(z-x) + c(x, m)], \quad t = T-1, \dots, 0. \quad (5)$$

В самом деле,  $V_T(x, k) = (f(x))^- \geq 0$ , а для  $t < T$ , предполагая, что в (5) выполняется  $V_{t+1}(x, k) \geq 0$ , и, учитывая неравенство

$$\begin{aligned} & \max_{z \in I(x)} [V_{t+1}(z, k+m) - (k+m)(z-x) + c(x, m)] \geq \\ & \geq \max_{z \in I(x)} [-(k+m)(z-x) + c(x, m)] = c(x, -(k+m)) + c(x, m), \end{aligned} \quad (6)$$

получаем, что для целевой функции  $V_t(x; k)$  выполняется неравенство

$$V_t(x, k) = \min_{m \in \mathbb{Z}} \max_{z \in I(x)} [V_{t+1}(z, k+m) - (k+m)(z-x) + c(x, m)] \geq 0. \quad (7)$$

С учетом (7), для целевой функции, определяемой уравнениями (5), имеют место рекуррентные уравнения (4), равносильные уравнениям (5). Уравнения (5) позволяют дать интерпретацию задаче фьючерсной коррекции как специальной задаче суперхеджирования<sup>23</sup> для европейского опциона с функцией выплат  $(f(x))^-$ , с транзакционными издержками  $c(x; m)$  и дискретной (целочисленной) стратегией хеджирования фьючерсами с нулевым числом фьючерсов в начальный момент, рассматривая количество средств на счете как безрисковый актив с торговым

<sup>21</sup> Более реалистичная модель определяла бы косвенные транзакционные издержки на основе книги заявок.

<sup>22</sup> Использование максимума, а не точной верхней грани, оправдано благодаря предположению о липшицевости функции  $f$ , так как в этом случае функции  $x \rightarrow V_t(x, k)$  также удовлетворяют условию Липшица; оценки констант Липшица для целевой функции получаются методом, сходным с опубликованным в статье (Smirnov, 2019), и будут приведены в последующей публикации.

<sup>23</sup> Для обусловленного обязательства (contingent claim), возникающего у продавца опциона, выплаты по которому определяются на основании эволюции цен определенных торгуемых активов, фьючерсов или рыночных индексов, суперхеджирующая (суперреплицирующая) стратегия проведения операций на соответствующем финансовом рынке (допустимая с учетом возможных торговых ограничений) позволяет полностью покрыть обязательства (в отличие от других видов хеджирования) при минимальном начальном капитале (премии, взимаемой с покупателя опциона), см., например, главу 7 в книге (Föllmer, Schied, 2016).

ограничением — запретом овердрафта. Имея решения уравнений (5) с терминальным условием (1), в качестве требуемого уровня депозитной маржи в текущий момент при фьючерсной цене для портфеля с функцией выплат  $f(x)$  через срок  $T$  можно выбрать величину

$$M(f, T, x_0) = V_0(x_0, 0). \tag{8}$$

При этом очевидно, что

$$M(f, T - s, x) = V_s(x, 0). \tag{9}$$

В работе (Artzner et al., 1999), где впервые были введены аксиомы показателя риска портфеля<sup>24</sup>, фигурирует аксиома субаддитивности, которую мы считаем основной, а с практической точки зрения — существенным требованием к системе маржирования, обеспечивающим корректность при маржировании нескольких клиентских портфелей, а также переносимость позиций несегрегированных портфелей (portability) в случае дефолта члена клиринга. Если обозначить через  $\varrho(V)$  неотрицательный показатель риска для текущей стоимости портфеля  $V$ , то принцип децентрализации, т.е. свойство субаддитивности, означает неравенство  $\varrho(V_1 + V_2) \leq \varrho(V_1) + \varrho(V_2)$ .

**Предложение 1.** *Требуемый уровень депозитной маржи удовлетворяет свойству субаддитивности, т.е.*

$$M(f_1 + f_2, T, x_0) \leq M(f_1, T, x_0) + M(f_2, T, x_0). \tag{10}$$

**Доказательство.** Установим более общее неравенство, из которого (10) вытекает по определению (8). Пусть  $V_t^i(x, k)$  — целевые функции, отвечающие портфелям с функциями выплат  $f_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ , где  $f_3 = f_1 + f_2$ , тогда

$$V_t^3(x, k_1 + k_2) \leq V_t^1(x, k_1) + V_t^2(x, k_2). \tag{11}$$

Покажем справедливость (11) по индукции. Для  $t = T$  это вытекает из (1) и неравенства  $(a + b)^- \leq (a)^- + (b)^-$ . Пусть (11) выполняется для  $t = T, \dots, s + 1$ , где  $s \in \{0, \dots, T - 1\}$ . Далее справедливо неравенство  $c(x, m_1 + m_2) \leq c(x, m_1) + c(x, m_2)$ ; с использованием этого неравенства и индуктивного предположения имеем

$$\begin{aligned} V_s^3(x, k_1 + k_2) &= \min_{m_1, m_2 \in \mathbb{Z}} \max_{z \in I(x)} [V_{s+1}^3(x, k_1 + k_2 + m_1 + m_2) - \\ &\quad - (k_1 + k_2 + m_1 + m_2)(z - x) + c(x, m_1 + m_2)] \leq \min_{m_1, m_2 \in \mathbb{Z}} \{ \max_{z \in I(x)} [V_{s+1}^1(x, k_1 + m_1) - \\ &\quad - (k_1 + m_1)(z - x) + c(x, m_1)] + \max_{z \in I(x)} [V_{s+1}^2(x, k_2 + m_2) - (k_2 + m_2)(z - x) + c(x, m_2)] \} = \\ &= \min_{m_1 \in \mathbb{Z}} \max_{z \in I(x)} [V_{s+1}^1(x, k_1 + m_1) - (k_1 + m_1)(z - x) + c(x, m_1)] + \\ &\quad + \min_{m_2 \in \mathbb{Z}} \max_{z \in I(x)} [V_{s+1}^2(x, k_2 + m_2) - (k_2 + m_2)(z - x) + c(x, m_2)] = V_s^1(x, k_1) + V_s^2(x, k_2). \end{aligned}$$

Отметим, что свойство (11) имеет интересную экономическую интерпретацию, заключающуюся в возможности у центрального контрагента в его процедуре дефолт-менеджмента в случае нескольких ассигноров (с одинаковым сроком до исполнения опционов в их портфелях) использовать оптимальную стратегию коррекции совокупного портфеля всех таких ассигноров. Эта особенность системы маржирования будет продемонстрирована на модельном примере в последующей публикации.

Аксиома монотонности, означающая, что неравенство  $V_1 \leq V_2$  влечет  $\varrho(V_1) \geq \varrho(V_2)$ , также представляется разумным требованием к системе маржирования и выполняется в нашем случае. Пусть  $V_t^i(x, k)$  — целевые функции, отвечающие портфелям с функциями выплат  $f_i$ ,  $i = 1, 2$  и  $f_1 \leq f_2$ . Поскольку функция  $u \mapsto (u)^-$  является монотонно невозрастающей, то  $V_t^1(x, k) \geq V_t^2(x, k)$ . По индукции, непосредственно из соотношений (5), получаем неравенства  $V_t^1(x, k) \geq V_t^2(x, k)$  для  $t = T - 1, \dots, 0$ , откуда  $M(f_1, T, x_0) \geq M(f_2, T, x_0)$ . Что касается свойства положительной однородности, т.е.  $\varrho(\lambda V) = \lambda \varrho(V)$ ,  $\lambda \geq 0$ , то, по нашему мнению, оно не является естественным с экономической точки зрения и вполне может не выполняться для малых портфелей<sup>25</sup>. В нашем случае это связано с целочисленными позициями по фьючерсам. Если показатель риска  $\varrho$  удовлетворяет свойству субаддитивности, то последовательность  $\varrho(nV) / n$ ,  $n = 1, 2, \dots$  сходится по лемме Фекете (Fekete, 1923) к пределу  $\varrho^*(V) = \inf\{\varrho(nV) / n, n = 1, 2, \dots\}$ ; для  $\varrho^*(\cdot)$ , очевидно, выполняется свойство

<sup>24</sup> Также называемого *мерой риска* (risk measure).

<sup>25</sup> При этом на типичном срочном (биржевом) рынке преобладают малые или средние портфели.

субаддитивности. Если, кроме того, функция  $\lambda \mapsto \varrho(\lambda V)$ ,  $\lambda \geq 0$  является монотонно неубывающей<sup>26</sup>, то  $\varrho(\lambda V) / \lambda \rightarrow \rho^*(V)$  при  $\lambda \rightarrow \infty$ , причем  $\varrho^*(\lambda V) = \lambda \varrho^*(V)$  для всех  $\lambda \geq 0$ , т.е. свойство положительной однородности для  $\varrho^*(\cdot)$  выполняется. Таким образом, для больших портфелей можно говорить об асимптотической положительной однородности  $\varrho(\cdot)$ ; при этом  $\varrho(\cdot) \geq \varrho^*(\cdot)$ .

В нашем случае в силу неотрицательности и положительной однородности функции  $u \mapsto (u)^-$  функция  $\lambda \mapsto M(\lambda f, T, x_0)$ ,  $\lambda \geq 0$  является монотонно неубывающей, что проверяется по индукции аналогично приведенным выше рассуждениям, касающимся свойства монотонности. При этом, если бы параметры  $m$  и  $k$  принимали не целочисленные, а вещественные значения, то свойство положительной однородности, как нетрудно видеть, было бы выполнено. Поэтому в рамках нашей модели эффект асимптотической положительной однородности можно интерпретировать как снижение роли гранулированности для большого портфеля.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Идея изобретения (Смирнов и др., 2004), описывающая способ определения уровня обеспечения и способ урегулирования ситуации с дефицитом маржи, основанного на фьючерсной коррекции, проиллюстрирована на конкретной реализации. Математическая модель определения требуемого уровня депозитной маржи строится по аналогии с идеологией гарантированного детерминистского подхода к суперхеджированию, описанной в работе (Смирнов, 2018): из экономического смысла задачи выводятся уравнения Беллмана–Айзека. Доказан ряд свойств модели, естественных с экономической точки зрения, в частности субаддитивность маржи.

В следующей публикации будут представлены результаты численного эксперимента, подтверждающие эффективность предлагаемого подхода к маржированию.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Долматов А.С. (2007). Математические методы риск-менеджмента. М.: Экзамен. [Dolmatov A.S. (2007). *Mathematical methods in risk-management*. Moscow: Ekzamen (in Russian).]
- Майоров С. (2015). Клиринг на финансовых рынках. М.: Статистика России. [Mayorov S. (2015). *Clearing in the financial markets*. Moscow: Statistika Rossii (in Russian).]
- Смирнов С.Н. (2018). Гарантированный детерминистский подход к суперхеджированию: модель рынка, торговые ограничения и уравнения Беллмана–Айзека // *Математическая теория игр и ее приложения*. Т. 10. № 4. С. 59–99. [Smirnov S.N. (2018). A guaranteed deterministic approach to superhedging: financial market model, trading constraints and Bellman–Isaacs equations. *Mathematical Game Theory and Its Applications*, 10, 4, 59–99 (in Russian).]
- Смирнов С.Н., Захаров А.В., Полимати́ди И.В., Балабушкин А.Н. (2004). Способ электронной биржевой торговли производными финансовыми инструментами, способы определения уровня депозитной маржи, способы урегулирования ситуации с дефицитом маржи. Патент РФ № 2226714. [Smirnov S.N., Zakharov A.V., Polimatidi I.V., Balabushkin A.N. (2004). *Method of electronic exchange trading in derivative financial instruments, methods for determining the level of deposit margin, methods for resolving margin deficit*. Patent of Russian Federation No. 2226714 (in Russian).]
- Artzner P., Delbaen F., Eber J.-M., Heath D. (1999). Coherent Measures of Risk. *Mathematical Finance*, 9, 3, 203–228.
- Avellaneda M., Cont R. (2013). Close-out risk evaluation (CORE): A new risk management approach for central counterparties. *SSRN Electronic Journal*.
- Bernhard P., Engwerda J.C., Roorda B. et al. (2013). *The interval market model in mathematical finance: Game-theoretic methods*. N.Y.: Springer.
- Burzoni M., Frittelli M., Hou Z., Maggis M., Obloj J. (2019). Pointwise arbitrage pricing theory in discrete time. *Mathematics of Operations Research*, 44, 3, 1034–1057.
- Capponi A., Cheng W.A., Sethuraman J. (2017). *Clearinghouse default waterfalls: Risk-sharing, incentives, and systemic risk*. Available at: <https://ssrn.com/abstract=2930099>
- Carassus L., Oblój J., Wiesel J. (2019). The robust superreplication problem: A dynamic approach. *SIAM Journal on Financial Mathematics*, 10, 4, 907–941.
- Cont R. (2015). The end of the waterfall: Default resources of central counterparties. *Journal of Risk Management in Financial Institutions*, 8, 4, 365–389.

<sup>26</sup> Доказательство асимптотической линейности субаддитивной монотонно невозрастающей функции см., например, в (Смирнов, 2018, п. 6, замечание 14.1, с. 275, 276), включая комментарий в сноске 16.

- CPMI–IOSCO (2017). *Resilience of central counterparties (CCPs): Further guidance on the PFMI*. Available at: <https://www.bis.org/cpmi/publ/d163.pdf>
- CPSS, IOSCO (2012). *Principles for financial market infrastructures*. Available at: <https://www.iosco.org/library/pubdocs/pdf/IOSCOPD396.pdf>
- Fekete M. (1923). Über die Verteilung der Wurzeln bei gewissen algebraischen Gleichungen mit ganzzahligen Koeffizienten. *Mathematische Zeitschrift*, 17, 1, 228–249.
- Föllmer H., Schied A. (2016). *Stochastic finance. An introduction in discrete time*. 4th edition. N.Y.: Walter de Gruyter.
- IOSCO (1996). *Report on margin*. Available at: <https://www.iosco.org/library/pubdocs/pdf/IOSCOPD50.pdf>
- ISDA (2019). *CCP best practices*. Available at: <https://www.isda.org/2019/01/24/ccp-best-practices/>
- Smirnov S.N. (2019). Guaranteed deterministic approach to superhedging: Lipschitz properties of solutions of the Bellman–Isaacs equations. In: L.A. Petrosyan, V.V. Mazalov, N.A. Zenkevich “*Frontiers of Dynamic Games*”. Berlin: Springer, 267–288.
- Smirnov S.N. (2021). A guaranteed deterministic approach to superhedging: Financial market model, trading constraints and Bellman–Isaacs equations. *Automation and Remote Control*, 82, 4, 722–743.
- Vicente L.A.B.G. (2012). *Risk assessment processes for closeout of a portfolio*. Google patents, US Patent App. 13/462,091.
- Vicente L.A.B.G., Cerezetti F., Faria S. de, Iwashita T., Pereira O. (2015). Managing risk in multi-asset class, multimarket central counterparties: The CORE approach. *Journal of Banking & Finance*, 51, 119–130.

## A guaranteed deterministic approach to margining on exchange-traded derivatives market

© 2021 S.N. Smirnov, I.V. Polimatidi

**S.N. Smirnov,**

*Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; e-mail: s.n.smirnov@gmail.com*

**I.V. Polimatidi,**

*UniCredit Bank Russia, Moscow, Russia; e-mail: ipolimatidi@gmail.com*

Received 27.08.2020

*The authors are grateful to the colleagues from CME for organizing the Seminar in 2002 to present our margining methods. We thank Luicie Vicente for effective discussion.*

*This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 19-01-00613a).*

**Abstract.** The article discusses a modern approach to risk management of the central counterparty, primarily the issue of the sufficiency of its financial resources, including the provision of clearing members, the capital of the central counterparty and the mutual liability fund. The main subject is the margining system, responsible for an adequate level of collateral for clearing members, that plays an important role in risk management. The regulation that is currently accepted in international practice is critically analyzed. A system of margining a portfolio of options and futures in the derivatives market is described, with default management based on the methodology proposed by a number of inventors, registered in 2004. For this system, a mathematical model of margining (i.e. determining the required level of the collateral) is built. The main idea is that the measurement of portfolio risk for margining purposes should take into account the default management method, and instead of the simple procedure of liquidating the defaulted positions, the central counterparty should use the default portfolio management. The novelty of this article is in the use of the ideology of a guaranteed deterministic approach to superhedging, proposed by one author in a number of publications and based on a game-theoretic interpretation. The Bellman–Isaacs equations for the required margin level are directly derived from the economic meaning of the problem. The properties of these equations are studied, in particular, the property of subadditivity of the portfolio margin is proved, which is an important requirement for the margin system from an economic point of view. The equations are reduced to a form convenient for calculations, allowing to carry out numerical experiments; the results of analysis of the margin system’s performance will be presented in a subsequent publication.

**Keywords:** central counterparty, clearing, default management, capital, margining, option, futures, Bellman–Isaacs equations, subadditivity of portfolio margin.

**Classification JEL:** C61, C63, G23.

**DOI:** 10.31857/S042473880014918-8

---

---

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

---

---

**Опционное хеджирование фондовых индексов:  
преимущества сигналов фундаментального и технического анализов**

© 2021 г. Т.В. Теплова, Т.В. Соколова, Д.И. Лопушанский

**Т.В. Теплова,**

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

**Т.В. Соколова,**

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

**Д.И. Лопушанский,**

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

Поступила в редакцию 03.06.2020

*Статья подготовлена в ходе исследования в рамках Программы фундаментальных исследований Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ).*

**Аннотация.** Работа посвящена выявлению страновых особенностей в хеджирующих стратегиях для фондовых индексов. Предложена авторская методика оптимизации параметров хеджирования (точек входа и выхода, тип опционной стратегии) на базе синтеза показателей технического (ТА) и фундаментального анализов (ФА). Страновые различия продемонстрированы для 20 фондовых индексов на периоде с 1980 по 2020 г. Методология исследования — оптимизация параметров хеджирующих стратегий по каждой стране на обучающей выборке с последующей проверкой на тестовой выборке. Максимизируется коэффициент Шарпа (КШ). Оригинальность работы состоит в модельных построениях для отсутствующих рядов данных (фьючерсов на индекс и опционов пут) и тестировании как на исторических, так и симулированных данных при двух различных предположениях о поведении цены базового актива — модели случайного блуждания и марковских переключений режимов волатильности. По каждому страновому индексу перебирается свыше 18 000 комбинаций параметров. Исследование показало, что именно сочетание ФА и ТА дает лучший результат хеджирования опционами. Выявлены страновые особенности в предпочтении показателей ФА и ТА, а также в использовании опционных стратегий. Гипотеза случайного блуждания получила дополнительную поддержку для рынка США. В ситуации коронакризиса предлагаемая методика позволяет эффективно захеджировать риски просадки.

**Ключевые слова:** хеджирование; фундаментальный анализ; технический анализ; фондовые индексы; выбор времени хеджирования; опционные стратегии; развитые рынки; развивающиеся рынки капитала.

**Классификация JEL:** G11, G17.

**DOI:** 10.31857/S042473880014919-9

## 1. ВВЕДЕНИЕ, ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И ГИПОТЕЗЫ

События февраля–марта 2020 г. на фондовом рынке показали, что даже при сверхмягкой денежной политике, которая должна обеспечивать рост цен различных классов активов, наблюдались глубокие, хотя и краткосрочные, падения цен. Спустя более 10 лет практически непрерывного роста на рынках акций снижение индекса S&P 500 составило более 30% за очень короткий период (менее половины месяца). Страновые индексы развивающихся стран демонстрировали еще более глубокие просадки. Вопросы хеджирования на рынке акций остаются актуальными.

Цель нашей работы — предложить частному страновому инвестору методику применения стратегии хеджирования на синтезе сигналов фундаментального анализа (ФА) и технического анализа (ТА). Базовые предположения: частный инвестор снижает риск путем диверсификации через инвестирование в фондовый индекс и хеджирует снижения цены индекса покупкой пут

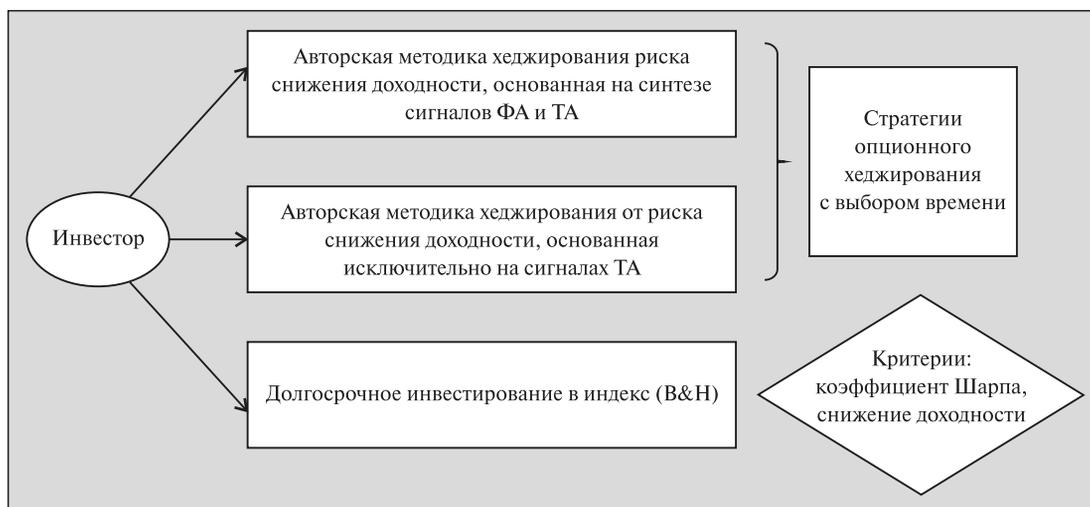


Рис. 1. Стратегии выбора времени для опционного хеджирования в сопоставлении с V&H

опциона или применением более сложных опционных стратегий. Для удешевления инвестор покупает фьючерс на индекс<sup>1</sup> и сопровождает хеджирование выбором времени открытия и закрытия позиций — авторская методика позволяет получить для каждого странового индекса точки входа и выхода по сигналам на синтезе ТА и ФА. В предыдущих исследованиях применялись либо методы ТА (Park, Irwin, 2007; Pistole, Metghalchi, 2010; Smith et al., 2016), либо ФА (Goodman, Neamtiu, Zhang, 2018) по отдельности.

Мы эмпирически тестируем гипотезу о том, что авторские стратегии опционного хеджирования с выбором времени для совершения сделок превосходят стратегию «купи и держи» (V&H, buy and hold) по критерию «риск—доходность».

Методология нашего исследования заключается в следующем: для каждого рынка (фондового индекса) мы сопоставляем инвестиционные стратегии через перебор их параметров на обучающей выборке. С максимизацией коэффициента Шарпа (КШ) варьируют параметры: 1) сигналы показателей ФА, 2) периоды скользящих средних по показателям ТА, 3) типы опционных стратегий. Достоинством нашей работы является перебор значительного числа стратегий: для каждого индекса проведен расчет по 18 352 комбинациям параметров. Для доказательства преимуществ оптимизационной стратегии мы сопоставляем ее со стратегией долгосрочного инвестирования «купи и держи» (V&H, рис. 1).

Так как параметры инвестиционной стратегии оптимизируются для каждого рынка на обучающей выборке (по историческим данным), то проверкой является оценка по каждому страновому индексу двух характеристик оптимальной стратегии на тестовой выборке: КШ и снижения доходности (см. рис. 1). В рамках проверки устойчивости полученных результатов мы также проводим имитационное моделирование динамики индекса, тестируя стратегию с оптимальными параметрами на симулированных данных.

Так как инвестор не имеет возможности купить непосредственно страновой индекс, то для имитации инвестирования мы рассматриваем покупку фьючерса на индекс. Так как не для всех рынков имеются длинные исторические ряды фьючерсов и опционных контрактов, мы моделируем эти ряды цен.

В большинстве предыдущих работ для обоснования выгод хеджирующих стратегий авторы концентрировались на развитых рынках (Koullis, Kaimakamis, Veneki, 2018). В нашей работе методика хеджирования тестируется на рынках 20 стран, 10 из которых являются развивающимися. Период исследования — с 1980 по 2018 г. и квартал I 2020 г.

Мы приходим к выводу, что предложенная авторская методика оптимизации параметров стратегии опционного хеджирования, основанная на синтезе ФА и ТА, позволяет получить

<sup>1</sup> На российском рынке управляющие активами (например, ИК «Алго Капитал») также применяют стратегии с покупкой фьючерсов на индексы и акции.

стратегию инвестирования, которая минимизирует просадки и превосходит стратегию V&N для всех рынков (индексов). На тестовой выборке разработанная нами стратегия превосходит V&N для большей части развитых и всех развивающихся рынков.

Проверка устойчивости оптимизированных параметров стратегии через имитационное моделирование показала, что при подчинении поведения логарифмов значений индексов случайному блужданию результат инвестирования не ухудшается (ни по КШ, ни по падению доходности). Вероятностное распределение КШ на данных по имитационной модели переключения режимов более близко к значениям по историческим данным.

Для всех рынков временной период тестовой выборки был закончен в 2018 г. Для двух рынков — США и РФ — было проведено дополнительное тестирование по кварталу I 2020 г., когда на глобальных рынках капитала наблюдались кризисные явления.

Диверсификация и хеджирование — базовые приемы снижения риска на финансовых рынках. Диверсификация реализована в нашей работе через инвестирование в широкие портфели — страновые фондовые индексы. Хеджирование для частного инвестора недешевый маневр, важным вопросом оценки хеджирующих стратегий являются метрики оценки эффективности. Выбор оптимизируемого параметра традиционно опирается на предпочтения инвесторов (классы инвесторов). Возможными вариантами являются: снижение волатильности результатов по портфелю (Koulis et al., 2018); снижение максимального размера убытков (Strub, 2016); увеличение КШ (Moosa, Burns, 2014). В русле работы (Moosa, Burns, 2014) наша методика предполагает максимизацию КШ при принятии безрисковой ставки на нулевом уровне<sup>2</sup>. Оптимизация параметров стратегии хеджирования построена в нашей методике на максимуме КШ.

Опционы имеют преимущества над фьючерсными контрактами по следующим соображениям (Bai, Pan, Liu, 2019): 1) опционы являются сравнительно недорогим инструментом, 2) опционы разнообразны для одного базового актива — они различаются страйками и датой исполнения. В выборку 20 рынков включены 10 развивающихся, их отбор проводился по показателям ликвидности и волатильности. Мы отобрали рынки, базируясь на работе (Kang, Zhang, 2014).

Ключевым элементом авторской хеджирующей стратегии является синтез показателей ФА и ТА, которые определяют моменты покупки и продажи опционных стратегий. Относительно сигналов для выбора времени совершения сделок финансовая экономика не дает однозначного ответа: с одной стороны, исторически это решение увязывается с показателем ТА и демонстрирует хорошие результаты (Smith et al., 2016), с другой стороны, гипотеза эффективного рынка отрицает возможность применения показателей по историческим данным для систематического обыгрывания рынка. В работе (Park, Irwin, 2007) на основе обзора литературы сделан вывод, что у показателей ТА есть потенциал для защиты капитала инвестора от серьезных потерь на рынке. В авторской методике используются следующие мультипликаторы ФА по индексу: отношение цены акции к прибыли на акцию (P/E), отношение рыночной цены акции к ее балансовому показателю (P/B), отношение цены к выручке на одну акцию (P/S). Оптимизация параметров в рамках методологии позволяет выявить, во-первых, наиболее подходящий мультипликатор для определенного рынка (странового индекса), а во-вторых, — его оптимальный уровень, когда этот рынок рассматривается как переоцененный.

Для выявления переоцененности рынка опционная стратегия базируется на показателях ФА: превышение рыночным мультипликатором критического уровня рассматривается как сигнал открыть хеджирующую (опционную) стратегию. Заметим, что критический уровень является динамичной оценкой и должен меняться со временем в связи с изменением макроэкономической ситуации и подвижках в монетарной политике.

**Гипотеза 1.** Выбор времени начала опционной стратегии на основе синтеза сигналов ФА и ТА позволяет хеджировать риски падения фондового индекса и обыграть стратегию V&N по критерию «риск — доходность».

**Гипотеза 2.** Синтез сигналов ФА и ТА позволяет получить выигрыш по сравнению со стратегией, построенной исключительно на ТА (по критерию «риск — доходность»).

<sup>2</sup> По ряду рассматриваемых нами рынков доходность по государственным облигациям близка к нулю, на глобальном рынке фиксируются тенденции к понижению процентных ставок.

**Гипотеза 3.** Развитые и развивающиеся рынки капитала порождают для частного инвестора разные количественные выгоды хеджирования: хеджирующие стратегии более эффективны по соотношению «риск — доходность» на развивающихся рынках. Основанием для данной гипотезы служит присутствие дополнительных внутривнутристрановых рисков на развивающихся площадках, ограниченная ликвидность финансовых инструментов и более высокая волатильность доходности акций.

Первая и вторая гипотеза проверяются как на исторических данных по 20 странам, так и на симулированных данных для рынка США.

Оригинальность нашей работы и практическая значимость заключаются в выявлении оптимальной комбинации параметров хеджирующих опционных стратегий для каждой из 20 стран и в сопоставительном анализе результатов на выборках развитых и развивающихся рынков.

## 2. МЕТОДОЛОГИЯ ЭМПИРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Методология строится на: 1) выделении двух отрезков времени — обучающей и тестовой выборок по историческим данным; 2) симулированных данных фьючерсов на индекс, полученных на основе двух моделей — случайного блуждания и марковской модели с переключением режимов волатильности. Мы оптимизируем параметры стратегии хеджирования путем перебора различных комбинаций сигналов  $\Phi A$  и  $T A$  и типов опционных стратегий.

Авторское тестирование заключается в моделировании фьючерсных цен при предположении отсутствия арбитражных возможностей. В нашей работе предполагается, что даты погашения фьючерсов приходятся на март, июнь, сентябрь, декабрь.

### 2.1. Выбор периода хеджирования на основе сигналов $\Phi A$ и $T A$

Открытие и закрытие хеджирующих позиций осуществляется при поступлении сигналов по  $\Phi A$  и  $T A$ . Для каждого странового индекса оптимизируется как тип мультипликатора (один из трех:  $P/E$ ,  $P/S$ ,  $P/B$ ), так и его критический уровень. Базовая предпосылка — наличие эффекта возврата к среднему.

*Начало периода хеджирования.* Первый сигнал (необходимый, но недостаточный) для открытия опционной стратегии поступает на основе  $\Phi A$ , когда индекс становится выше «критического уровня» по мультипликатору. Для открытия собственно опционной стратегии нужен второй сигнал по  $T A$ . В нашей работе используются пять показателей  $T A$  на базе скользящих средних: 1)  $EMA$  (exponential moving average — экспоненциальное скользящее среднее); 2)  $AMA$  (adaptive moving average — адаптивное скользящее среднее); 3)  $MACD$  (moving average convergence divergence — схождение / расхождение скользящих средних); 4)  $AC$  (acceleration / deceleration — ускорение / замедление); 5)  $TRIX$  (triple moving average — тройное скользящее среднее).

Простейшим примером опционного хеджирования является покупка центрального опциона пут на фьючерс.

*Завершение периода хеджирования* строится на двух сигналах  $\Phi A$ : 1) значение по индексу оказывается ниже «критического уровня», 2) дополнительный сигнал по четырем типам (табл. 1).

Такой выбор условий для начала и завершения периода хеджирования, одновременно сочетающий сигналы от показателей  $\Phi A$  и  $T A$ , составляет оригинальность нашей работы. В проведенных ранее исследованиях мультипликаторы  $\Phi A$  использовались только для указаний на

**Таблица 1.** Четыре типа выбора завершения периода хеджирования для инвестора

Тип завершения периода хеджирования	Дополнительное условие для завершения периода хеджирования
1	Ждать до момента исполнения опционов после пересечения вниз показателями $\Phi A$ уровня переоцененности
2	Ждать 32 рабочих дня (примерно полтора месяца, что является половиной периода обращения опционов и фьючерсов) после пересечения вниз, затем продавать купленную опционную стратегию
3	Ждать до тех пор, пока мультипликатор не перестанет показывать нисходящую динамику за последний месяц
4	Ждать, пока показатели $T A$ не подадут сигнал на продажу хеджирующей стратегии, даже если мультипликатор спустился ниже уровня переоцененности

возможную коррекцию цен активов (Binswanger, 2004). В авторской методике для каждого из трех мультипликаторов ФА рассматриваются четыре типа закрытия хеджирующей позиции (12 комбинаций). Результаты сопоставляются со стратегией, где мультипликаторы ФА не задействованы, т.е. сигнал на применение опционной стратегии подается только показателями ТА.

Число наблюдаемых сигналов (от одного до пяти) диктует долю защиты инвестируемого капитала. Когда срабатывают все пять сигналов ТА, опционное хеджирование применяется к 100% капитала.

## 2.2. Моделирование цен опционов

Для хеджирования мы рассматриваем опционы европейского типа и up-front («с уплатой премии»). В основе нашего моделирования цен опционов лежит модель Блэка, для которой имеются доказательства работоспособности, даже при сопоставлении с более продвинутыми моделями (Сао, Bakshi, Chen, 2015). Модель имеет вид:

$$d_1 = (\ln(F_0 / K) + \sigma^2 / 2 \cdot (T - t)) / \sigma \sqrt{T - t}; \quad (1)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T - t}; \quad (2)$$

$$c_0 = e^{-r(T-t)} [F_0 N(d_1) - KN(d_2)]; \quad (3)$$

$$p_0 = e^{-r(T-t)} [KN(-d_2) - F_0 N(-d_1)], \quad (4)$$

где  $\sigma$  — волатильность базового актива;  $r$  — ставка, по которой предоставляются ссуды;  $N$  — кумулятивная функция нормального распределения;  $K$  — страйк по опциону.

Достоинство нашей работы — учет транзакционных издержек, опираясь на доски опционов, т.е. мы учитываем, что при покупке и продаже опционных стратегий полученная стоимость корректируется на определенный процент (bid-ask spread). Мы учитываем разный спред как по развитым и развивающимся рынкам, так и на разных страйках (чем дальше страйк от фьючерсной цены, тем больше спред). При тестировании комиссии брокера и биржи не учитывались, так как они варьируют и составляют малую долю от установленного bid-ask spread.

Модель Блэка обладает недостатком: при определении цены опционов на разных страйках получается, что опционы «вне денег» (немедленно исполнять которые невыгодно) значительно недооценены (Cont, Da Fonseca, 2002). Для восстановления точности оценки формулы Блэка рассчитывается вмененная волатильность (implied volatility). Получается, что опционы, находящиеся далеко «вне денег», торгуются под большую волатильность относительно опционов «в деньгах» (страйк по которым практически совпадает с ценой базового актива), формируя «улыбку волатильности» (volatility smile).

Данные вмененной волатильности сопряжены с проблемой моделирования поверхности волатильности. Даже если индексы волатильности рассчитаны с учетом данных по опционам «вне денег», то нет возможности обратно выразить отношения волатильности между страйками,

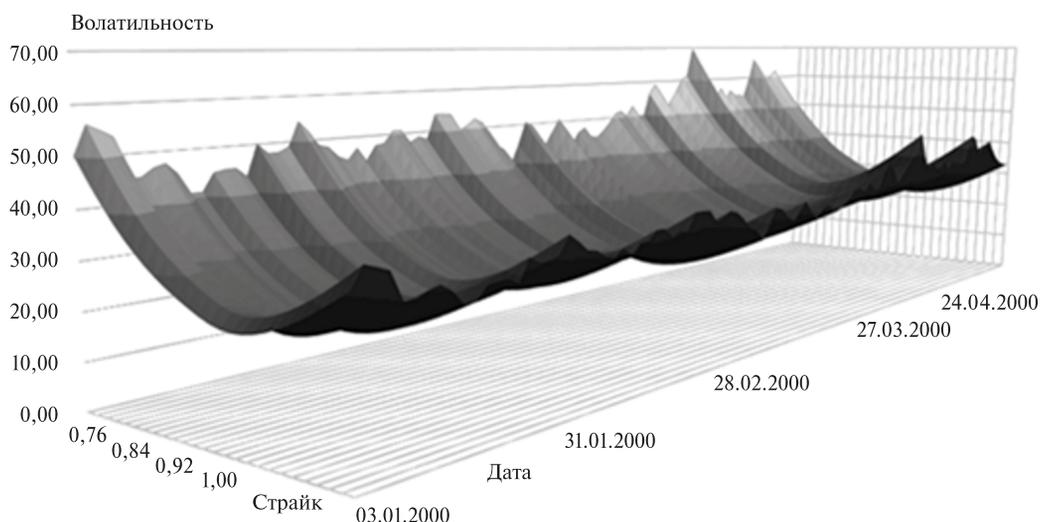


Рис. 2. Пример построения поверхности волатильности в рамках авторского исследования

поэтому сами значения индекса волатильности используются для восстановления цен центральных опционов. В нашей работе поверхности волатильности для каждого индекса оценены путем домножения вмененной волатильности для центрального страйка на среднее соотношение волатильности для каждого из используемых страйков. В Приложении в п. А<sup>3</sup> представлены множители для каждого страйка («100» — центральный страйк) по группам индексов. На рис. 2 представлен пример поверхности волатильности для индекса S&P 500.

Таким образом, на основе данных о вмененной волатильности по каждому страйку для модели Блэка нами получены цены опционов пут и колл для разных страйков с целью последующего моделирования опционных стратегий для каждого странового индекса.

### 2.3. Перебор параметров оптимальной торговой стратегии

Поиск оптимальной комбинации параметров проводится по следующим комбинациям:

1) три потенциальных уровня переоцененности рынка по ФА (на данных из обучающей выборки создается четыре равных промежутка, пять точек от минимума к максимуму, из которых выбираются три центральных, — это и есть потенциальные уровни переоцененности рынка);

2) 6–8 периодов скользящих средних для каждого из показателей ТА с шагом пять или десять дней (для показателя ЕМА найдено всего 28 комбинаций, так как там имеются два параметра, с которыми производится перебор значений: четыре периода для быстрой (краткосрочной) скользящей средней и семь периодов — для медленной (долгосрочной));

3) шесть опционных стратегий:

- покупка центральных опционов пут;
- покупка опционов пут «вне денег» (out-of-the-money, OTM) с шагом в 5% от центрального страйка;
- стрэнгл в 5% от центрального страйка, т.е. купленные OTM опционы колл и пут со страйками, на 5% отличающимися от текущей фьючерсной цены;
- стрэнгл в 10% от центрального страйка;
- бычий спред «около денег» (at-the-money, ATM) и 15% цены, т.е. купленный ATM пут и проданный пут с 15%-ной разницей от центрального страйка;
- бычий спреда ATM и 20, 5 и 15% от центрального страйка.

Всего для каждого странового индекса получается перебор из 18 352 комбинаций. В зависимости от страны длина обучающей выборки составляет от 7123 до 9357 наблюдений. Перебор параметров осуществляется для поиска такой оптимальной комбинации, которая максимизирует КШ на обучающей выборке.

### 2.4. Проверка оптимальной комбинации параметров на тестовой исторической выборке и симулированных данных

Следующим шагом является проверка по КШ построенных авторских стратегий для каждого странового индекса с оптимальной комбинацией параметров на тестовой выборке. Альтернативой принимается инвестирование в индекс.

Второе направление тестирования — по симулированным данным цен на фьючерсы мы оцениваем и сопоставляем средние и медианные значения распределений КШ с реальными историческими значениями, демонстрируемыми стратегией В&Н и двумя типами авторских стратегий (с синтезом сигналов ФА и ТА и с сигналами только ТА).

Так как цель хеджирования — минимизировать падение доходности, то по тестовой выборке для каждого странового индекса реализовано сопоставление авторской оптимальной стратегии со стратегией В&Н. Проведено сравнение стратегий с мультипликаторами ФА и без них в разрезе развитых и развивающихся рынков капитала (проверка гипотезы 2). Последним шагом тестирования является проверка устойчивости результатов на симулированных данных. В данной статье этот этап проверки продемонстрирован только для рынка США.

На этапе тестирования по симулированным данным мы сопоставляем две модели: случайного блуждания (как основной модели в рамках современной финансовой теории) и переключения

<sup>3</sup> Приложения п. А–Д представлены на сайте авторов: <https://fmlab.hse.ru/appendices>

режимов (как альтернативы случайному блужданию, которая опровергает информационную эффективность рынков). Модель случайного блуждания выглядит следующим образом (Fama, 1965):

$$p_t = p_{t-1} + \varepsilon_t, \quad e_t = \rho_t \sim N(\mu, \sigma^2), \quad (5)$$

где  $p_t$  — логарифм цены актива;  $\rho_t$  — логарифмическая доходность;  $\mu, \sigma^2$  — параметры нормального распределения, полученные на основе исторических данных.

Суть модели переключения режимов (Markov switching) заключается во введении нескольких режимов поведения цены (например, режимов роста и падения), сменяющих друг друга в случайном порядке (Hamilton, 1989):

$$\rho_t = \begin{cases} a_0 + b_0 \rho_{t-1} + \varepsilon_t, & s_t = 1; \\ a_1 + b_1 \rho_{t-1} + \xi_t, & s_t = 2, \end{cases} \quad (6)$$

где  $s_t$  — текущий режим;  $a_0, a_1, b_0, b_1$  — коэффициенты регрессии. Также модель позволяет получить матрицу переходов из одного режима в другой:

$$\begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{pmatrix}; \quad (7)$$

$$\begin{aligned} p_{11} &= (s_t = 1 | s_{t-1} = 1); & p_{12} &= (s_t = 2 | s_{t-1} = 1); \\ p_{21} &= (s_t = 1 | s_{t-1} = 2); & p_{22} &= (s_t = 2 | s_{t-1} = 2). \end{aligned} \quad (8)$$

Распределения полученных КШ на симулированных данных сравниваются с оценками стратегий на исторических данных. По соотношению полученных распределений и наблюдаемым данным можно судить как об эффективности стратегии в плане величины коэффициента Шарпа, так и о том, является ли случайное блуждание наиболее подходящей моделью поведения цен активов.

### 3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В нашей работе за основу взяты данные по индексам развитых и развивающихся стран. Разделение индексов по категориям соответствует классификации MSCI (Morgan Stanley Capital International). Выборка стран показана в Приложении, п. Б<sup>4</sup>. В Приложении в п. В и Г содержатся описательные статистики для 20 индексов. Анализируемый период: январь 1980 г. — декабрь 2018 г. и I квартал 2020 г. Выбор такого большого интервала позволяет охватить множество событий на финансовых рынках: «Черный понедельник» 1987 г., Азиатский кризис 1997–1998 гг., схлопывание пузыря «доткомов» 2000 г., мировой финансовый кризис 2008 г., европейский долговой кризис 2009–2013 гг.

В табл. 2 для учета транзакционных издержек представлены значения спредов (они прибавляются или отнимаются от теоретической цены в зависимости от того, производится покупка или продажа опционной стратегии).

Для оценки эффективности хеджирующей стратегии данные разбиты на обучающую (оцениваются оптимальные элементы дизайна стратегии) и тестовую выборки. Изначально разделение производится в пропорции 70 и 30% по ряду данных каждого странового индекса акций. Однако иногда получается так, что в обучающей выборке данных по индексу волатильности оказывается меньше, чем в тестовой (так происходит, если данных по волатильности значительно меньше, чем по динамике фондового индекса). В таких случаях производилось деление 50 на 50% по индексу волатильности. В Приложении, п. Б, указаны периоды для обучающих и тестовых выборок по странам.

Симулирование производится по параметрам динамики индекса S&P 500, так как именно для него имеется наибольшее число наблюдений на тестовой выборке.

**Таблица 2.** Значения спредов от теоретической цены опционов по группам рынков

Рынки	Страйк, % от фьючерсной цены									
	80	85	90	95	100	105	110	115	120	
Развитые рынки, %	10	5	2	1	1	1	2	5	10	
Развивающиеся рынки, %	15	5	2	1	1	3	10	20	25	

<sup>4</sup>Источник данных — Bloomberg.

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

## 4.1. Результаты на обучающей выборке

В табл. 3–4 приведены оптимальные комбинации для каждой из исследуемых стран на обучающей выборке. В табл. 3 приводятся параметры для стратегии с использованием мультипликаторов  $\Phi A$ , а в табл. 4 — без них (основываясь только на сигналах  $T A$ ).

На рис. 3 показаны оцененные КШ по оптимизированным стратегиям для каждой страны с: 1) применением  $\Phi A$ , 2) без  $\Phi A$ , в сопоставлении с  $V \& N$ . Расчеты показали, что на обучающей выборке для всех исследуемых стран авторская стратегия (черные и серые столбцы на рис. 3) обыгрывала стратегию  $V \& N$ . Гипотеза 1 подтверждается.

Для проверки гипотезы 2 мы анализируем, насколько добавление мультипликатора  $\Phi A$  сказалось на качестве стратегии (повышении КШ). Для семи из 20 стран учет мультипликатора  $\Phi A$  положительно повлиял на КШ.

Далее приводятся комментарии по параметрам оптимизации стратегий. Из сигналов  $\Phi A$  наиболее ценным оказался мультипликатор  $P/B$ , наименее —  $P/E$  (табл. 5). Такое распределение мы объясняем тем, что балансовая стоимость — достаточно устойчивая величина, тогда как чистая прибыль более волатильна.

На большинстве рынков первые два типа завершения периода хеджирования вошли в оптимальную комбинацию параметров (табл. 6).

На большинстве рынков опционные стратегии, основанные на спредах, вошли в оптимальную комбинацию параметров (табл. 7). Объясняется это тем, что если АТМ опционы не вошли в деньги, то выписанный дальний пут принесет прибыль, что обеспечит лучший результат по сравнению только с опционом пут. Для стран, где только центральный пут оказался лучшим вариантом, наблюдались спады в доходности индекса, значительно превосходящие 15–20%.

Таблица 3. Оптимальные параметры для стратегий с использованием  $\Phi A$  и  $T A$  на обучающей выборке

Страна	Лучший показатель $\Phi A$ и тип завершения	Значение («эталонное») бенчмарка для мультипликатора	Оptionная стратегия	Период короткой скользящей средней ЕМА	Период длинной скользящей средней ЕМА	AD	KAMA	MACD	TRIX
Канада	P/B тип 2	1,642	Спред АТМ + 15%	15	40	85	100	30	30
США	P/E тип 2	14,812	Пут АТМ	10	100	15	90	30	40
Франция	P/S тип 3	1,037	Спред АТМ + 15%	5	60	35	30	30	90
Германия	P/B тип 1	1,572	Пут АТМ	5	160	85	60	30	20
Великобритания	P/S тип 4	1,100	Спред АТМ + 20%	20	80	5	100	30	30
Австралия	P/B тип 4	2,035	Спред АТМ + 15%	20	60	85	80	30	20
Гонконг (КНР)	P/S тип 1	1,827	Спред АТМ + 20%	10	80	85	100	30	40
Япония	P/S тип 2	0,922	Пут АТМ	5	40	5	50	30	60
Бельгия	P/S тип 4	1,615	Спред АТМ + 15%	15	120	25	90	30	80
Швейцария	P/B тип 1	1,482	Спред АТМ + 15%	5	120	45	80	30	100
Польша	P/S тип 3	0,819	Спред АТМ + 15%	5	40	75	30	30	30
Россия	P/E тип 3	5,039	Пут АТМ	20	40	55	40	30	20
ЮАР	P/B тип 2	2,404	Пут АТМ	20	40	5	90	30	80
Китай	P/E тип 2	18,219	Пут АТМ	5	40	5	60	30	30
Индия	P/E тип 2	22,240	Пут АТМ	10	40	35	30	30	20
Ю. Корея	P/B тип 4	0,918	Спред АТМ + 15%	10	100	35	100	30	80
Греция	P/B тип 3	0,587	Пут АТМ	20	160	5	100	30	40
Бразилия	P/B тип 4	1,241	Спред АТМ + 15%	10	100	55	100	30	20
Венгрия	P/B тип 3	1,283	Спред АТМ + 15%	20	80	55	100	30	60
Чехия	P/B тип 1	1,096	Спред АТМ + 15%	5	100	5	70	30	40

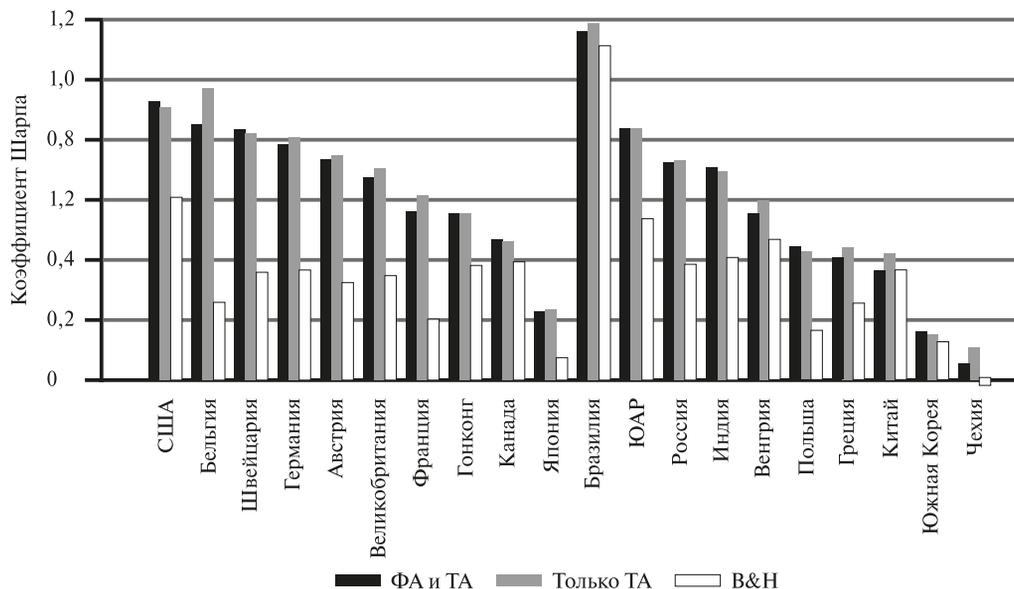


Рис. 3. Соотношение КШ по стратегиям на обучающей выборке

Авторские стратегии оказались более эффективными по сравнению со стратегиями V&N: по развитым рынкам прирост КШ в среднем составил 138% (рост более чем в два раза), по развивающимся — 64%, что согласуется с работой (Moosa, Burns, 2014).

Таблица 4. Оптимальные параметры для стратегий без использования ФА на обучающей выборке

Страна	Оptionная стратегия	Период короткой скользящей средней EMA	Период длинной скользящей средней EMA	AD	KAMA	MACD	TRIX
Канада	Спред ATM + 15%	15	40	85	100	30	100
США	Пут ATM	15	40	15	90	30	40
Франция	Спред 5% + 15%	20	140	85	100	30	40
Германия	Спред 5% + 15%	10	160	85	90	30	30
Великобритания	Спред 5% + 15%	20	120	85	50	30	50
Австралия	Спред 5% + 15%	20	80	75	70	30	70
Гонконг (КНР)	Спред ATM + 20%	10	80	85	70	30	40
Япония	Спред ATM + 15%	10	60	15	70	30	60
Бельгия	Спред 5% + 15%	20	160	45	90	30	70
Швейцария	Спред 5% + 15%	5	120	45	50	30	100
Польша	Спред ATM + 15%	5	40	75	30	30	80
Россия	Спред ATM + 15%	20	40	45	50	30	20
ЮАР	Спред 5% + 15%	20	160	5	100	30	30
Китай	Пут ATM	10	60	5	30	30	70
Индия	Спред ATM + 15%	10	60	35	30	30	20
Ю. Корея	Спред ATM + 15%	20	140	35	100	30	80
Греция	Пут ATM	5	40	5	100	30	30
Бразилия	Спред ATM + 15%	10	100	55	100	30	20
Венгрия	Спред 5% + 15%	20	160	35	100	30	60
Чехия	Спред ATM + 15%	5	100	5	70	30	70

**Таблица 5.** Распределение числа стран по присутствию мультипликатора ФА определенного типа в оптимальной хеджирующей стратегии

Показатель	<i>P/B</i>	<i>P/E</i>	<i>P/Sales</i>
Число стран	12	3	5

**Таблица 6.** Распределение числа стран по оптимальному типу завершения периода хеджирования

Показатель	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4
Число стран	7	7	2	4

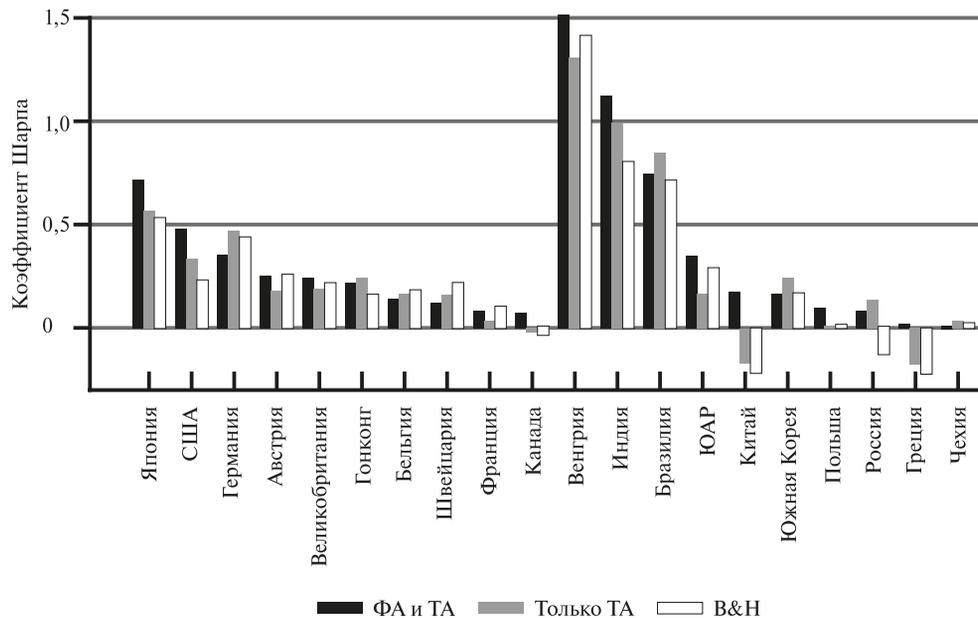
**Таблица 7.** Распределение стран по оптимальным опционным стратегиям

Показатель	Пут ATM	Спред ATM+15%	Спред ATM+20%	Спред 5%+15%
Число стран	4	8	1	7

#### 4.2. Результаты на тестовой выборке

Эффективность использования оптимальных параметров на тестовой выборке для исследуемых стран показана на рис. 4. В Приложении, п. Д, показана динамика лучшей стратегии хеджирования и V&N для каждой страны на тестовой выборке (на рис. Д1 графики по развитым рынкам, на рис. Д2 — по развивающимся).

Заметим, что по тестовой выборке уже нет столь существенной разницы между V&N и авторскими стратегиями (рис. 4). Наблюдаются также кейсы с отрицательной доходностью по авторским стратегиям (Канада, Греция, Китай, но только с ТА). В среднем КШ снизился на тестовой выборке (мы объясняем это падениями в конце 2018 г. всех фондовых индексов и других классов активов). Однако для большинства стран авторская стратегия хеджирования превосходит V&N по КШ, особенно с применением ФА, что подтверждает нашу гипотезу 2. Преимущества для развитых и развивающихся стран показаны в табл. 8.

**Рис. 4.** КШ по трем стратегиям на тестовых данных**Таблица 8.** Распределение числа стран по оптимальным стратегиям на тестовых выборках

Рынки	ФА и ТА	ТА без ФА	V&N
Развитые рынки	4	2	4
Развивающиеся рынки	6	4	0

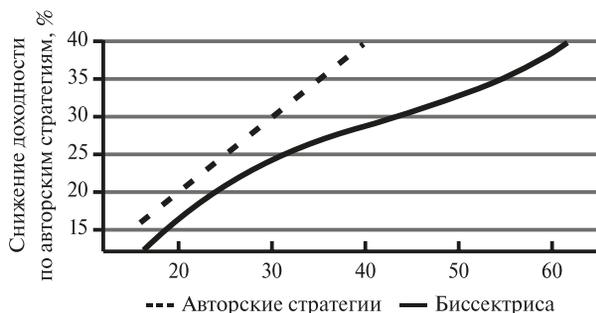


Рис. 5. Сравнение снижения доходности по V&N и авторским стратегиям

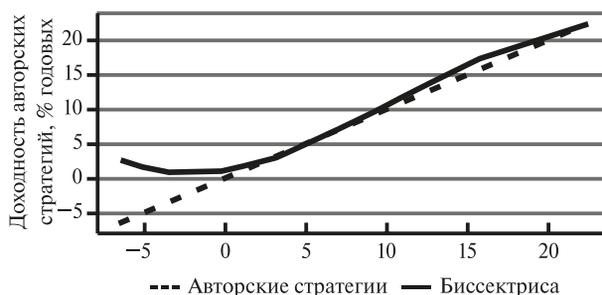


Рис. 6. Сопоставление доходности авторских стратегий и стратегий V&N по странам

Из данных в табл. 8 следует, что стратегия на тестовых данных оказалась лучше, чем V&N в 16 из 20 случаев. При этом все четыре индекса с лучшим V&N находятся в группе относятся к развитым рынкам, что свидетельствует в пользу того, что развитые рынки являются более эффективными (нет возможности систематически получать большую доходность, чем V&N без увеличения риска).

И для развитых, и для развивающихся рынков стратегии с сигналами ФА в большинстве случаев показали лучшие результаты (10 стран из 20 в целом). Это позволяет принять гипотезу о значимом вкладе ФА при разработке хеджирования.

Для стран, где авторская методика позволила улучшить КШ, средний КШ по индексам на тестовой выборке снизился на 10 п.п. по сравнению с результатом на обучающей выборке.

Следующий этап анализа — проверка того, насколько применение авторской методики позволяет защитить инвестора от снижения доходности. Сравнение показано на рис. 5.

Если бы падения доходности по авторским стратегиям были аналогичны стратегии V&N, то на рис. 5 они попали бы на биссектрису. Сглаженная кривая по упорядоченным значениям снижения доходности по 20 страновым индексам находится ниже биссектрисы. В среднем максимальные снижения доходности в авторских страновых стратегиях на 22,8% меньше, что также вносит вклад в увеличение КШ.

Насколько авторские стратегии эффективны, когда динамика индекса не только положительная, но и характеризуется высокой доходностью? Мы построили зависимость между среднегодовой доходностью стратегии V&N и оптимальными для исследуемых стран (рис. 6). Сглаженная кривая по авторским стратегиям для большей части наблюдений лежит ниже биссектрисы. Среднегодовая доходность по стратегии V&N достигает отрицательных значений, а доходность авторской стратегии остается стабильной. При высокой доходности стратегии V&N доходность авторской стратегии уступает ей, но только незначительно (т.е. стратегия позволяет частному инвестору без необходимости не покупать опционы).

Для 13 стран из 20 средняя доходность стратегии выше, чем у индекса. Из семи таких наблюдений шесть принадлежат группе развитых рынков, что говорит о рыночной эффективности. Средний прирост доходности у авторских стратегий среди всех стран составляет 1,4 п.п. в год, максимальный — 8,87 п.п., минимальный — -1,17 п.п.; распределение сильно смещено вправо, т.е. для тех рынков, где портфель показал худшую доходность, чем индекс, разница в доходности будет невысокой.

Отметим, что для 14 из 20 рассматриваемых рынков (для пяти развивающихся и девяти развитых рынков) доходность авторских стратегий превосходит безрисковую ставку. При этом доходность стратегии V&N выше безрисковой ставки в 13 из 20 случаев.

Первый квартал 2020 г. для двух индексов (в долларах США) рассматривался как тестовая выборка. По индексу РТС авторская методика рекомендовала покупку опционов, покрывающих весь вложенный в индекс капитал, на уровне 1300 пунктов, а по S&P 500 весь капитал оказался захеджирован несколько позднее, чем показал постинвестиционный опыт, но опционы на 80% капитала были куплены достаточно рано (на отметке примерно в 3000 пунктов). Можно заключить, что на выбранных индексах авторская методика в ситуации коронакризиса позволила инвестору захеджировать риски просадки.

### 4.3. Оценка эффективности авторской методики на симулированных данных

Для симулирования были использованы две модели, для которых на данных американского индекса получены оценки рядов цен фьючерсов. Первый шаг — оценка входных параметров моделирования цен. На исторических данных по индексу S&P 500 для случайного блуждания были получены следующие коэффициенты: 0,017% — для средней дневной логарифмической доходности и 1,24% — для ее стандартного отклонения.

По модели переключения режимов с двумя установленными режимами (режим роста и падения) были получены следующие коэффициенты:

$$\rho_t = \begin{cases} -0,0015 - 0,1212\rho_{t-1} + \varepsilon_t, & s_t = 1; \\ 0,001 - 0,0466\rho_{t-1} + \xi_t, & s_t = 2. \end{cases}$$

Все коэффициенты оказались статистически значимы на уровне 1%. Матрица переходов оценена нами следующим образом:

$$\begin{pmatrix} 0,9557 & 0,0212 \\ 0,0443 & 0,9788 \end{pmatrix}.$$

На основании этих коэффициентов были получены симулированные данные рядов цен фьючерсов по двум моделям. На рис. 7 показаны распределения по стратегии В&Н, а также оптимальным портфелям с ФА и без него в рамках двух использованных моделей поведения цен. На графиках видно, что распределения по случайному блужданию практически неотличимы друг от друга, тогда как по переключениям режимов заметно, что распределение для В&Н при значениях КШ, близких к нулю и ниже, смещено влево. Получается, что если модель переключения режимов является более подходящей для описания поведения цен, то авторская методика способна увеличивать КШ через опционное хеджирование.

Для того чтобы выяснить, какая модель более точно отражает реальное поведение цен активов, проанализируем полученные распределения (рис. 8). Разница между двумя моделями оказывается значительной (при этом вывод сохраняется и для стратегий с применением сигналов ФА). Распределения по стратегии В&Н между двумя моделями различаются незначимо. Совместный тест на попарное равенство средних для распределений портфелей показал отклонение нулевой гипотезы о равенстве на уровне 1% значимости (для распределений В&Н гипотеза не отклоняется).

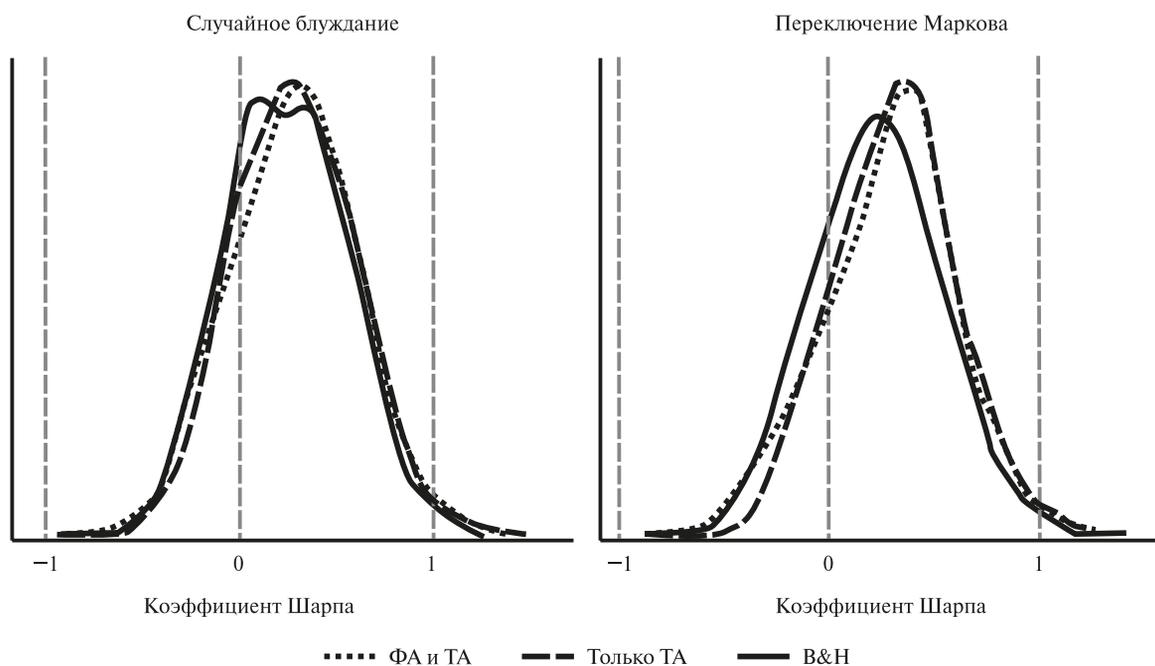
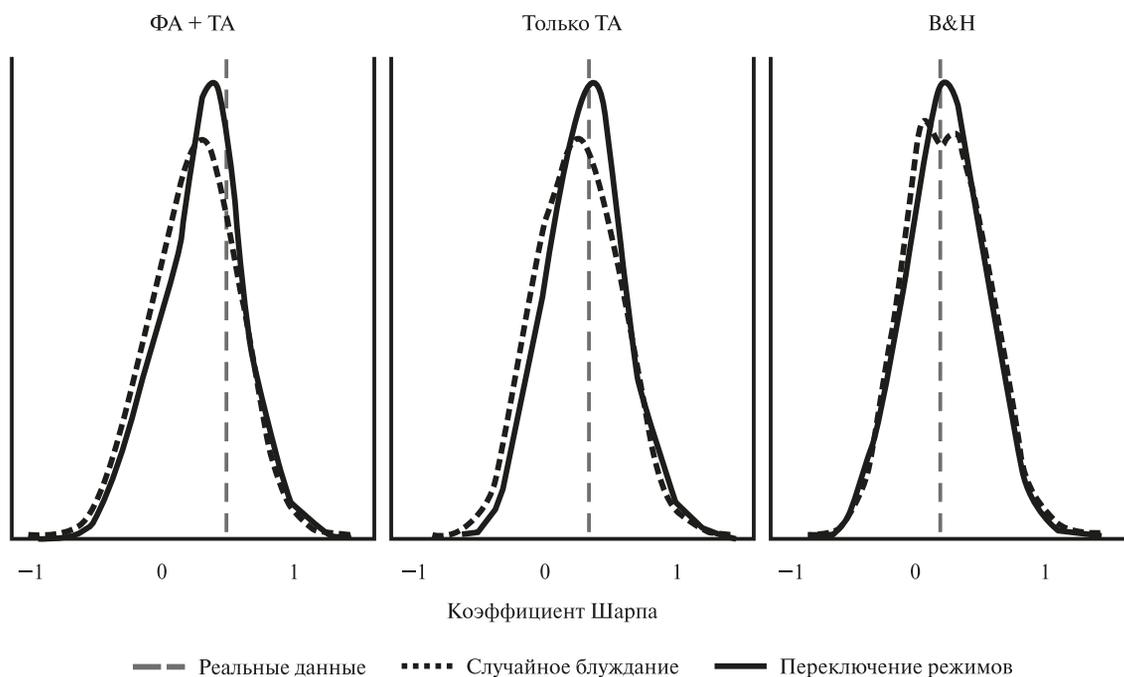


Рис. 7. Распределения результатов инвестирования по моделям



**Рис. 8.** Распределения результатов инвестирования по трем стратегиям с симулированными данными цен фьючерсов на индекс S&P 500

**Таблица 9.** Значения КШ по фактическим данным как перцентили для симулированных данных

Стратегии	Случайное блуждание, %	Переключение режимов, %
ФА и ТА	75	72
Только ТА	58	51
В&Н	49	47

Следующий шаг — анализ соотношений распределений и значений по реальным историческим данным для индекса S&P 500 на тестовой выборке. Для В&Н средние по распределениям и реальное значение КШ близки, тогда как для авторских стратегий реальное значение ближе к среднему именно по модели переключения режимов. В табл. 9 приведены значения перцентилей, которыми являются реальные КШ для симулированных данных по двум моделям. Перцентили заметно различаются только для стратегий на базе ТА (разница в 7 п.). По авторской методике с ТА и ФА, КШ на фактических данных находится заметно правее медианы для распределений по обеим моделям.

Заметим, что КШ на исторических данных находятся ближе к медианным значениям распределений, полученным по модели переключения режимов. Таким образом, нами показано, что на симулированных данных авторская методика не показывает худших по сравнению со стратегией В&Н результатов инвестирования.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы предложили методику хеджирования инвестиций в страновые фондовые индексы путем применения опционных стратегий в определенные моменты времени. Оригинальность работы заключается в оптимизации параметров хеджирования на синтезе сигналов ФА и ТА. Оптимизация авторской стратегии осуществляется путем перебора параметров на данных для обучающей выборки для каждой из 20 рассматриваемых стран с максимизацией КШ. Тестирование оптимальных стратегий реализуется на исторических данных, а также на симулированных.

На обучающей выборке для всех исследуемых стран получены комбинации параметров ФА и ТА и опционных стратегий, которые позволяют достичь большего КШ по сравнению с инвестированием в индекс.

На тестовых данных для 16 из 20 стран КШ по авторским стратегиям оказались выше, чем по стратегии В&Н. Все рынки, где стратегия В&Н выиграла, относятся к числу развитых, что объясняется их меньшей волатильностью. На тестовых данных выявлено, что авторская методика позволяет значительно сократить потери, не уступая в доходности в тех случаях, когда индекс растет относительно высокими темпами (например, 15% в год и более).

На симулированных данных показано, что даже по модели случайного блуждания стратегии не показывают худших результатов, чем В&Н по КШ. Средние значения распределение КШ по модели марковского переключения режимов ближе к исторически наблюдаемым значениям по авторским стратегиям. Следовательно, синтез ФА и ТА целесообразен.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Bai Y., Pan Z., Liu L.** (2019). Improving futures hedging performance using option information: Evidence from the S&P 500 index. *Finance Research Letters*, 28, 112–117.
- Binswanger M.** (2004). How important are fundamentals? Evidence from a structural VAR model for the stock markets in the US, Japan and Europe. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 14 (2), 185–201.
- Cao C., Bakshi G.S., Chen Z.** (2015). Option pricing and hedging performance under stochastic volatility and stochastic interest rates. *Handbook of Financial Econometrics and Statistics*, 2653–2700.
- Cont R., Da Fonseca J.** (2002). Dynamics of implied volatility surfaces. *Quantitative Finance*, 2 (1), 45–60.
- Fama E.F.** (1965). The behavior of stock-market prices. *The Journal of Business*, 38 (1), 34–105.
- Goodman T., Neamtiu M., Zhang X.F.** (2018). Fundamental analysis and option returns. *Journal of Accounting, Auditing and Finance*, 33 (1), 72–97.
- Hamilton J.D.** (1989). A new approach to the economic analysis of non-stationary time series and the business cycle. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 57 (2), 357–384.
- Kang W., Zhang H.** (2014). Measuring liquidity in emerging markets. *Pacific-Basin Finance Journal*, 27, 49–71.
- Koulis A., Kaimakamis G., Beneki C.** (2018). Hedging effectiveness for international index futures markets. *Economics and Business*, 32 (1), 149–159.
- Moosa I., Burns K.** (2014). The unbeatable random walk in exchange rate forecasting: Reality or myth? *Journal of Macroeconomics*, 40, 69–81.
- Park C.H., Irwin S.H.** (2007). What do we know about the profitability of technical analysis? *Journal of Economic Surveys*, 21 (4), 786–826.
- Pistole T.C., Metghalchi M.** (2010). *Comparison of three technical trading methods vs buy-and-hold for the S&P 500 market*. Southwest Decision Sciences Institute Conference, Dallas, TX.
- Smith D.M., Wang N., Wang Y., Zychowicz E.J.** (2016). Sentiment and the effectiveness of technical analysis: Evidence from the hedge fund industry. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 51 (6), 1991–2013.
- Strub I.S.** (2016). *Tail hedging strategies*. Available at: SSRN2261831

**Option hedging of stock indices:  
Benefits of signals of fundamental and technical analysis**

© 2021 T.V. Teplova, T.V. Sokolova, D.I. Lopushansky

**T.V. Teplova,**

*National Research University Higher School of Economics, Russian Federation/ HSE University, RF, Moscow, Russia; e-mail: tteplova@hse.ru*

**T.V. Sokolova,**

*National Research University Higher School of Economics, Russian Federation/ HSE University, RF, Moscow, Russia; e-mail: tv.sokolova@hse.ru*

**D.I. Lopushansky**

*National Research University Higher School of Economics, Russian Federation/ HSE University, RF, Moscow, Russia; e-mail: dilopushanskiy@edu.hse.ru*

Received 03.06.2020

*The article was prepared within the framework of the Basic Research Program at HSE University.*

**Abstract.** The paper identifies country specific features of hedging strategies for stock indices. We propose the methodology of the optimization hedging parameters (the time of entering and exit, the type of an option strategy) based on the synthesis of technical (TA) and fundamental analysis (FA) indicators. Country differences in the design of the authors' strategies are demonstrated on the tests for 20 stock indices in the period from 1980 to 2020. The research methodology is to optimize the parameters of hedging strategies for the each country on the training sample with checking the effect on the test sample. The Sharpe ratio is maximized. The originality of our paper is in the model constructions for missing data series (index futures and put options) and testing both on historical data and on simulated data under two different assumptions about the behavior of the underlying asset price: the random walk model and the Markov-switching volatility model. For each country index, more than 18,000 combinations of parameters are analyzed. Our research shows that the synthesis of fundamental (FA) and technical analysis (TA) gives the best option hedging result. We reveal country peculiarities both in the preferences of FA and TA indicators and in the use of option strategies. The estimates on historical and simulated data allow us to draw a conclusion about the patterns in the dynamics of the stock index. The random walk hypothesis receives additional support for the US market. In the coronavirus situation, the proposed methodology allows investors to effectively hedge the risks of drawdown.

**Keywords:** hedging; fundamental analysis; technical analysis; stock indices; developed markets; developing markets; timing; option strategies.

**JEL Classification:** G11, G17.

**DOI:** 10.31857/S042473880014919-9

---

---

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

---

---

**Вычислительная эффективность байесовских эконометрических методов  
для «неудобных» плотностей**

© 2021 г. С.М. Иващенко

**С.М. Иващенко,**

*СЗГУ Банка России, Санкт-Петербург; Институт проблем региональной экономики РАН, Санкт-Петербург; Научно-исследовательский финансовый институт Минфина РФ, Москва; Факультет экономики СПбГУ, Санкт-Петербург; e-mail: sergey.ivashchenko.ru@gmail.com; glucke\_ru@pisem.net*

Поступила в редакцию 05.10.2020

*Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-010-01185) «Структурные изменения в экономике России: роль человеческого капитала и инвестиций».*

*Настоящая статья выражает личную позицию автора, которая может не совпадать с официальной позицией Банка России. Банк России не несет ответственности за содержание статьи.*

**Аннотация.** Оценка моделей динамического стохастического общего экономического равновесия (ДСОЭР) методами байесовской эконометрики подразумевает построение марковских цепей Монте-Карло (MCMC). Проведен анализ MCMC-алгоритмов для функций плотности, с неблагоприятными свойствами, характерными для ДСОЭР-моделей (ограниченный носитель функции, тяжелые хвосты, острые пики, невыпуклость логарифма плотности или самой плотности). Рассматривается три группы алгоритмов: случайное блуждание (RW), алгоритм MALA и предложенный автором, алгоритм LTG (local truncated Gauss). Для последних двух алгоритмов рассматривались три версии: с использованием информации о градиенте и гессии логарифма функции плотности в каждой точке; только о градиенте и версия, использующая лишь информацию о моде. Результаты MALA и LTG близки в большинстве случаев, с небольшим преимуществом LTG (включая тест на ДСОЭР-модели). Алгоритм RW проигрывает оставшимся двум, особенно сильно в случае малой размерности. Причем версии, использующие аппроксимацию градиента и гессии, не связаны с существенными дополнительными вычислительными затратами. Наличие тяжелых хвостов ведет к снижению эффективности алгоритмов MALA и LTG. А уровень принятия, обеспечивающий наилучшую эффективность выборки, варьируется в широких пределах, заметно отклоняясь от принятых значений.

**Ключевые слова:** MCMC; Монте-Карло с марковскими цепями; алгоритм Метрополиса–Гастингса; методы байесовской эконометрики.

**Классификация JEL:** C11.

**DOI:** 10.31857/S042473880014916-6

## 1. ВВЕДЕНИЕ

ДСОЭР-модели — один из основных макроэкономических инструментов (Tovar, 2009). Они базируются на микроэкономических основаниях, т.е. предпочтениях и технологиях. Это решает проблему критики Лукаса (Lucas, 1976). В сочетании с формальной эконометрической оценкой это позволяет получать высокое качество прогнозов (Smets, Wouters, 2007, Tovar, 2009). В результате этот класс моделей активно применяется центральными банками и другими организациями во многих странах (Tovar, 2009). Однако сложная функциональная связь параметров модели и ее поведения ведет к снижению скорости сходимости распределения оценок к асимптотическим, являющимся основой классической эконометрики. Вдобавок микроэкономические основания способствуют естественному формированию априорных представлений о значениях параметров. В результате стали популярны методы байесовской эконометрики, использующие априорную информацию и менее чувствительные к относительно маленьким выборкам, в условиях медленной сходимости к асимптотике. Обратная сторона этих методов — высокие вычислительные затраты, которые еще больше возрастают для распределений, далеких от стандартных.

Методы байесовской эконометрики активно применяются для расчетов по ДСОЭР-моделям. В частности, применяется Metropolis Hating МСМС (МН-МСМС), а точнее Random Walk (RW) МСМС (Smets, Wouters, 2007; Christiano, Eichenbaum, Trabandt, 2016; Herbst, Schorfheide, 2015). Причем в качестве ориентиров приводятся цифры по уровню принятия (acceptance rate), рекомендуемые для усредненных моделей 35% (Smets, Wouters, 2007), 24% (Christiano et al., 2016), 20–40% (Herbst, Schorfheide, 2015). Однако уровень принятия порядка 23,4% не оптимален для множества распределений. Например, для гауссовой радиальной плотности оптимальный уровень принятия составляет 10%, а для экспоненциальной радиальной плотности — 6% (Sherlock, Roberts, 2009). Более того, 23,4% — это асимптотически оптимальный уровень (по размерности), и сходимость к нему может быть крайне медленной (и требовать размерности более 200 000) (Bedard, 2007).

Для апостериорной плотности параметров, характерной для ДСОЭР-моделей, можно встретить ряд неблагоприятных для сходимости МСМС-алгоритмов свойств. Во-первых, плотность часто определена не на всем пространстве  $R^n$ . Это связано с условиями Бланшара–Кана, необходимыми для существования единственного невзрывного решения задачи с рациональными ожиданиями (Blanchard, Kahn, 1985; Schmitt-Grohe, Uribe, 2004). Соответственно, при нарушении этого условия плотность принимает штрафное значение. Во-вторых, распространена проблема слабой идентификации отдельных параметров (Iskrev, 2010; Ivashchenko, Mutschler, 2020), т.е. функция апостериорной плотности может быть достаточно плоской в отдельных направлениях. В-третьих, нелинейность зависимости по параметрам и жесткие априорные распределения могут приводить (при принятых объемах выборки) к значительному отклонению формы функции плотности от гауссовой, а в предельных случаях — к невыпуклости логарифма функции правдоподобия.

Известны алгоритмы, демонстрирующие высокую эффективность генерации выборки для ДСОЭР-моделей (Chib, Ramamurthy, 2010). Однако для достижения этой эффективности требуется многократное вычисление функции правдоподобия на каждой итерации (этап максимизации), что связано с большими вычислительными затратами. Исходя из этого, будут рассматриваться алгоритмы МСМС без многочисленных дополнительных расчетов функции правдоподобия.

Таким образом, целью данной работы является анализ методов байесовской эконометрики, используемых для оценки ДСОЭР-моделей. А именно анализ свойств МСМС-алгоритмов для мономодальных функций плотности, обладающих неблагоприятными свойствами, встречающимися в апостериорных плотностях, характерных для ДСОЭР-моделей. Мы приведем описания нескольких алгоритмов МСМС (разд. 2) и их тестов (разд. 3).

## 2. АЛГОРИТМЫ МСМС

### 2.1. Общая схема Metropolis Hating (МН)

Алгоритм МН позволяет генерировать МСМС с желаемым асимптотическим распределением  $p(x)$ . Для этого необходимо уметь генерировать значения из произвольной условной плотности  $Q(x_i|x_{i-1})$ , а также рассчитать значения плотностей  $p(x_i)$  и  $Q(x_i|x_{i-1})$  в произвольной точке. После инициализации алгоритма (т.е. какого-то выбора начальной точки  $x_0$ ) на итерации  $i$  вначале генерируется точка  $x_{try}$  из плотности  $Q(x_{try}|x_{i-1})$ . Затем по формуле

$$\alpha = \min \left( \frac{p(x_{try})Q(x_{i-1}|x_{try})}{p(x_{i-1})Q(x_{try}|x_{i-1})}; 1 \right) \quad (1)$$

рассчитывается величина  $\alpha$ , а далее с вероятностью  $\alpha$  значение принимается ( $x_i = x_{try}$ ), а с вероятностью  $1-\alpha$  — отвергается ( $x_i = x_{i-1}$ ). Различия алгоритмов заключаются в использовании различных плотностей  $Q(x_i|x_{i-1})$ .

### 2.2. Random Walk (RW) МСМС

Один из самых простых алгоритмов, называемый «случайное блуждание», это применение в качестве  $Q(x_i|x_{i-1})$  — плотности гаусса с дисперсией  $h^2V$  и средним  $x_{i-1}$ . Обычно в качестве дисперсии  $V$  берется обратный гессиан в моде и подбирается масштабирующий множитель  $h$  для желаемого уровня принятия. Именно этот алгоритм стоит по умолчанию в пакете расчетов по ДСОЭР-моделям — dynare (Adjemian et al., 2011).

**2.3. Metropolis-adjusted Langevin algorithm (MALA)**

Альтернативный подход предполагает использование локальных данных о форме плотности, а именно градиента логарифма функции плотности. Такой подход связан с большими вычислительными издержками (в основном на расчет градиента), но обеспечивает существенно более быструю сходимость (Titsias, Dellaportas, 2019; Durmus et al., 2017). Генерирование происходит по формуле

$$x_{iry} = x_{i-1} + (h^2 / 2)V \frac{\partial \log p(x_{i-1})}{\partial x_{i-1}} + h(V)^{1/2} \varepsilon_i, \tag{2}$$

где  $\varepsilon_i$  сгенерировано из стандартного нормального распределения.

В некоторых работах применяется формулировка с единичной матрицей вместо  $V$  (Jagner, Roberts, 2007). Но более естественный вариант — матрица, аналогичная  $RW$ . Помимо этого есть естественное обобщение (2) до вида

$$x_{iry} = x_{i-1} + (h^2 / 2) \left( \frac{\partial^2 \log p(x_{i-1})}{\partial x_{i-1} \otimes x_{i-1}} \right)^{-1} \frac{\partial \log p(x_{i-1})}{\partial x_{i-1}} + h \left( \frac{\partial^2 \log p(x_{i-1})}{\partial x_{i-1} \otimes x_{i-1}} \right)^{-1/2} \varepsilon_i \tag{3}$$

с использованием информации о гессиане. В таком случае (2) оказывается частным случаем (3) с аппроксимацией для гессиана.

Также можно применять аппроксимацию и для градиента. Подробнее о том, как строится аппроксимация, а также о том, как считать корень из матрицы, будет описано ниже.

Соответственно, получается 5 версий MALA-алгоритма: с градиентом и гессианом; с градиентом и аппроксимацией гессиана (гессиан в моде); с аппроксимацией градиента и гессиана; а так же версии с единичной матрицей в качестве гессиана.

**2.4. Local truncated Gauss (LTG)**

Имея данные о градиенте и гессиане логарифма плотности в каждой точке, естественно возникает квадратичная аппроксимация (квадратичная функция логарифма плотности у распределения Гаусса). Однако точность аппроксимации зависит от расстояния от точки разложения, отсюда возникает идея использовать урезанное нормальное распределение в качестве распределения, из которого генерируется пробная точка. То есть градиент и гессиан (или их аппроксимации) преобразуются в математическое ожидание  $\mu_i$  и дисперсию  $V_i$  в соответствии с формулами:

$$\left( \frac{\partial^2 \log p(x_{i-1})}{\partial x_{i-1} \otimes x_{i-1}} \right)^{-1} = V_i, \tag{4}$$

$$x_{i-1} - \left( \frac{\partial^2 \log p(x_{i-1})}{\partial x_{i-1} \otimes x_{i-1}} \right)^{-1} \left( \frac{\partial \log p(x_{i-1})}{\partial x_{i-1}} \right) = \mu_i, \tag{5}$$

где  $\otimes$  — произведение Кронекера.

Существует множество способов урезать многомерное нормальное распределение. Нами был выбран вариант наиболее простой с точки зрения расчета, а именно урезание независимых стандартных нормальных распределений. Для масштабирования дистанции используются стандартные отклонения в моде, т.е. согласно формуле

$$\left| (V_i)^{-1/2} (x_i - x_{i-1}) \right| \leq (V_i)^{-1/2} (V_{mode})^{1/2} 1_{n_x} r_{std} \tag{6}$$

в случае совпадения дисперсий в моде ( $V_{mode}$ ) и текущей точке ( $V_i$ ) абсолютное отклонение (после перехода к независимому распределению согласно текущей матрице дисперсии) поэлементно не превосходит  $r_{std}$ . Таким образом, плотность, из которой генерируются наблюдения  $Q(x_i|x_{i-1})$ , — это урезанное нормальное распределение со средним  $\mu_i$ , дисперсией  $V_i$  и урезанное вокруг точки  $x_{i-1}$  с радиусом  $r_{std}$ .

Генерирование наблюдений и расчет плотности (нормирующей константы) для одномерного урезанного распределения Гаусса легко произвести благодаря аналитическому интегрированию нормальной плотности. Однако при слишком большом удалении от моды возникают численные проблемы. В таких случаях используется алгоритм (Chopin, 2011).

### 2.5. Замечания об аппроксимации

Аппроксимацией гессиана является гессиан в моде. Аппроксимация градиента строится на основе значений функции плотности в текущей точке и в моде (точнее, нормальная аппроксимация плотности). Для этого определяется математическое ожидание на отрезке между текущей точкой и модой плотности, т.е. по двум значениям плотности находятся два параметра ( $c_0, c_1$ ) аппроксимации в форме

$$\log(p(x)) = c_0 - \left( x - (x_{i-1}c_1 + (1-c_1)x_{mode}) \right)' V^{-1} \left( x - (x_{i-1}c_1 + (1-c_1)x_{mode}) \right) / 2. \quad (7)$$

У матрицы дисперсии нет индекса, так как используется гессиан в моде. Соответственно, вес рассчитывается по формуле

$$c_1 = \frac{2(\log(p(x_{i-1})) - \log(p(x_{mode}))) + (x_{i-1} - x_{mode})' V^{-1} (x_{i-1} - x_{mode}))}{2(x_{i-1} - x_{mode})' V^{-1} (x_{i-1} - x_{mode})}. \quad (8)$$

Получающееся математическое ожидание для генерации точки согласно MALA-алгоритму (9) напоминает Preconditioned Crank–Nicolson-алгоритм (Cotter et al., 2013). Отличие заключается в том, что смещение идет не в направлении начала координат, а в направлении мода. Также взаимосвязь дисперсии и смещения имеет другую параметризацию, плюс автоматическая корректировка этой взаимосвязи, в зависимости от того насколько плотность отклоняется от нормальной аппроксимации в моде:

$$\mu_i = x_{i-1} + (h^2 / 2) \left( \frac{\partial^2 \log p(x_{i-1})}{\partial x_{i-1} \otimes x_{i-1}} \right)^{-1} \frac{\partial \log p(x_{i-1})}{\partial x_{i-1}} = x_{i-1} + (h^2 / 2) V \left( -V^{-1} (x_{i-1} - \right. \\ \left. - (x_{i-1}c_{1,i} + (1-c_{1,i})x_{mode})) \right) = x_{i-1} - 0,5(x_{mode} - x_{i-1})h^2(1-c_{1,i}). \quad (9)$$

Еще одна важная деталь алгоритма касается нахождения корня из матрицы. В случае когда матрица положительно определенная, стандартным подходом является разложение Холецкого. Однако в отдельных точках гессиан логарифма плотности может не быть положительно определенным. Для защиты от такой проблемы используется LDL-разложение, которое для положительно определенных матриц ведет себя аналогично разложению Холецкого. В случае неположительно определенного гессиана матрица  $D$  заменяется диагональной матрицей, в которой устанавливается минимальное значение диагональных элементов ( $1000^{-2}$ ). Поскольку нарушение положительно определенности гессиана логарифма плотности не в фокусе данного исследования, подобной эвристики достаточно.

### 3. СХЕМА ТЕСТИРОВАНИЯ

МСМС-подход ведет к созданию коррелированных наблюдений, имеющих заданное асимптотическое распределение. Для оценки качества получающейся выборки применяют IF (inefficiency factor), который показывает, во сколько раз выборка должна быть больше по сравнению с независимой для получения одинаковой дисперсии выборочного среднего:

$$IF_k = 1 + 2 \sum_{i=1}^{\infty} \text{correl}(x_{k,t+i}, x_{k,t}). \quad (10)$$

Для чистых случаев МН-алгоритма (не имеющих элементов адаптации и т.п.) условное распределение зависит только от вектора на предыдущем шаге. Соответственно, сумму ковариаций можно рассчитать при помощи VAR(1)-представления с матрицей  $A$  по формуле

$$\sum_{i=1}^{\infty} \text{cov}(x_{t+i}, x_t) = \sum_{i=1}^{\infty} A^i \text{var}(x_t) = A(I - A)^{-1} \text{var}(x_t). \quad (11)$$

При оценке VAR(1) методом наименьших квадратов, когда истинные собственные числа матрицы  $A$  близки к 1, можно получить оценку  $A$  с собственными числами большими 1 с достаточно большой вероятностью (Hammad, 2014). Если собственные числа  $A$  больше 1, то это взрывной процесс и формула (11) перестает работать. Используя знание теоретического среднего (чтобы уменьшить число оцениваемых параметров), а также то, что дисперсия начальной точки и после шага алгоритма МН совпадают (т.е. удвоим число наблюдений для расчета обратной матрицы дисперсии регрессоров), можно уточнить оценки. В ряде случаев (при относительно большом числе регрессоров) все равно получаются взрывные траектории, в таком случае

для сокращения числа регрессоров и получения невзрывного VAR(1)-представления будет использоваться метод главных компонент.

Поскольку мы работаем с распределениями, генерирование наблюдений из которых является стандартным, можно применять цепи длиной в одно наблюдение с целью расчета IF. То есть генерируется начальная точка непосредственно из интересующего распределения, а далее генерируется один цикл МСМС-алгоритма, что позволяет существенно увеличить эффективность вычислений (особенно в случаях, когда IF очень велик) без каких-либо потерь. Исходя из этого, число цепей установлено на уровне 1000 (расчет для каждого рассматриваемого случая строится на основе 1000 независимых наблюдений).

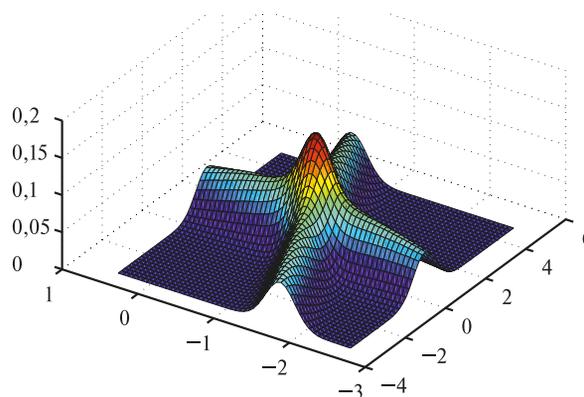


Рис. 1. Плотность вида X

Опишем преобразование базовых одномерных распределений в многомерные, используемые для тестов. Каждое одномерное распределение центрируется вокруг его моды, т.е. вычитается мода, и у модифицированного распределения мода оказывается в 0. Таким образом, если  $z$  — вектор таких модифицированных базовых одномерных распределений, то вектор интересующего распределения  $x$  будет рассчитываться по формуле

$$x = Qz + \mu, \tag{12}$$

где вектор моды  $\mu$  и матрица  $Q$  генерируются (один раз на тест) поэлементно из стандартного нормального распределения.

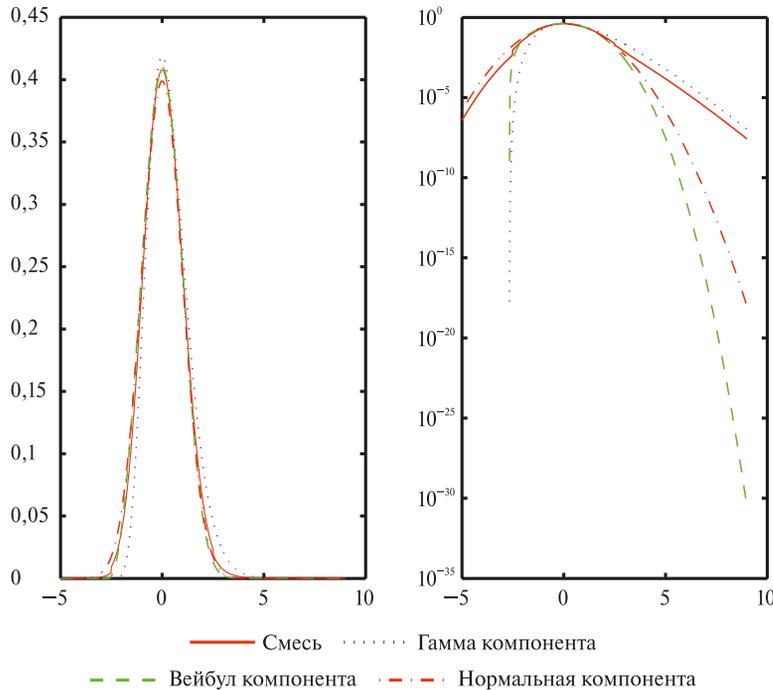
Следующие базовые плотности будут использоваться для тестов:

- 1) стандартное нормальное распределение (среднее 0, дисперсия 1);
- 2) гамма-распределение с параметрами 9 и 1/3, дающими среднее 3, дисперсию 1 и моду, равную 8/3. Это распределение комбинирует более медленное убывание плотности с наличием барьерного ограничения;
- 3) распределение Вейбула с параметрами 3 и  $10^{-1/2}$ , дающими среднее 2,685, дисперсию 0,867 и моду, равную 2,66. Это распределение комбинирует более быстрое убывание плотности с наличием барьерного ограничения;
- 4) урезанное стандартное нормальное распределение с областью поддержки от  $-2,5$  до  $2,5$ . Среднее и мода при этом остаются в 0, а дисперсия уменьшается до 0,9, т.е. это распределение дает лишь эффект наличия барьерного ограничения;
- 5) распределение Стьюдента с 3 степенями свободы — это распределение берется для демонстрации свойств алгоритмов в условии крайне медленного убывания функции плотности, с нарушением выпуклости логарифма плотности.

Дополнительный тест будет произведен для плотности вида X в качестве базовой. Это частный случай смеси нормальных распределений. С вероятностью 1/2 используется распределение Гаусса со средним 0 и стандартным отклонением 3 для четных компонент и 1/3 — для нечетных; с вероятностью 1/2 используется аналогичное нормальное распределение, в котором стандартные отклонения четных и нечетных компонент меняются местами. Данная базовая плотность обладает средним, равным 0, и дисперсией — около 4,56 (по каждой компоненте). Внешний вид такой плотности (после добавления константы и вращения) для двумерного случая представлен на рис. 1. Это случай нарушения выпуклости функции плотности, при сохранении единственности моды.

Второй дополнительный тест — это смесь с равными вероятностями случаев 1–4. Внешний вид базовой плотности представлен на рис. 2. Там же приведены плотности трех компонент (гамма, Вейбул и Гаусс). Поведение смеси на одном хвосте распределения определяется в основном гамма-распределением, а на другом — в основном плотностью Гаусса.

Следует отметить, что алгоритмы MALA и RW используют масштабирующий параметр  $h$ , в то время как в LTG применяется  $r_{std}$ . Необходимо соотнести эти два параметра. Возьмем следующий набор значений для  $r_{std}$ : 0,02; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 5; 10; 20; в качестве  $h$  — стандартные



**Рис. 2.** Плотность смеси распределений гамма, Вейбула, Гаусса и урезанной Гаусса

отклонения урезанного (на интервал от  $-r_{std}$  до  $r_{std}$ ) стандартного нормального распределения, т.е. значения 0,146; 1,63; 4,59; 17,6; 0,446, 0,691; 0,859; 0,985; 1,0; 1,0; 1,0.

Введем сетку размерности для тестов (целая часть 1,5 в степени от 2 до 13), покрывающую диапазон размерности, характерный для числа параметров от сверхмалых ДСОЭР-моделей до крупномасштабных.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты для распределения Гаусса представлены в табл. 1 (Н обозначает гессиан, G — градиент, 0 — аппроксимацию градиента и гессиана). Использование метода MALA-diag, т.е. единичной матрицы в качестве ковариационной, ведет к крайне слабым результатам, несмотря на имеющиеся данные о градиенте. RW характеризуется растущей неэффективностью с ростом размерности, но этот рост не очень быстр. Для рассматриваемых размеров выборки и решетки масштабирующего множителя оптимальный уровень принятия заметно отличается от асимптотически оптимальных 23,4%. Для остальных алгоритмов нормальная плотность полностью воссоздается, и, соответственно, уровень неэффективности оказывается близок к 1.

Результаты для гамма-распределения представлены в табл. 2. Показатели для случайного блуждания меняются несильно. Результаты MALA-diag остаются неконкурентоспособно слабыми. Достаточно слабыми оказываются результаты методов, использующих значение гессиана в каждой точке, особенно в методе LTG. Вероятно, это связано с тем, что для более плоской функции плотности оптимальным оказывается относительно большой шаг и локальная квадратичная аппроксимация не очень хорошо описывает поведение в области в целом. Алгоритмы MALA оказываются сопоставимы с RW для гамма-распределения при большой размерности пространства, а при малой и средней — явное преимущество за MALA. Версия LTG(G), использующая градиент, кратно превосходит RW для всех рассматриваемых размерностей, а версия LTG(0) дает сопоставимые результаты при большой размерности пространства и кратно преимущество при малой и средней размерности.

Уровень принятия соответствующий минимальной неэффективности выборки часто оказывается ниже 23,4%, причем это наблюдается даже для средней размерности пространства. Подобные случаи есть и для RW, и для MALA, для которого часто рекомендуют более высокий уровень принятия.

Результаты для распределения Вейбула представлены в табл. 3. Ситуация для RW и MALA-diag аналогична предыдущим случаям. Использование данных о гессиане не дает заметного улучшения

Таблица 1. Нормальное распределение. IF, уровень принятия

Размерность	LTG (H, G)	LTG (G)	LTG (0)	MALA (H, G)	MALA (G)	MALA (0)	MALA-diag (G)	MALA-diag (0)	RW
2	0,93 100%	1,09 100%	0,91 100%	1,03 100%	0,95 100%	1,00 100%	14,7 45%	17,6 47%	8,11 55%
3	0,99 100%	0,98 100%	0,96 100%	0,96 100%	1,01 100%	1,12 100%	26,5 76%	26,4 74%	10,9 44%
5	1,01 100%	1,08 100%	1,12 100%	0,91 100%	1,00 100%	1,04 100%	187,8 8%	211,1 9%	14,7 34%
7	1,02 100%	0,85 100%	0,92 100%	0,97 100%	0,83 100%	0,87 100%	1772,8 33%	479,9 4%	15,6 39%
11	1,04 100%	1,29 100%	1,09 100%	1,03 100%	1,08 100%	1,18 100%	4055,2 16%	3513,6 15%	33,8 15%
17	1,37 100%	1,11 100%	1,02 100%	1,10 100%	1,06 100%	1,17 100%	1841,1 1%	6301,2 1%	53,2 18%
25	1,14 100%	1,24 99%	1,25 100%	1,33 94%	1,10 100%	1,07 100%	221816 3%	12362 2%	59,3 27%
38	1,22 100%	1,21 100%	1,15 100%	1,18 100%	1,21 100%	1,05 100%	∞	∞	86,9 20%
57	1,26 100%	1,32 100%	1,24 100%	1,20 100%	1,05 100%	1,26 100%	∞	∞	125,1 51%
86	1,14 100%	1,23 100%	1,11 100%	1,07 100%	0,92 100%	1,17 100%	∞	∞	116,3 39%
129	1,24 100%	1,32 100%	1,18 100%	1,16 100%	1,10 100%	1,29 100%	∞	∞	164,8 32%
194	1,19 97%	1,14 100%	1,16 100%	1,11 100%	1,25 100%	1,14 100%	∞	∞	220,2 22%

результатов, а для LTG(H, G) происходит заметное ухудшение при большой размерности пространства. Результаты остальных версий LTG и MALA дают заметно лучшие значения, чем RW. Исключением является лишь максимальная размерность при использовании градиента. Версии

Таблица 2. Гамма-распределение. IF, уровень принятия

Размерность	LTG (H, G)	LTG (G)	LTG (0)	MALA (H, G)	MALA (G)	MALA (0)	MALA-diag (G)	MALA-diag (0)	RW
2	9,05 52%	3,18 72%	3,02 75%	6,59 54%	2,95 73%	2,64 77%	5,68 72%	4,06 80%	11,0 54%
3	10,5 41%	3,78 62%	3,29 67%	11,6 41%	3,78 62%	3,27 68%	20,8 43%	22,2 40%	14,1 45%
5	21,4 23%	5,03 51%	4,33 56%	20,2 31%	5,42 49%	3,82 55%	111,9 19%	92,2 23%	16,4 31%
7	38,8 12%	5,75 41%	4,91 46%	27,9 12%	5,98 40%	4,90 45%	217,5 98%	958,5 4%	24,2 24%
11	100,2 4%	7,96 36%	7,66 33%	56,4 15%	9,95 38%	8,06 35%	3108,5 40%	1734,0 1%	38,0 18%
17	270,4 13%	15,1 20%	13,6 24%	105,8 19%	15,4 27%	12,4 24%	8613,5 14%	4990,6 12%	58,4 37%
25	511,1 22%	19,3 23%	22,1 16%	132,3 50%	24,2 18%	21,3 13%	619761 2%	130646 1%	75,6 25%
38	457,7 11%	32,2 10%	59,0 6%	134,3 40%	41,6 30%	50,0 6%	∞	∞	71,6 16%
57	1358,7 16%	54,8 19%	110,1 22%	159,7 25%	66,8 20%	143,8 41%	∞	∞	101,3 47%
86	1830,3 6%	46,4 10%	180,7 11%	285,7 15%	121,5 44%	151,6 32%	∞	∞	238,6 39%
129	5857,5 35%	51,3 8%	224,8 42%	303,9 8%	182,9 7%	211,7 21%	∞	∞	234,7 26%
194	3868,0 0%	29,5 11%	282,2 37%	706,0 60%	291,1 22%	454,6 12%	∞	∞	275,7 21%

Таблица 3. Распределение Вейбула. IF, уровень принятия

Размерность	LTG (H, G)	LTG (G)	LTG (0)	MALA (H, G)	MALA (G)	MALA (0)	MALA-diag (G)	MALA-diag (0)	RW
2	2,12 85%	0,93 89%	1,10 94%	2,21 83%	0,95 89%	0,97 92%	11,4 72%	11,2 78%	7,77 55%
3	2,23 80%	1,06 84%	1,06 90%	2,45 79%	1,03 84%	1,05 92%	33,7 53%	26,9 28%	10,7 43%
5	2,65 71%	1,22 78%	1,25 86%	2,66 71%	1,30 79%	1,32 87%	398,6 4%	257,1 7%	15,1 27%
7	3,23 65%	1,71 72%	1,47 90%	3,43 62%	1,68 66%	1,29 81%	1271,4 2%	781,4 6%	19,8 38%
11	4,08 50%	1,95 57%	1,44 86%	3,93 53%	1,91 59%	1,48 76%	858,2 50%	1421,3 16%	30,7 16%
17	6,35 37%	3,21 48%	1,97 69%	6,83 38%	3,00 47%	1,87 72%	2870,2 0%	923,5 91%	55,9 32%
25	8,31 28%	3,22 49%	2,06 74%	8,32 28%	3,96 39%	1,89 58%	300370 1%	179307 3%	46,7 25%
38	24,4 14%	5,59 36%	2,63 63%	18,6 17%	7,47 26%	2,83 52%	∞	∞	111,8 54%
57	39,9 9%	8,03 26%	3,52 53%	26,4 14%	11,8 24%	4,36 40%	∞	∞	92,2 44%
86	511,0 33%	16,8 16%	5,74 41%	56,1 21%	23,4 16%	6,56 42%	∞	∞	143,1 37%
129	957,3 20%	37,4 10%	8,82 30%	175,2 47%	65,0 8%	8,68 32%	∞	∞	252,3 25%
194	1944,4 9%	231,1 6%	16,9 18%	207,8 39%	347,9 21%	18,3 22%	∞	∞	250,0 16%

с градиентом дают худшие результаты, чем без него. С точки зрения уровня принятия наблюдаются случаи за пределами интервала 23,4–40%, причем с отклонениями в обе стороны.

Результаты для урезанного нормального распределения представлены в табл. 4. Показатели LTG и MALA оказываются намного лучше и кратно обыгрывают RW. В условиях нормальной

Таблица 4. Урезанное нормальное распределение. IF, уровень принятия

Размерность	LTG (H, G)	LTG (G)	LTG (0)	MALA (H, G)	MALA (G)	MALA (0)	MALA-diag (G)	MALA-diag (0)	RW
2	0,97 97%	1,15 98%	1,06 98%	1,07 98%	0,99 98%	0,96 98%	3,20 49%	3,56 51%	8,76 54%
3	1,04 97%	1,05 97%	1,09 96%	1,04 97%	1,06 97%	1,12 97%	34,3 45%	38,3 44%	10,7 46%
5	1,32 92%	1,15 93%	1,24 96%	1,26 93%	1,12 93%	1,26 95%	537,1 3%	506,4 3%	15,8 30%
7	1,11 92%	1,22 94%	1,19 93%	1,22 92%	1,09 92%	1,07 93%	832,1 28%	861,4 3%	22,3 19%
11	1,17 87%	1,13 88%	1,30 87%	1,02 90%	1,11 86%	1,24 88%	160,7 0%	726,8 6%	30,0 45%
17	1,53 81%	1,64 80%	1,59 83%	1,58 81%	1,45 81%	1,51 84%	1277,7 13%	3554,4 87%	47,1 34%
25	1,95 72%	1,81 72%	1,95 73%	2,10 73%	1,89 75%	1,86 75%	8498,8 2%	358136 2%	71,9 25%
38	2,36 64%	2,46 63%	2,34 64%	2,58 65%	2,64 61%	2,28 64%	∞	∞	104,6 14%
57	4,33 47%	3,73 49%	3,68 51%	3,86 49%	3,87 50%	3,52 49%	∞	∞	154,6 44%
86	5,39 36%	5,31 37%	5,13 36%	6,14 34%	5,33 38%	5,89 35%	∞	∞	173,2 32%
129	11,7 22%	10,9 20%	12,6 20%	10,9 22%	12,9 20%	12,4 20%	∞	∞	293,9 21%
194	45,2 8%	34,7 10%	36,1 10%	48,8 11%	28,1 11%	39,8 10%	∞	∞	322,8 14%

Таблица 5. Распределение Стьюдента. IF, уровень принятия

Размерность	LTG (H,G)	LTG (G)	LTG (0)	MALA (H,G)	MALA (G)	MALA (0)	MALA-diag (G)	MALA-diag (0)	RW
2	1,81 46%	9,96 81%	8,47 70%	32,0 32%	11,2 82%	7,98 72%	20,6 50%	31,1 39%	23,8 69%
3	1,31 41%	12,1 77%	10,8 60%	55,1 27%	12,9 74%	12,1 61%	118,5 22%	289,8 24%	31,4 58%
5	2,57 24%	15,1 67%	18,8 45%	81,2 12%	13,8 66%	14,2 47%	445,6 13%	3033,8 5%	40,1 53%
7	4,51 16%	15,8 60%	21,1 35%	277,6 5%	15,8 59%	18,9 39%	7367,4 40%	17191,1 19%	45,9 39%
11	16,6 7%	17,8 54%	36,2 26%	3354,9 2%	19,2 49%	42,6 21%	2057,7 0%	19304,0 24%	55,0 28%
17	1443,0 1%	22,8 40%	56,2 12%	2474,9 0%	22,8 40%	52,9 11%	539,2 19%	3395,5 4%	63,3 19%
25	97401,8 0%	32,5 34%	245,7 6%	∞	34,5 32%	187,5 6%	∞	∞	115,8 13%
38	∞	39,7 24%	701,4 46%	∞	41,2 23%	544,0 28%	∞	∞	110,7 14%
57	∞	59,8 15%	762,8 63%	∞	56,7 15%	604,3 16%	∞	∞	145,7 65%
86	∞	152,4 7%	1006,1 24%	∞	139,8 21%	874,1 67%	∞	∞	162,7 57%
129	∞	261,0 28%	1504,2 14%	∞	257,6 12%	881,8 54%	∞	∞	170,2 50%
194	∞	230,4 20%	1351,7 39%	∞	428,5 40%	2389,9 48%	∞	∞	306,4 39%

плотности (пусть и урезанной) аппроксимации показывают себя очень хорошо и, соответственно, дают результаты, аналогичные использующим информации о градиенте и гессиане. Тем не менее с ростом размерности пространства растет вероятность оказаться вблизи границы носителя функции, в результате чего снижается оптимальный уровень принятия. Результаты MALA и LTG также очень близки друг к другу.

Результаты для распределения Стьюдента представлены в табл. 5 (0 — указывает на аппроксимации градиента и гессиана). Еще более плоское, чем предыдущие, распределение с более тяжелыми хвостами усугубило особенности, наблюдавшиеся для гамма-распределения. Привлечение данных о гессиане ведет к провальным результатам, за исключением малых размерностей. Это неудивительно, учитывая нарушение глобальной выпуклости логарифма функции плотности. Результаты RW ухудшаются, но в меньшей степени, чем у других алгоритмов (особенно в случае большой размерности). Алгоритмы, использующие данные о градиенте (или его аппроксимации), демонстрируют хорошие результаты при малой и средней размерности пространства, но при большой сравниваются (для LTG) или начинают уступать (для MALA) подходу RW.

Минимальная неэффективность выборки достигается при уровне принятия, заметно выходящем за пределы интервала 23,4–40%, причем это наблюдается и на большой, и на малой размерности пространства.

Результаты для распределения вида  $X$  представлены в табл. 6. Показатели RW существенно ухудшаются, а для алгоритмов с информацией о гессиане оказываются намного лучше. Алгоритмы с данными о градиенте также многократно обыгрывают RW и сильно уступают методам с гессианом. А вот методы, использующие аппроксимацию градиента, демонстрируют крайне слабые результаты, что, по всей видимости, связано с неудачностью аппроксимации гессиана (гессиан вдали от мода сильно отличается от гессиана в моде). Можно отметить, что MALA(H, G) дает практически единичную эффективность, обыгрывая LTG(H, G), но в случае отсутствия данных о гессиане уже LTG начинает обыгрывать MALA-алгоритм.

Результаты для смеси распределения представлены в табл. 7. Результаты RW несильно ухудшаются по сравнению с результатами компонентов смеси. Результаты MALA и LTG во всех версиях для малой и средней размерности заметно лучше, чем у RW. Однако для большой размерности резко растет неэффективность при использовании гессиана и чуть медленнее — при градиенте.

Таблица 6. Распределение X. IF, уровень принятия

Размерность	LTG (H, G)	LTG (G)	LTG (0)	MALA (H, G)	MALA (G)	MALA (0)	MALA-diag (G)	MALA-diag (0)	RW
2	1,96 65%	79,9 87%	173,7 26%	2,01 45%	97,3 63%	180,0 26%	352,3 88%	887,3 68%	140,9 82%
3	2,70 74%	117,4 62%	250,5 25%	1,32 66%	140,5 48%	295,9 28%	3837,8 24%	6925,8 2%	169,3 46%
5	1,73 87%	87,8 65%	493,8 14%	1,10 91%	123,8 43%	570,0 15%	30451,7 4%	1757,0 0%	475,4 56%
7	1,97 90%	59,5 79%	609,8 8%	1,00 98%	136,6 40%	413,9 7%	11648,5 0%	13947,6 13%	381,9 22%
11	6,56 91%	59,1 72%	3014,7 44%	1,04 100%	126,5 35%	3224,6 2%	∞	∞	587,9 16%
17	7,67 95%	50,5 64%	5333,2 10%	1,15 100%	142,9 33%	1921,2 90%	∞	∞	916,4 65%
25	1,89 92%	49,4 74%	3840,4 50%	1,12 100%	157,5 30%	3444,0 65%	∞	∞	1202,2 20%
38	5,58 74%	92,9 49%	9001,7 42%	1,19 100%	91,1 80%	9951,8 47%	∞	∞	451,9 19%
57	2,17 79%	36,1 58%	3059,3 34%	1,12 100%	166,4 23%	2959,2 46%	∞	∞	1301,6 38%
86	2,92 75%	73,4 68%	9325,0 21%	1,18 100%	62,8 69%	5337,5 33%	∞	∞	888,4 45%
129	2,30 72%	18,2 62%	20349,5 23%	1,12 100%	616,8 11%	6748,9 32%	∞	∞	2077,6 23%
194	3,91 51%	70,0 50%	35326,6 6%	1,13 100%	73,1 55%	26331,2 60%	∞	∞	1467,8 21%

По всей видимости, это связано с ростом вероятности, что одна из компонент оказывается в зоне тяжелых хвостов. Сравнивая LTG и MALA, можно наблюдать очень близкие результаты.

Уровень принятия оказывается в еще более широких диапазонах, чем в рассмотренных ранее случаях. Также есть общая динамика по снижению уровня принятия с ростом размерности пространства.

Итак, оказалось, что MALA-diag дает ужасные результаты для всех распределений. Результаты RW близки почти для всех рассматриваемых случаев (исключение — нарушение выпуклости функции плотности). Для малой (а часто и средней) размерности методы MALA и LTG оказываются эффективнее, чем RW. Отклонение от лог-квадратичного вида плотности (наличие тяжелых хвостов или острых пиков) ведет к снижению эффективности использования информации о гессиане. Данные об аппроксимации градиента ведут к ухудшению результатов в случае тяжелых хвостов. Результаты LTG очень близки к MALA, но часто немного их превосходят (в среднем отношение IF MALA к IF LTG составляет 5,33 для гессиана, 1,75 — для градиента и 0,98 — для аппроксимации градиента). Что касается уровня принятия, то оно заметно отклоняется от асимптотически оптимального уровня во многих случаях.

Существенным дополнительным фактором при выборе алгоритма MCMC являются вычислительные затраты. Для генерации 1000 наблюдений время расчетов отличается несильно, например, для нормальной плотности (при размерности 194) оно составляет 0,84 мин для версий с гессианом и 0,55–0,57 мин для остальных версий, а для смеси 1,63–1,68 мин для версий с гессианом и 1,19–1,38 мин для остальных. Это связано с тем, что основные вычислительные затраты, особенно для расчетов по ДСОЭР-моделям, связаны с расчетом функции апостериорной плотности. Например, для смеси размерностью 129 выборка LTG(G) в 16,9 раз эффективнее, чем RW. Однако если рассчитывать градиент методом конечных разностей, то время расчетов LTG(G) возрастает в 129 раз и уже RW становится в 7,6 раз эффективнее. Если же расчет градиента аналитически ведет к меньшему увеличению времени расчетов, преимущество LTG(G) сохранится. То есть для сравнения алгоритмов, применяющих гессиан/градиент и их не использующих, необходимо знать вычислительные затраты, связанные с их расчетом.

Отметим, что полученные показатели эффективности выборки для RW, на рассмотренных плотностях, намного лучше, чем величины, получающиеся для ДСОЭР-моделей (Chib, Ramamurthy, 2010). Поэтому посмотрим, какими будут результаты для ДСОЭР-модели: для этого возьмем модель

Таблица 7. Смесь распределений. IF, уровень принятия

Dim	LTG (H, G)	LTG (G)	LTG (0)	MALA (H, G)	MALA (G)	MALA (0)	MALA-diag (G)	MALA-diag (0)	RW
2	1,65 88%	1,32 91%	1,14 94%	1,70 87%	1,32 93%	1,22 94%	1,85 56%	1,70 57%	8,99 56%
3	1,77 81%	1,43 91%	1,26 93%	2,04 79%	1,34 88%	1,18 91%	4,46 67%	3,45 43%	12,9 46%
5	1,54 76%	1,32 85%	1,19 91%	1,99 76%	1,33 83%	1,25 90%	85,3 21%	83,5 18%	13,6 31%
7	2,48 71%	1,53 80%	1,44 89%	2,63 65%	1,54 81%	1,22 89%	680,6 2%	540,4 6%	14,7 30%
11	3,40 57%	2,49 75%	1,65 86%	4,65 55%	2,13 75%	1,53 86%	1358,7 45%	2818,1 9%	57,2 17%
17	6,97 40%	4,37 68%	2,98 83%	7,50 37%	3,96 70%	2,41 83%	2516,1 0%	1471,7 1%	61,1 17%
25	6,83 34%	5,06 62%	3,13 83%	10,5 24%	6,22 64%	3,16 84%	70469 2%	152489 2%	65,8 27%
38	9,70 25%	5,11 55%	2,96 77%	19,8 16%	4,65 55%	3,82 78%	∞	∞	98,6 18%
57	15,1 18%	5,16 48%	2,63 72%	28,5 11%	3,50 48%	2,99 73%	∞	∞	138,0 10%
86	70,9 9%	6,44 37%	2,85 67%	175,6 21%	5,99 41%	2,77 67%	∞	∞	125,5 39%
129	2160,3 0%	15,9 25%	5,68 58%	944,3 11%	21,3 23%	4,62 56%	∞	∞	268,2 30%
194	4680,4 0%	201,2 12%	8,02 50%	942,7 27%	147,7 13%	9,28 45%	∞	∞	384,5 72%

Ивашенко (Ивашенко, 2018) с теми же статистическими данными. Изначально модель оценивалась методом максимального правдоподобия. Однако несколько параметров располагаются очень близко к границе допустимых значений, что усложняет работу МСМС-алгоритмов сверх обычного уровня. Соответственно, априорное распределение параметров было изменено (нормальное распределение

Таблица 8. Характеристики МСМС для ДСОЭР-модели России

Мера	МСМС	Цепь					Среднее по цепям	Медиана по цепям
		1	2	3	4	5		
Уровень принятия	LTG	0,82%	2,33%	1,25%	2,78%	1,25%	1,68%	1,25%
	MALA	21,37%	19,91%	11,46%	13,63%	20,67%	17,41%	19,91%
	RW	18,21%	17,55%	17,35%	17,89%	17,00%	17,60%	17,55%
Максимум (IF) по перемен.	LTG	<b>3,69E+4</b>	<b>8,49E+4</b>	<b>7,43E+4</b>	<b>3,45E+4</b>	1,17E+5	<b>6,95E+4</b>	<b>7,43E+4</b>
	MALA	5,19E+4	1,24E+6	2,29E+6	3,52E+5	3,32E+5	8,54E+5	3,52E+5
	RW	1,41E+6	1,86E+9	2,41E+5	3,85E+4	<b>3,60E+4</b>	3,73E+8	2,41E+5
Среднее (IF) по перемен.	LTG	6,67E+3	<b>7,21E+3</b>	<b>6,25E+3</b>	3,88E+3	8,46E+3	<b>6,49E+3</b>	<b>6,67E+3</b>
	MALA	<b>5,94E+3</b>	3,30E+4	1,03E+5	3,79E+4	1,59E+4	3,92E+4	3,30E+4
	RW	5,21E+4	4,44E+7	7,16E+3	<b>2,21E+3</b>	<b>1,92E+3</b>	8,90E+6	7,16E+3
Медиана (IF) по перемен.	LTG	<b>2,60E+3</b>	3,28E+3	2,63E+3	9,07E+2	2,39E+3	<b>2,36E+3</b>	2,60E+3
	MALA	3,29E+3	<b>1,51E+3</b>	4,68E+3	7,82E+3	1,74E+3	3,81E+3	3,29E+3
	RW	3,54E+3	8,36E+3	<b>3,37E+2</b>	<b>3,83E+2</b>	<b>2,51E+2</b>	2,58E+3	<b>3,83E+2</b>
Минимум (IF) по перемен.	LTG	<b>4,24E+1</b>	1,42E+1	2,89E+1	1,04E+0	2,77E+1	<b>2,28E+1</b>	2,77E+1
	MALA	7,03E+2	<b>2,31E+0</b>	7,83E+2	9,16E+2	2,26E+0	4,81E+2	7,03E+2
	RW	2,86E+2	2,64E+2	<b>1,18E+0</b>	<b>1,00E+0</b>	<b>1,00E+0</b>	1,11E+2	<b>1,18E+0</b>

Примечание. Лучший результат по каждой мере выделяется полужирным шрифтом.

со средним, соответствующим оценке ММП и дисперсией для каждого параметра, соответствующего дисперсии оценок ММП). Вдобавок 10 из 52 параметров было зафиксировано. После этого было построено 5 цепей по 50 000 наблюдений (первые 10 000 наблюдений не учитывались) каждым из трех методов (RW, MALA(0), LTG(0)). Результаты представлены в табл. 8.

Анализируя данные в табл. 8, можно увидеть преимущество LTG-алгоритма, однако оно наблюдается лишь в 4 из 5 цепей. Если сравнивать MALA и RW, ситуация неоднозначная — исходя из неэффективности в среднем, преимущество за MALA-алгоритмом, а если брать неэффективность средней цепи, то небольшое преимущество у RW-алгоритма. Если же смотреть на неэффективности не худшего, а среднего параметра (медиану по параметрам), показатели окажутся ближе друг к другу и может показаться (исходя из медианы по цепям), что RW дает лучшие результаты. Однако сходимость правильнее измерять по худшему из параметров.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проводится анализ методов байесовской эконометрики, использующихся для оценки ДСОЭР-моделей. А точнее, свойств МСМС-алгоритмов для мономодальных функций плотности, обладающих неблагоприятными свойствами, встречающимися в апостериорных плотностях, характерных для ДСОЭР-моделей. Такими свойствами являются: носитель плотности отличается от  $R^n$  (наличие штрафного барьера); тяжелые хвосты; острые пики; нарушение выпуклости логарифма плотности или функции плотности. Рассматриваются версии МСМС: стандартный алгоритм случайного блуждания (RW); алгоритм MALA с версиями, использующими локальный гессиан, градиент или аппроксимацию градиента; предложенный алгоритм LTG с версиями, аналогичными MALA.

Было выявлено, что оптимальный уровень принятия, т.е. соответствующий наименьшей неэффективности выборки, отклоняется от асимптотически оптимального для случайного блуждания (23,4%) уровня в достаточно широких пределах. Эффективность алгоритма RW является наиболее стабильной, что объясняет стандартность такого выбора. Однако алгоритмы MALA и LTG демонстрируют большую эффективность практически во всех версиях для малой и средней размерности пространства. Для пространства большой размерности при наличии тяжелых хвостов версии с гессианом демонстрируют плохие результаты, но версии только с градиентом или его аппроксимацией превосходят RW (хотя масштаб преимущества может сильно различаться). В случае использования аппроксимации градиента (или быстрого аналитического его расчета) переход на алгоритмы MALA или LTG не связан с дополнительными вычислительными затратами.

Предложенный алгоритм LTG дает в среднем чуть более эффективную выборку по сравнению с аналогичными версиями MALA для рассмотренных плотностей и их размерностей (в большинстве случаев результаты очень близки). Проверка на ДСОЭР-модели также демонстрирует преимущество LTG.

Данные результаты могут быть полезны применительно не только к ДСОЭР-моделям, но и другим областям, где встречаются мономодальные плотности с аналогичными неудобными свойствами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Ивашенко С.М.** (2018). Экономическая политика России: модель с дискреционной политикой или с инструментальными правилами // *Вестник СПбГУ. Экономика*. Т. 34. Вып. 1. С. 149–172. [**Ivashchenko S.M.** (2018). Russian economic policy: A model with discretionary policy or policy rules. *St. Petersburg University Journal of Economic Studies*, 34, 1, 149–172 (in Russian).]
- Adjemian S., Bastani H., Juillard M., Karame F., Mihoubi F., Perendia G., Pfeifer J., Ratto M., Villemot S.** (2011). Dynare: Reference manual, Version 4. *Dynare Working Papers*, 1, CEPREMAP.
- Bedard M.** (2007). Weak convergence of Metropolis algorithms for non-i.i.d. target distributions. *Annals of Applied Probability*, 17, 4, 1222–1244.
- Blanchard O., Kahn C.** (1985). The solution of Linear Difference Models under rational expectations. *Econometrica*, 45, July, 1305–1311.

- Chib S., Ramamurthy S.** (2010). Tailored randomized block MCMC methods with application to DSGE models. *Journal of Econometrics*, 155, 1, 19–38.
- Chopin N.** (2011). Fast simulation of truncated Gaussian distributions. *Statistics and Computing*, 21, 2, 275–288.
- Christiano L.J., Eichenbaum M., Trabandt M.** (2016). Unemployment and business cycles. *Econometrica*, 84, 1523–1569.
- Cotter S.L., Roberts G.O., Stuart A.M., White D.** (2013). MCMC methods for functions: Modifying old algorithms to make them faster. *Statistical Science*, 28, 3, 424–446.
- Durmus A., Roberts G.O., Vilmart G., Zygalkis K.C.** (2017). Fast Langevin based algorithm for MCMC in high dimensions. *Annals of Applied Probability*, 27, 4, 2195–2237.
- Hammad Q.** (2014). Explosive roots in level vector autoregressive models and vector error correction models. *SSRN Electronic Journal*, 10.2139/ssrn.2652306.
- Herbst E., Schorfheide F.** (2015). *Bayesian estimation of DSGE models*. Princeton: Princeton University Press.
- Iskrev N.** (2010). Local identification in DSGE models. *Journal of Monetary Economics*, 57, 2, 189–202.
- Ivashchenko S., Mutschler W.** (2020). The effect of observables, functional specifications, model features and shocks on identification in linearized DSGE models. *Economic Modelling*, 88, June, 280–292.
- Jarner S., Roberts G.** (2007). Convergence of heavy-tailed Monte Carlo Markov Chain Algorithms. *Scandinavian Journal of Statistics*, 34 (4), 781–815.
- Lucas R.E.** (1976). Econometric policy evaluation: A critique. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 1, 1, 19–46.
- Schmitt-Grohe S., Uribe M.** (2004). Solving dynamic general equilibrium models using a second-order approximation to the policy function. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 28, 4, 755–775.
- Smets F., Wouters R.** (2007). Shocks and frictions in US business cycles: A Bayesian DSGE approach. *American Economic Review*, 97 (3), 586–606.
- Sherlock C., Roberts G.** (2009). Optimal scaling of the random walk Metropolis on elliptically symmetric unimodal targets. *Bernoulli*, 15, 3 (August), 774–798.
- Titsias M.K., Dellaportas P.** (2019). *Gradient-based adaptive Markov chain Monte Carlo*. arXiv:1911.01373
- Tovar C.E.** (2009). DSGE models and central banks. *Economics-The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, 3 (16), 1–31.

## Computational efficiency of Bayesian estimation techniques for “unfavorable” density

© 2021 S.M. Ivashchenko

**S.M. Ivashchenko,**

*The Institute of Regional Economy Studies (Russian Academy of Sciences), Saint Petersburg; Financial Research Institute, Ministry of Finance, Moscow; Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia; e-mail: sergey.ivashchenko.ru@gmail.com; glucke\_ru@pisem.net*

Received 05.10.2020

*The reported study was partly funded by RFBR according to the research (project 18-010-01185) «Structural changes in Russia: The role of human capital and investments».*

*The author expresses personal ideas, which may not correlate with the official position of the Bank of Russia. The Bank of Russia carries no responsibility for the content of the article.*

**Abstract.** The Bayesian estimation of dynamic stochastic general equilibrium (DSGE) models implies usage of Monte Carlo Markov Chain (MCMC) algorithms. The analysis of MCMC algorithms is made for densities with unfavorable properties common in DSGE models (restricted density support, heavy tails, sharp peaks, non-convex log-density, and non-convex density). Three groups of algorithms are investigated: random walk (RW), MALA and suggested LTG (local truncated Gauss). Three versions of MALA and LTG are investigated: the version using local hessian and gradient of log-density, the version using only local gradient and the version that uses only information about the mode. Performance of MALA and LTG are close to each other. There is some advantage of LTG in average and in test with DSGE model. RW performance is worse than MALA or LTG (especially for small-scale cases). The computational costs are almost the similar to RW and approximation based versions of MALA or LTG. Existence of heavy tails leads to decrease of advantage of MALA and LTG algorithms. Acceptance rate (corresponding to the lowest inefficiency of sample) can be quite different from conventional values.

**Keywords:** MCMC, Markov chain Monte Carlo, Metropolis–Hastings algorithm, Bayesian econometrics techniques.

**JEL Classification:** C11.

**DOI:** 10.31857/S042473880014916-6

## Компьютерный алгоритм формирования привычки у человека

© 2021 г. В.А. Истратов

**В.А. Истратов,**

ЦЭМИ РАН, РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия; e-mail: istratov@cemi.rssi.ru

Поступила в редакцию 01.12.2020

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-010-01091).*

**Аннотация.** Привычки людей давно попали в поле зрения ученых, но до сих пор не выработано ни их единого понимания разными областями знаний, ни предпочтительного способа формализации их самих и процесса их возникновения. Для работы мы опирались на определение привычки как действия, исполнение которого доведено до автоматизма и провоцируется возникновением определенных условий. Эта трактовка была заложена в предлагаемый компьютерный алгоритм формирования привычки. К традиционному требованию, что привычка возникает путем многократного повторения действия, были добавлены важные условия, определяющие возможность и характер формирования привычки: 1) желательность действия; 2) эффективность выполнения действия при определенных внешних условиях; 3) его бессознательное выполнение; 4) постоянство внешних обстоятельств. Бессознательное выполнение действия также было определено через соблюдение ряда условий. Алгоритм рассчитан на модели с дискретным временем. Привычка имеет явное представление в алгоритме: в виде отдельного класса (типа данных в программировании). По возможности предпочтение отдавалось дискретным подходам вместо тех, что используют непрерывные функции. После реализации алгоритма на языке программирования были проведены количественные эксперименты на условных данных. В них алгоритм успешно сформировал привычки во всех экспериментах, не создав при этом неинтерпретируемых вариантов. Алгоритм продемонстрировал значительную гибкость и универсальность по отношению к модели, описывающей поведение. Для прикладных расчетов требуется подобрать пороговые значения определенных переменных, соответствующие объектам исследования.

**Ключевые слова:** привычка, поведение, принятие решений, моделирование, математическое моделирование, компьютерное моделирование.

**Классификация JEL:** D03, Y80, C69.

**DOI:** 10.31857/S042473880014910-0

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Привычки в поведении людей — тема обширная как по содержанию, так и по числу научных источников. И, несмотря на долгую историю ее изучения, по сей день в ней много неясного.

В частности, до конца непонятно, как именно привычка выполняет свою функцию — экономить вычислительные ресурсы мозга при решении повторяющихся задач. Эта неясность касается как физиологических (есть главный кандидат на роль зоны формирования привычки в головном мозге, но не хватает бесспорных аргументов в его пользу), так и психологических аспектов (в традиционном подходе к принятию решения привычка антагонистична целеориентированному поведению (например, (Dolan, Dayan, 2013)), но все чаще появляются теории, объясняющие поведение взаимодействием привычки со стремлением к цели (например, (Malvaez, Wassum, 2018))). Возможно, поэтому отсутствует общепринятая формализованная теория формирования и развития привычки.

Наибольшее внимание привычкам уделяется в психологии, физиологии, медицине. Немало внимания привычкам досталось и в экономической литературе (Истратов, 2019). Однако экономисты чаще работают со зрелыми привычками, нежели изучают их на этапе становления.

## 2. ПОНИМАНИЕ ПРИВЫЧКИ

В областях знаний, занимающихся исследованиями привычки, парадоксальным образом до сих пор не выработано ее единого понимания, хотя относительно ее функции консенсус достигнут. Словарной статьи, посвященной привычке, не найти даже в таких больших экономических словарях, как *Palgrave Dictionary of Economics* (Durlauf, Blume, 2008) и *MIT Dictionary of Modern Economics* (Pearce, Shaw, 1992). И не только в них. При этом в одной лишь экономической теории используется не менее трех определений привычки: «привычка — устоявшийся образ мыслей, привычка — ослабленная реакция на некоторый стимул, и (наиболее популярная интерпретация) привычка — как действие, доведенное до исполнения, близкого к автоматическому. В литературе встречается не очень четкое деление привычек на индивидуальные и общественные» (Истратов, 2019, с. 61).

В свою очередь, третья из упомянутых трактовок близка к психологическому понятию навыка — «доведенного до автоматизма путем многократных повторений действия; критерием достижения навыка служат временные показатели выполнения, а также тот факт, что выполнение не требует постоянного и интенсивного внимания (контроля)» (Мещеряков, Зинченко, 2009). Для определения привычки Большой психологический словарь Б.Г. Мещерякова и В.П. Зинченко предлагает неоднозначное, трудно формализуемое определение: автоматизированное действие, выполнение которого в определенных условиях стало потребностью.

Пытаясь навести порядок в этом вопросе, эрготерапевты Ф. Кларк с коллегами (Clark et al., 2007) выделили девять различных интерпретаций привычки, существующих в различных науках: тик; нейронные сети; обусловленная реакция; пристрастие; отдельные ежедневные виды деятельности; рутина; обычай, ритуал, обряд или церемония; черта характера; габитус.

Учитывая такую разноголосицу, мы будем для определенности отталкиваться от обобщенного понимания привычки — как действия, исполнение которого доведено до автоматизма и провозируется возникновением определенных условий. В такой формулировке проявляется некоторое сходство привычки с рефлексом.

## 3. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРИВЫЧКИ

На фоне обилия работ, занимающихся исследованием привычки, попыток формально описать процесс формирования привычки было предпринято относительно немного. И что важнее — они не привели к созданию модели, которая бы считалась исследователями отправной точкой, стандартом в данной области.

Можно выделить три больших подхода к формализации описания привычки и процесса ее формирования:

- 1) частотно-индексный;
- 2) с традиционными математическими методами;
- 3) с компьютерными методами.

**Частотно-индексный подход.** Подход, основанный на частотных оценках привычки и индексах, является сугубо прикладным. Традиционно психологи рассчитывали частоту выполнения того или иного действия за некоторый период времени, чтобы оценить уровень формирования привычки (например, (Wood, Quinn, Kashy, 2002)). При этом четкого критерия, какая величина частоты означает наличие привычки, а какая — ее отсутствие, не существует.

Индекс представляет собой число, которое обозначает, в какой мере выражена привычка в конкретный момент времени. Содержательно индекс берет начало в идее частотного измерения привычки. Однако вместо непосредственных замеров частоты выполнения действия используются субъективные оценки, которые дают респонденты в ходе опросов. В качестве примеров индекса можно привести SRHI (Self-Report Habit Index) и SRBAI (Self-Report Behavioural Automaticity Index). Применительно к индексам тоже используют пороговые значения, чтобы отличать наличие привычки от ее отсутствия (например, (Lally et al., 2010)).

Данный подход не раскрывает внутренней сути процесса формирования привычки, но предлагает возможность отслеживать изменение силы проявления привычки (путем регулярного проведения опросов и расчета индекса). Точность оценок, предлагаемых данным

подходом, — вопрос дискуссионный. Сильной стороной данного подхода является содержательная простота.

**Подход с традиционными математическими методами.** Особенностью данного направления можно считать смысловую чужеродность идеи привычки применяемым методам, которые выработались для решения иных задач. Эти методы не улавливают сути привычки: специфики ее формирования и функционирования. Со временем применение этих методов было механически распространено на область исследования привычки благодаря их абстрактности. Результат в целом выглядит неорганичным, хотя и приемлемым в отдельных ситуациях.

К таким традиционным методам относится регрессионный анализ. Он позволяет включить в уравнение регрессии любой фактор (в том числе привычку), коль скоро этот фактор имеет количественное выражение. Но обыкновенное представление привычки в виде слагаемого или множителя в регрессионном уравнении вызывает сомнения, поскольку не передает сути привычки (рождающейся в ответ на некоторую потребность при многократном повторении одного и того же действия в одних и тех же условиях и срабатывающей при возникновении тех же условий).

Регрессионный анализ требует количественных оценок параметров. На роль числовых оценок привычки хорошо подходят индексы, о которых речь шла выше. Впрочем, любой другой способ количественного представления привычки формально подходит для проведения построения регрессии. Примеры использования регрессионного анализа для оценки привычек — работы М. Фурнье (Fournier et al., 2017), А. Гербера (Gerber et al., 2003).

Схожим образом привычка реализована в рамках другого традиционного для экономического анализа метода — решения оптимизационных задач. Привычка представляется числовым параметром в целевой функции и иногда — в функциях-ограничениях. Такому представлению свойственны те же трудности в раскрытии содержания привычки, что возникают и у регрессионного анализа. Все же в некоторых работах (например, (Stigler, Becker, 1977)) привычка представляется функцией от других параметров, что позволяет более детально рассматривать процесс ее образования. Но способ воздействия привычки на окончательное решение остается принципиально тем же: аддитивно-мультипликативным, — т.е. мы имеем дело с несколькими факторами, чье взаимодействие сведено к нескольким стандартным операциям (сложения, умножения и родственным им). Оптимизационная задача требует только числовых переменных, не накладывая на них содержательных ограничений. Поэтому в качестве измерителя привычки можно брать как индексы, так и любые иные формы численного выражения — на усмотрение исследователя. Другие примеры решения оптимизационных задач с привычкой — в работах (Carroll, Overland, Weil, 2000; Faria, León-Ledesma, 2004).

В рамках оптимизационного направления особо выделяются работы об устойчивости привычки (habit persistence), рассматривающие привычку в качестве центрального объекта исследований. Однако привычка в них понимается весьма своеобразно: как некое общее влияние прошлого потребления на текущее, некая форма стабильного от периода к периоду потребления. Показательно уравнение из статьи Р. Хирагучи (Hiraguchi, 2011, p. 431)  $s_{t+1} = c_t$ , где  $c_t$  — потребление в период  $t$ ;  $s_t$  — привычка в период  $t$ . Формы математического выражения главной идеи разнообразны, и, как правило, в них используются намного более сложные математические зависимости, чем в приведенном примере. Такой подход позволяет в явном виде изучать динамику привычки, однако нечеткость и узость ее определения создают трудности, которых не было у предыдущих методов. Другие работы по устойчивости привычки — (Pollak, 1970; Abel, 1990).

Иногда в основе подхода лежат функции вероятности. Например, в модели П. Гудвина (Goodwin, 1977) такая функция определяет выбор одного из альтернативных решений человека. Однако автор интерпретирует привычку как некий дисконт для издержек и просто вычитает этот дисконт из величины издержек. Гудвин рассматривает два случая, когда привычка выражена числовым параметром и когда привычка определена вероятностной функцией. Второй случай в отличие от первого дает возможность изучать причины возникновения привычки.

**Подход с компьютерными методами.** Специфика компьютерных подходов в том, что они могут выступать как в роли графической оболочки для традиционных методов, так и использовать специфические компьютерные методы вычислений. Очень часто в рамках одной модели применяются и традиционные, и сугубо компьютерные методы. Более того, авторы нередко добавляют в свои компьютерные модели оригинальные элементы, которые плохо поддаются классификации.

В случае если компьютерная программа — лишь оболочка, результат достигается с помощью обычных математических методов, но описанных языком программирования, что дает новое визуальное представление (отслеживание значений показателей в режиме реального времени, динамические графики и т.п.) и ускорение расчетов. В ситуациях, когда скорость вычислений или наглядность являются критическими, востребованы такие модели. Однако будучи лишь оболочкой, программа воспроизводит содержательные достоинства и недостатки используемых математических методов.

Так, например, в работе (Linkola, Andrews, Schuetze, 2013) для решения поставленной задачи использовалось вполне традиционное для психологии представление привычки как частоты выполнения действия за некоторый период времени.

Примером промежуточного варианта, когда к традиционным математическим методам добавляются компьютерные, может служить модель Ходжсона—Кнудсена (Hodgson, Knudsen, 2004). В основе их компьютерной модели лежит математическая модель, представляющая собой систему уравнений с лагированными переменными. Авторы представили привычку как произведение трех множителей (привыкания — степени выраженности привычки, гена привычки — экзогенного параметра, описывающего стремление человека учитывать в своем поведении приобретенное привыкание, и веса привычки — постоянного неотрицательного коэффициента). Привычка формируется постепенно от такта к такту (время в модели дискретно) — по мере совершения человеком действий.

К сугубо компьютерным методам относятся, например, различные способы машинного обучения, которые часто используются при моделировании привычки. Среди них особенно популярно обучение с подкреплением, суть которого заключается в том, что чем чаще действие успешно выполняется в определенных обстоятельствах, тем выше вероятность того, что это действие станет привычным, а эти обстоятельства позже станут провоцировать срабатывание привычки (например, (Han et al., 2009)). На эту традиционную основу могут накладываться самобытные авторские идеи, как, например, концепция итерационной изменяемой сенсомоторной среды Эгберта—Барандиарана (Egbert, Barandiaran, 2014).

Общая идея обучения с подкреплением может просматриваться и в простых моделях, формально не реализующих данный способ машинного обучения. Например, в модели Робертс—Ли (Roberts, Lee, 2012) привычка представлена отдельной переменной, и в каждый такт времени (время в модели дискретно), когда человек совершает правильное действие, величина этой переменной увеличивается на фиксированное число, усиливая привычку. Усиление привычки постепенно снижает вариативность поведения: человек все чаще отдает предпочтение привычному действию.

Также популярны искусственные нейронные сети. Однако нет общепринятого приема, как представлять привычку с их помощью. Поэтому авторы предлагают собственные подходы. Например, в (Read et al., 2018) привычка представлена как связь между слоями нейронной сети.

Очень характерна для компьютерного подхода концепция, включающая множество разнообразных авторских методов. Она заключается в описании привычки как многопараметрического объекта с набором явно выписанных правил поведения. Правило может выглядеть, например, как сочетание условия и вытекающего из него результата (поведения), как в работе (Klein et al., 2011). Сильная сторона этой концепции — в большой гибкости. Недостатки и остальные достоинства зависят от конкретных способов реализации концепции.

Наконец, существует огромный пласт моделей, которые не опираются ни на традиционные математические методы, ни на популярные компьютерные методы вычислений. Они самобытны в той мере, в которой различается пересказ одних и тех же событий разными людьми, и могут насчитывать всего несколько аналогов, поэтому их трудно классифицировать в крупные категории.

Например, в (Amougox et al., 2014) в понимании привычки авторы отталкиваются от стабильности выполнения действий во времени: если действие выполняется достаточно регулярно в одно и то же время, то считается, что имеет место привычка. Авторы анализируют динамику четырех переменных, объединенных в кортеж, который полностью характеризует выполнение действия: период выполнения действия; частоту выполнения за этот период; вариативность частоты (представляющей собой качественную величину с возможными значениями «малая», «средняя», «большая») и набор предпочтительных подпериодов внутри периода.

Подробнее о различных способах формализации привычки и способах ее формирования см. в (Истратов, 2020а).

## 4. АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИВЫЧКИ

При разработке алгоритма формирования привычки важно учесть те факторы, которые отражают суть феномена привычки. Мы выделили следующие факторы (Истратов, 2020б).

1. Повторяемость действия. Привычка формируется благодаря многочисленным выполнением одного и того же действия в одних и тех же обстоятельствах. Открытыми остаются вопросы, как много требуется повторов и насколько одинаковыми должны быть обстоятельства, чтобы возникла привычка.

2. Результативность действия. Успешное получение ожидаемого результата от выполнения действия делает возможным формирование привычки. Не во всех работах этому фактору уделяется внимание, но в компьютерных моделях, использующих обучение с подкреплением, он является одним из основных.

3. Неизменная цель действия. Выполнение одного и того же действия с разными целями затруднит формирование привычки.

4. Важность действия. На протяжении всего периода формирования привычки соответствующее действие должно оставаться более или менее важным для человека. В случае повышенной изначальной важности в какой-то момент она должна начать снижаться, давая возможность отвлечь внимание и автоматизировать выполнение действия.

5. Сложность обстоятельств. По всей видимости, сложность среды и условий исполнения действия влияет на скорость формирование привычки двояко. С одной стороны, трудности с выделением сигналов из среды затрудняют возникновение привычки. С другой стороны, чем сложнее среда, тем больше экономия мыслительных ресурсов при переходе на автоматизированное выполнение действия (при выборе адекватных сигналов), а это быстрее закрепляет возникшую привычку.

Кроме того, полезно помнить про два косвенных признака, которые зачастую используют для обнаружения привычки в поведении (например, (Pauli et al., 2018)):

а) выполнение привычного действия не реагирует на уменьшение значимости результата (т.е. человек, у которого сформировалась привычка, продолжает выполнять привычное действие, даже если результат этого действия потерял для него ценность);

б) выполнение привычного действия не реагирует на изменение результата (т.е. человек повторяет привычное действие, даже когда оно перестает давать желаемый результат).

Мы будем исходить из того, что учет названных факторов и обнаружение упомянутых признаков будет свидетельствовать о достаточном качестве алгоритма формирования привычки.

Что касается реализации и вопроса о явном или неявном представлении привычки, то мы склоняемся к ее явному представлению — в виде отдельного параметра/ переменной/ программного типа данных (класса). Неявное представление (например, в виде конфигурации нейронных сетей или динамических эффектов) интуитивно кажется ближе к тому, как информация о привычке кодируется в мозге, но оно проигрывает явному — в возможностях отладки, верификации и интерпретации содержания параметров и результатов. Поэтому на начальном этапе исследования явное представление привычки приобретает дополнительную ценность.

Кроме того, на наш взгляд, у сознания человека много дискретных (прежде всего дихотомических) аспектов. При моделировании полагаться лишь на непрерывные (а уже тем более на гладкие) функции — слишком сильное допущение, оправданное лишь отсутствием более подходящего инструментария. Поэтому мы стараемся по возможности использовать дискретный подход, например, опирающийся на качественные понятия (Истратов, 2018).

**Описание алгоритма.** По содержанию процесс формирования привычки мы разбили на три этапа. Эти этапы не в равной мере отражены в алгоритме: акцент сделан на втором и третьем этапах.

На первом этапе человек учится выполнять новое действие. С первым успешным выполнением действия первый этап завершается.

Однако для формирования привычки простого умения выполнять действие недостаточно. Поскольку все затруднения в процессе исполнения требуют сознательного решения, то они замедляют автоматизацию действия. Следовательно, нужно, чтобы выполнение протекало без сбоев, и когда число срывов становится минимальным, второй этап считается завершенным.

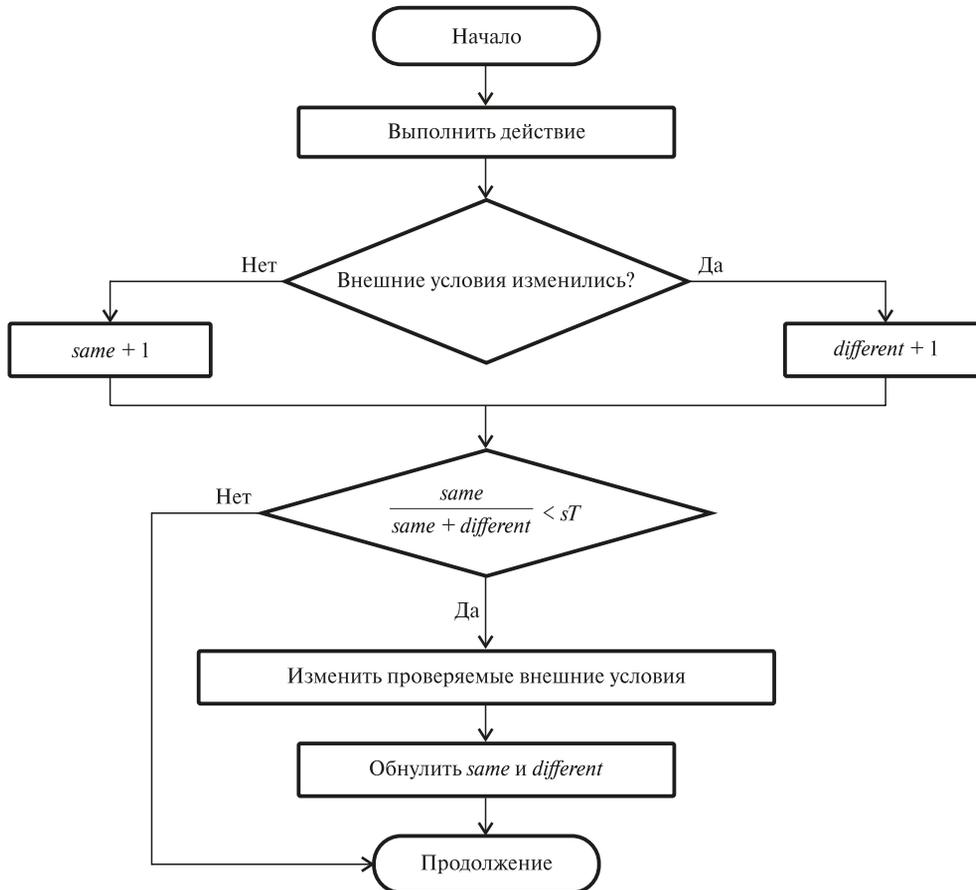


Рис. 1. Компьютерный алгоритм формирования привычки. Стабильность обстоятельств

На третьем этапе происходит работа над автоматизацией выполнения действия, и завершается он, когда действие успешно выполняется без участия сознания. Итогом третьего этапа становится формирование привычки.

Алгоритм предполагает, что в начале такта (алгоритм рассчитан на модели с дискретным временем) человек в компьютерной модели выполняет действие, после чего проводятся расчеты, связанные с привычкой (рис. 1). Сначала проверяется, насколько актуальны внешние условия при выполнении действия. Внешнее условие — значение параметра, характеризующее какое-либо обстоятельство выполнения действия. Если обстоятельства не изменились (по сравнению с предыдущими выполнениями того же самого действия), то возрастает на единицу значение переменной, которая отсчитывает случаи совпадения обстоятельств выполнения (*same*). В противном случае увеличивается на единицу значение переменной, отсчитывающей случаи несовпадения (*different*) обстоятельств.

После этого проверяется необходимость смены внешних условий. Если доля случаев выполнения действия при одних и тех же обстоятельствах окажется слишком низкой (меньше порога стабильности  $sT$ ), то внешние условия изменяются и переменные-счетчики (*same* и *different*) обнуляются. В противном случае изменений не происходит.

Затем (рис. 2) определяется число случаев успешного (*successes*) и безуспешного (*fails*) выполнения действий при данных обстоятельствах (учитываются не все возможные обстоятельства, а только те, которые влияют на формирование привычки). Выполнение считается успешным, если от выполнения действия человек получал результат, на который рассчитывал, и безуспешным — в ином случае. Если доля успехов среди всех случаев выполнения действия не ниже порога успешности ( $mT$ ), считаем, что человек отточил выполнение данного действия.

Отточенность исполнения — необходимое условие для перехода к бессознательному выполнению действия, которое, в свою очередь, является важнейшим условием формирования привычки. Смоделировать бессознательную или подсознательную деятельность — отдельная

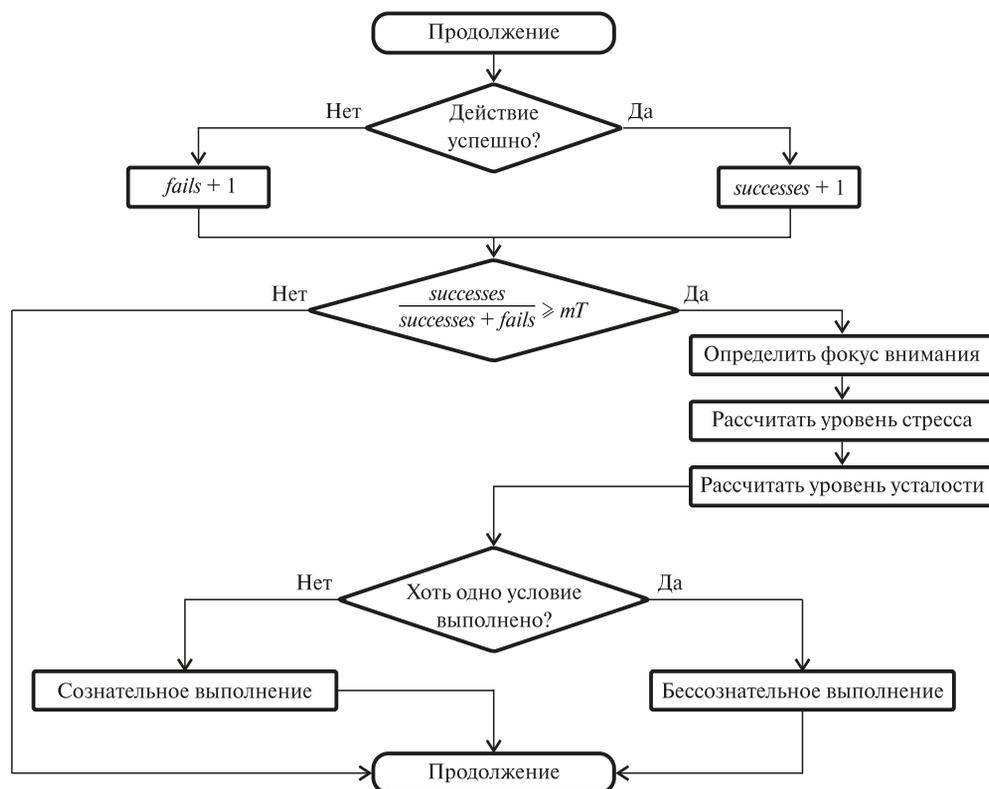


Рис. 2. Компьютерный алгоритм формирования привычки. Бессознательность выполнения

колоссальная задача, которая еще никем не решена в общем виде, она представляет собой один из крупнейших вызовов для моделирования мышления человека. Поэтому было решено немного срезать углы: мы не стали пытаться воспроизвести в модели сознательное и подсознательное мышление человека, однако мы предположили (вполне в духе качественного моделирования — см. (Истратов, 2018)), в каких ситуациях сознание может уступать контроль бессознательному. В итоге мы выделили три условия: если во время исполнения действия мысли человека заняты другой проблемой, если он находится в состоянии сильного стресса или если он сильно устал (см. рис. 2). И в дальнейшем мы исходили из того, что при возникновении любого из этих условий действие выполняется бессознательно. Эти три условия выбраны не за их особую важность, а по причине удобства моделирования. Если продолжать эту линию рассуждений, то можно выделить еще множество обстоятельств, приводящих к бессознательным решениям.

Отдельная проблема — конкретная программная реализация выбранных условий. Здесь мы исходили из возможностей модели поведения человека (Истратов, 2009), на которой апробировали алгоритм формирования привычки. А именно: в модели у агентов есть показатели стресса и усталости. Мы ввели пороговые значения этих показателей: их превышение означало выполнение соответствующих условий, т.е. человек находится в сильном стрессе и/или сильно устал. Сложнее было моделировать, чем заняты мысли человека. Мы вновь обратились к качественному подходу, чтобы найти условие, позволяющее небезосновательно считать, что мысли человека заняты не тем, что он делает. Было решено, что если есть другие действия с текущей склонностью (т.е. с силой намерения человека выполнить данное действие), превышающей текущую склонность выполняемого в данный момент действия, то это и будет считаться ситуацией, когда агент делает одно действие, а мысли его заняты другим действием. Поскольку по разным причинам наиболее желательное действие (с наибольшей текущей склонностью) может оказаться невыполнимым в данный момент.

Если выполнение действия стало бессознательным, то мы проверяем остальные критерии возникновения привычки: а) желательность действия, б) эффективность выполнения действия при проверяемых внешних условиях, в) соблюдение проверяемых внешних условий. Если эти

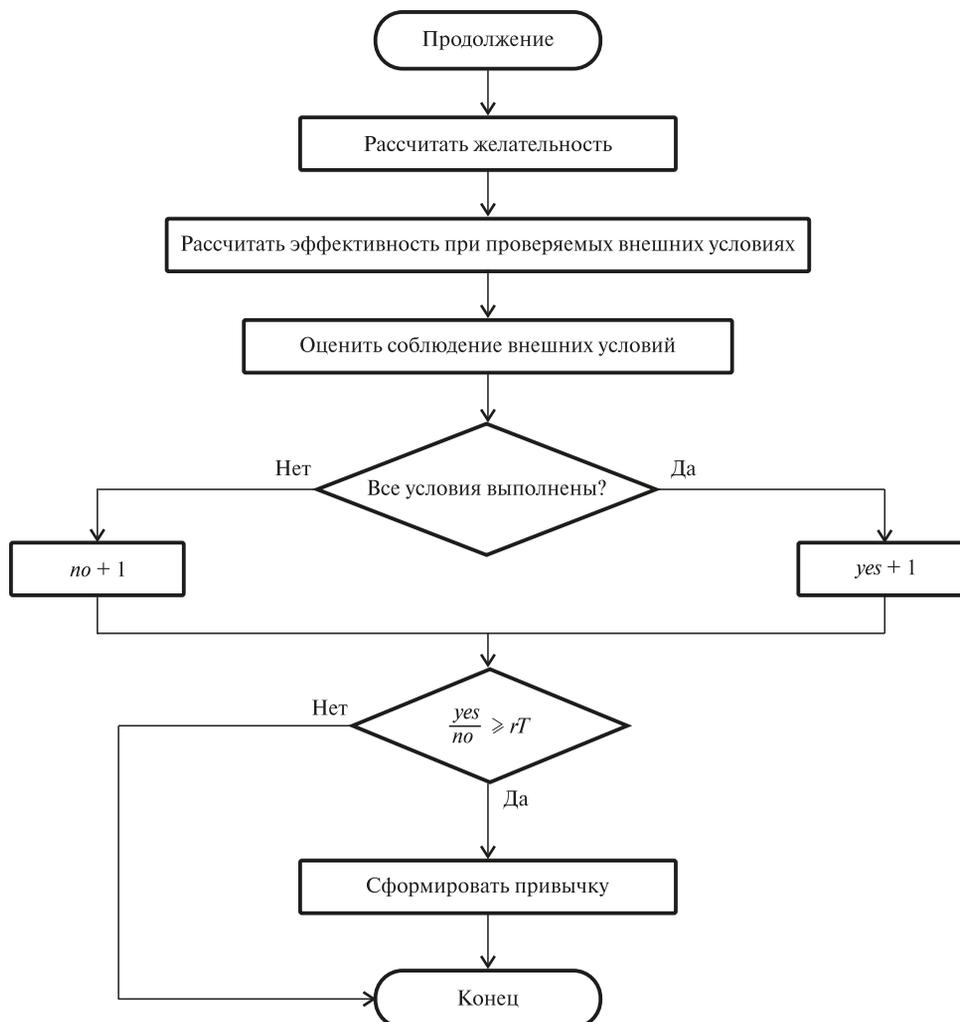


Рис. 3. Компьютерный алгоритм формирования привычки. Окончательная проверка

три критерия возникновения привычки также выполнены, то значение переменной, которая хранит число случаев соблюдения всех четырех условий (*yes*), возрастает на единицу, в противном случае на единицу возрастает значение переменной, которая хранит число случаев, когда хотя бы одно условие было нарушено (*no*) (рис. 3).

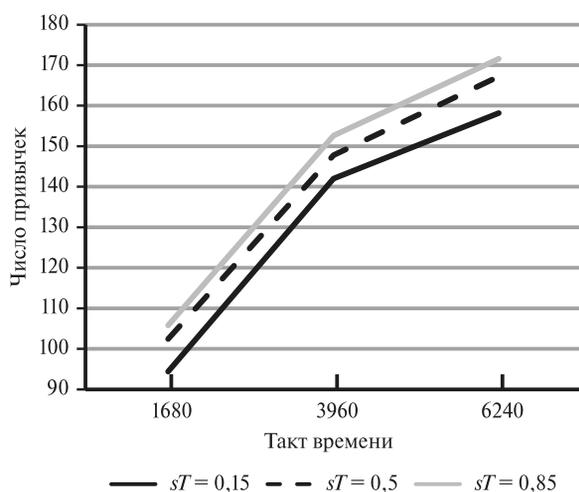
Затем проверяется отношение переменных *yes* и *no*: если оно оказывается не ниже порога готовности (*rT*), то формируется привычка (т.е. на уровне программы создается экземпляр класса «привычка»). В противном случае привычки не возникает.

Алгоритм рассчитан на модели с дискретным временем, поэтому в следующий такт времени вся описанная процедура повторяется с учетом последствий нового выполнения действия.

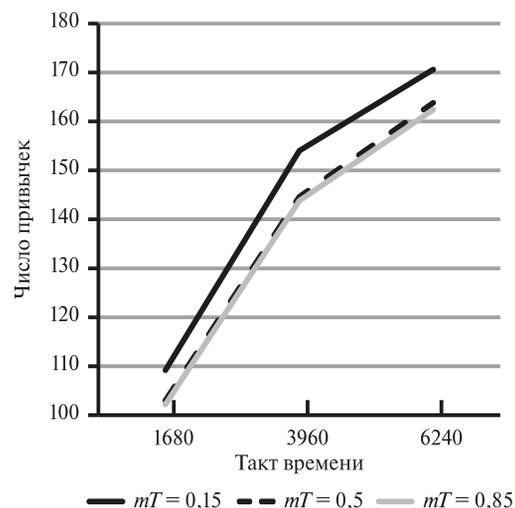
## 5. ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Главная цель экспериментов — проверить способность предложенного алгоритма генерировать осмысленные привычки. Алгоритм был реализован на языке программирования Java.

Исходя из возможностей модели поведения человека, было решено воспроизвести формирование двух конкретных привычек: а) выполнять действие в одно и то же время (например, в 7 утра), б) выполнять действие следом за определенным действием (помимо распространения в быту, такая привычка является краеугольным камнем для различных подходов, использующих концепцию макродействия (например, (Dezfouli, Balleine, 2012)).



**Рис. 4.** Формирование привычек в зависимости от времени при разных значениях порога стабильности  $sT$



**Рис. 5.** Формирование привычек в зависимости от времени при разных значениях порога успешности  $mT$

Нам удалось добиться возникновения обоих видов привычек, в некоторых случаях даже применительно к одному и тому же действию. Также в порядке вещей были ситуации, когда у человека формировалось более одной привычки (к различным действиям). Привычки смогли возникнуть ко всем девяти доступным в модели поведения действиям. Все это свидетельствует о широкой применимости и универсальности алгоритма.

Чтобы оценить влияние пороговых параметров ( $sT$ ,  $mT$ ,  $rT$ ), были проведены дополнительные эксперименты. При их планировании мы исходили из оценок, по которым привычка в среднем формируется за 66 дней и, как правило, не более чем за 254 дня (Lally et al., 2010, p. 1002). Поэтому мы подсчитывали сформированные привычки через 70, 260 дней от нулевого периода и для равномерности — в середине этого интервала, т.е. через 165 дней. В каждом модельном дне было по 24 дискретных временных такта, поэтому выбранные точки отсчета, измеренные не в днях, а в тактах, выглядят так: 1680, 3960 и 6240.

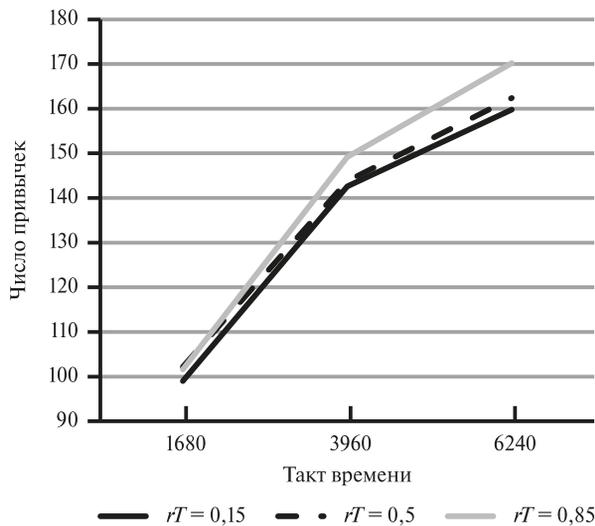
Для каждой точки было проведено по пяти прогонов и взято среднее значение для компенсации разброса, связанного с другими параметрами модели поведения человека. Население модели во всех экспериментах составляло 100 человек. Больше число людей нелинейно увеличивало время работы модели, но дополнительно ничего не давало для оценки возможностей алгоритма. Область значений всех трех параметров:  $sT$ ,  $mT$ ,  $rT \in [0;1]$ .

Результаты расчетов приведены в таблице и на рис. 4–6.

В соответствии с нашими ожиданиями число привычек монотонно росло со временем, а величина прироста постепенно уменьшалась. Влияние порогов также соответствовало ожиданиям. Параметры  $rT$  и  $sT$  были связаны положительно с числом сформированных привычек: чем

**Таблица.** Число сформированных привычек на 100 человек

Название параметра	Такты времени	Значение параметра		
		0,15	0,5	0,85
$sT$	1680	94,4	102,4	105,8
	3960	142,0	147,8	152,6
	6240	158,2	167,2	171,6
$mT$	1680	109,2	103,0	102,2
	3960	154,0	144,6	143,8
	6240	170,6	163,8	162,4
$rT$	1680	99,0	102,2	101,6
	3960	142,6	143,8	149,2
	6240	159,8	162,4	170,2



**Рис. 6.** Формирование привычек в зависимости от времени при разных значениях порога готовности  $rT$

обстановки, людей, находящихся поблизости или участвующих в действии, ощущения и мысли человека (внутренние обстоятельства) и т.д. Учет пятого фактора потребовал бы детальной проработки большого числа разнородных обстоятельств выполнения, относящихся более чем к одному действию, и разработки процедуры выделения релевантных и наиболее значимых обстоятельств из набора произвольных обстоятельств (т.е. моделирования тех элементов мышления, которые находятся за передовой решения задач искусственного интеллекта).

У поведения человека после возникновения привычки автоматически появились указанные ранее признаки привычки (исполнение привычного действия не должно реагировать на уменьшение значимости результата и на изменение самого результата), поскольку, согласно алгоритму, сформировавшаяся привычка срабатывает только при наступлении определенных обстоятельств.

Количественные эксперименты показали, что представленный алгоритм адекватно воспроизводит процесс формирования привычек (пример часто возникавшей привычки — читать перед сном), не создавая бессмысленных и необъяснимых вариантов. Для прикладных расчетов потребуется подобрать пороговые значения, соответствующие объектам исследования.

## 6. ВЫВОДЫ

В сравнении с общим числом научных работ, в которых рассматриваются привычки в поведении человека, доля тех, в которых фигурируют формальные модели развития и формирования привычки, незначительная. А имеющиеся работы трудно поддаются исчерпывающей классификации. Все это открывает простор для поиска новых способов формализации того, как возникает привычка в поведении человека.

Предложенный в данной статье алгоритм описывает процесс зарождения привычки с момента начала освоения нового действия до момента формирования поведенческой привычки.

Согласно данному алгоритму привычка явно представляется в виде объекта соответствующего класса. Мы отказались от неявного представления привычки, поскольку посчитали важными наглядность и легкость интерпретации, которые есть у моделей с явным представлением и которые отсутствуют у моделей с неявным представлением. Кроме того, весь процесс формирования привычки происходит на виду с выделением всех ключевых факторов.

Содержательно мы дистанцировались от подходов, когда привычка формируется лишь за счет числа повторов. Мы добавили условия, из-за которых число повторов действий, необходимых для возникновения привычки, может существенно меняться, а сам процесс рождения привычки становится более осмысленным и менее механическим. Поэтому стали возможны ситуации, как и в жизни, когда, несмотря на большое число повторений действий, привычки не возникает. При этом повторы продолжают играть очень важную роль в нашем алгоритме.

выше порог, тем больше привычек формируются. Тогда как параметр  $mT$  был связан отрицательно: чем выше порог, тем меньше привычек формируется.

При этом относительно невелик был разброс числа привычек (в среднем разница составила 10–15 привычек к 6200 такту), формирующихся при почти полярных значениях параметров  $sT$ ,  $mT$  и  $rT$  (0,15 и 0,85), что свидетельствует о стабильности результатов вычислений.

Из пяти названных в предыдущем разделе факторов были учтены первые четыре (повторяемость, результативность, важность и неизменность цели действия). Пятый фактор (сложность обстоятельств) в итоге было решено не учитывать в алгоритме из-за масштабности задачи. Под «обстоятельством» можно понимать почти что угодно: место или время выполнения действия, предметы окружающей

Так, было выделено четыре условия возникновения привычки, на которых строился алгоритм: 1) бессознательность выполнения действия, 2) желательность действия, 3) эффективность выполнения действия при определенных внешних условиях, 4) постоянство внешних обстоятельств. В свою очередь, условие бессознательности было сведено к другому набору условий: 1) выполнение действия должно быть отточено, 2) человек должен быть усталым, находиться в состоянии сильного стресса или быть занят другими проблемами.

И в целом при разработке алгоритма мы старались отказываться от непрерывных функций, несмотря на все удобства их использования, и отдавали предпочтение, где возможно, дискретным подходам.

Использование экзогенных пороговых параметров (типа  $sT$ ,  $mT$ ,  $rT$ ) удобно практически, но, по нашему мнению, является теоретической слабостью алгоритма. В дальнейшем планируется сделать эти пороги эндогенными и менее жесткими.

В количественных экспериментах представленный алгоритм адекватно воспроизвел процесс зарождения привычек, успешно сформировав привычки во всех экспериментах и не создав неинтерпретируемых вариантов. Алгоритм продемонстрировал существенную гибкость и универсальность. Для прикладных расчетов потребуется подобрать пороговые значения, соответствующие объектам исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Истратов В.А.** (2009). Агенто-ориентированная модель поведения человека: не в деньгах счастье? // *Экономика и математические методы*. Т. 45. № 1. С. 129–140. [Istratov V.A. (2009). Agent-based model of human behavior: Is money able to buy you happiness? *Economics and Mathematical Methods*, 45, 1, 129–140 (in Russian).]
- Истратов В.А.** (2018). Структурно-целевой подход к качественным оценкам // *Экономика и математические методы*. Т. 54. № 2. С. 104–126. DOI: 10.7868/S0424738818020085 [Istratov V.A. (2018). The goal-structure approach to qualitative valuation. *Economics and Mathematical Methods*, 54, 2, 104–126. DOI: 10.7868/S0424738818020085 (in Russian).]
- Истратов В.А.** (2019). Концепции привычки в экономической теории и их пригодность для алгоритмизации // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 1 (41). С. 34–66. [Istratov V.A. (2019). Habit concepts in economic theory and their algorithmization suitability. *Journal of the New Economic Association*, 1 (41), 34–66 (in Russian).]
- Истратов В.А.** (2020а). Формализация описания привычки: обзор подходов // *Экономика и математические методы*. Т. 56. № 1. С. 128–146. DOI: 10.31857/S042473880005782-9 [Istratov V.A. (2020a). Formalizing habit description: Approaches review. *Economics and Mathematical Methods*, 56, 1, 128–146. DOI: 10.31857/S042473880005782-9 (in Russian).]
- Истратов В.А.** (2020б). О развитии компьютерного алгоритма формирования привычки // *Искусственные общества*. Т. 15. № 3. DOI: 10.18254/S207751800010916-6 [Istratov V.A. (2020b). On the development of a computer algorithm for habit formation. *Artificial Societies*, 15, 3. DOI: 10.18254/S207751800010916-6 (in Russian).]
- Мещеряков Б.Г., Зинченко В.П.** (ред.) (2009). Большой психологический словарь. М.: АСТ, Прайм-Еврознак. [Meshcherjakov B.G., Zinchenko V.P. (eds.) (2009). *The big psychological dictionary*. Moscow: AST, Praim-Evroznak (in Russian).]
- Abel A.V.** (1990). Asset prices under habit formation and catching up with the joneses. *American Economic Review*, 80, 2, 38–42.
- Amouroux É., Huraux T., Sempé F., Sabouret N., Haradji Y.** (2014). SMACH: Agent-based simulation investigation on human activities and household electrical consumption. In: *Agents and artificial intelligence. ICAART 2013*. J. Filipe, A. Fred (eds.) Communications in computer and information science. Berlin, Heidelberg: Springer, 194–210.
- Carroll C.D., Overland J., Weil D.N.** (2000). Saving and growth with habit formation. *American Economic Review*, 90, 3, 341–355.
- Clark F., Sanders K., Carlson M., Blanche E., Jackson J.** (2007). Synthesis of habit theory. *OTJR: Occupation, Participation and Health*, 27 (Supplement), 7s-23s.
- Dezfouli A., Balleine B.W.** (2012). Habits, action sequences and reinforcement learning. *European Journal of Neuroscience*, 35, 1036–1051.
- Dolan R.J., Dayan P.** (2013). Goals and habits in the brain. *Neuron*, 80, 312–325.

- Durlauf S.N., Blume L.E.** (eds.) (2008). *The new Palgrave dictionary of economics*. 2<sup>nd</sup> ed. Basingstoke, UK: Palgrave Macmillan.
- Egbert M.D., Barandiaran X.E.** (2014). Modeling habits as self-sustaining patterns of sensorimotor behavior. *Frontiers in Human Neuroscience*. Vol. 8. 590 p.
- Faria J.R., León-Ledesma M.A.** (2004). Habit formation, work ethics and technological progress. *The Manchester School*, 72, 3, 403–413.
- Fournier M., d'Arripe-Longueville F., Rovere C., Easthope C.S., Schwabe L., El Methni J., Radel R.** (2017). Effects of circadian cortisol on the development of a health habit. *Health Psychology*, 36, 1059–1064.
- Gerber A.S., Green D.P., Shachar R.** (2003). Voting may be habit-forming: Evidence from a randomized field experiment. *American Journal of Political Science*, 47, 3, 540–550.
- Goodwin P.B.** (1977). Habit and hysteresis in mode choice. *Urban Studies*, 14, 95–98.
- Hiraguchi R.** (2011). A two sector endogenous growth model with habit formation. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 35, 430–441.
- Han Q., Arentze T., Timmermans H., Janssens D., Wets G.** (2009). A multi-agent modeling approach to simulate dynamic activity-travel patterns. In: *Multi-agent systems for traffic and transportation engineering*. A.L.C. Bazzan, F. Klügl (eds.). Hershey, New York: Information Science Reference, 36–56.
- Hodgson G.M., Knudsen T.** (2004). The complex evolution of a simple traffic convention: The functions and implications of habit. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 54, 1, 19–47.
- Klein M.C.A., Mogles N., Treur J., Wissen A. van** (2011). A computational model of habit learning to enable ambient support for lifestyle change. In: *Modern approaches in applied intelligence. IEA/AIE2011*. K.G. Mehrotra, C.K. Mohan, J.C. Oh, P.K. Varshney, M. Ali (eds.). Lecture notes in computer science, 6704. Berlin, Heidelberg: Springer, 130–142.
- Lally P., Jaarsveld C.H.M. van, Potts H.W.W., Wardle J.** (2010). How are habits formed: Modelling habit formation in the real world. *European Journal of Social Psychology*, 40, 998–1009. DOI: 10.1002/ejsp.674
- Linkola L., Andrews C.J., Schuetze T.** (2013). An agent based model of household water use. *Water*, 5, 1082–1100.
- Malvaez M., Wassum K.M.** (2018). Regulation of habit formation in the dorsal striatum. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 20, 67–74.
- Pauli W.M., Cockburn J., Pool E.R., Pérez O.D., O'Doherty J.P.** (2018). Computational approaches to habits in a model-free world. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 20, 104–109.
- Pearce D.W., Shaw R.** (eds.) (1992). *The MIT dictionary of modern economics*. 4<sup>th</sup> ed. Cambridge, MA: MIT Press.
- Pollak R.A.** (1970). Habit formation and dynamic demand functions. *Journal of Political Economy*, 78, 4, Part 1, 745–763.
- Read S.J., Brown A.D., Wang P., Miller L.C.** (2018). The virtual personalities neural network model: Neurobiological underpinnings. *Personality Neuroscience*, 1, E10, 1–11.
- Roberts S.C., Lee J.D.** (2012). Using agent-based modeling to predict the diffusion of safe teenage driving behavior through an Online Social Network. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 5, 1, 2271–2275.
- Stigler G., Becker G.** (1977). De gustibus non est disputandum. *American Economic Review*, 67, 2, 76–90.
- Wood W., Quinn J.M., Kashy D.A.** (2002). Habits in everyday life: Thought, emotion, and action. *Journal of Personality and Social Psychology*, 83, 6, 1281–1297. DOI: 10.1037//0022-3514.83.6.1281

## Computer algorithm of human habit formation

© 2021 V.A. Istratov

**V.A. Istratov,**

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

Received 01.12.2020

*This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 18-010-01091).*

**Abstract.** Human habits have long come to the attention of scientists, but so far neither a common understanding of them within different fields of knowledge, nor a preferred way of formalizing both them and the process of their emergence has been developed. For the purpose of our work, we defined habit as an action, execution of which became automatic and is provoked by the occurrence of certain conditions. This interpretation was incorporated into the proposed computer algorithm of habit formation. We extended the conventional requirement that a habit emerges through training with important conditions that determine the possibility and features of habit formation: 1) desirability of action, 2) action effectiveness under certain external conditions, 3) unconsciousness of action performing, 4) stability of external circumstances. Likewise the unconsciousness of action performing was defined through a number of conditions. The algorithm is designed for discrete-time models. A habit is explicitly represented in the algorithm: as a separate class (programming data type). Whenever was possible, we preferred discrete approaches over those employing continuous functions. After the implementation of the algorithm in a programming language, quantitative experiments were carried out on artificial data. The algorithm successfully produced habits in all experiments without creating uninterpretable outcomes. The algorithm has demonstrated significant flexibility and versatility in relation to behavior model. Applied research will require threshold values that describe the object of study.

**Keywords:** habit, behavior, decision making, modeling, mathematical modeling, computer simulation

**JEL Classification:** D03, Y80, C69.

**DOI:** 10.31857/S042473880014910-0

## Г.Б. Клейнеру — 75



Георгию Борисовичу Клейнеру, члену-корреспонденту Российской академии наук, заместителю научного руководителя ЦЭМИ РАН, бессменному члену редколлегии журнала «Экономика и математические методы» с 1997 г., исполнилось 75 лет.

За время работы в ЦЭМИ РАН с 1991 г. он прошел путь от главного научного сотрудника до заместителя научного руководителя ЦЭМИ. В настоящее время Георгий Борисович является также руководителем научного направления «Мезоэкономика, микроэкономика, корпоративная экономика» ЦЭМИ РАН, руководителем отделения моделирования производственных объектов и комплексов ЦЭМИ РАН и заместителем председателя Ученого совета ЦЭМИ РАН.

Научная деятельность Георгия Борисовича обширна и многогранна. Он является крупным ученым с мировым именем в области системной экономической теории, экономико-математического моделирования и стратегического планирования мезо- и микроэкономических объектов. Им получены существенные результаты в области теории и прикладных методов построения производственных функций, разработаны новые подходы к теории фирмы, основанные на системном представлении роли предприятия в экономике. Заслуженное признание в России и за рубежом получили выполненные под его руководством фундаментальные исследования в области мезоэкономики, микроэкономики знаний, институциональной динамики, методов экономико-математического моделирования социально-экономических систем и др. Оригинальная системная экономическая теория, предложенная Георгием Борисовичем, и его знаменитые «тетрады» стали основой построения новой парадигмы единой многоуровневой экономической науки, позволяющей выявить и объяснить ранее неизвестные эффекты в функционировании социально-экономических систем, а также обосновать новую методологию их исследования. В последние годы он сконцентрировал свое внимание на философском осмыслении современных проблем общественного развития, в том числе на трансформационных процессах, обусловленных всеобщей цифровизацией и интеллектуализацией экономики, а также ускоренным ростом сектора IT-технологий.

Г.Б. Клейнер — плодовитый ученый. Им опубликовано более 800 работ, в том числе более трех десятков монографий, широко известных и цитируемых в научной литературе. Его научная работа успешно совмещается с активной общественной, научно-просветительской и педагогической деятельностью.

В настоящее время Георгий Борисович — президент Международной академии организационных наук (МАОН основана академиком Д.С. Львовым в 1995 г.). В Отделении общественных наук РАН он возглавляет Научный совет РАН «Проблемы комплексного развития промышленных предприятий». На базе руководимого им Отделения ЦЭМИ РАН создан и не один десяток лет функционирует еженедельный научный семинар «Проблемы моделирования и развития производственных систем». С 1999 г. ежегодно под его руководством (совместно с академиком В.Л. Макаровым) проводится Всероссийский симпозиум «Стратегическое планирование и развитие предприятий», который стал практически единственным в стране научным форумом, объединяющим научных работников и специалистов народного хозяйства в этой области науки и практики. Кроме того, Георгий Борисович является членом правления Вольного экономического общества России, активно участвует в работе различных бизнес-сообществ и организаций.

Трудно переоценить роль Г.Б. Клейнера в работе, направленной на подготовку молодых научных кадров. Он является председателем Диссертационного совета Д 002.013.04, а также заместителем председателя Диссертационного совета Д 002.013.01 при ЦЭМИ РАН. Под его руководством в науку влилась плеяда докторов и кандидатов наук. Кроме того, в течение многих лет он является визит-профессором Московской школы экономики МГУ им. М.В. Ломоносова; заведующим кафедрой общей экономики ГАУГН; заведующим кафедрой «Системный анализ в экономике» Финансового университета при Правительстве РФ; заведующим кафедрой институциональной экономики Государственного университета управления.

Большой вклад Георгий Борисович вносит также в формирование и развитие печатно-издательской инфраструктуры, ориентированной на выпуск периодических изданий, участвуя в работе таких ведущих журналов, как «Экономика и математические методы» (член редакционной коллегии), «Экономическая наука современной России» (главный редактор), «Российский журнал менеджмента» (заместитель главного редактора), журнал «Финансы и бизнес» (член редакционного совета) и др.

Обладая научно-организационным талантом, он в сложные для России последние годы в условиях вынужденной изоляции научных работников сумел найти наиболее эффективные способы их дистанционного взаимодействия и поддержать работу научных коллективов.

Заслуги Г.Б. Клейнера по достоинству отмечены многочисленными наградами. Георгий Борисович — лауреат премии РАН имени академика В.С. Немчинова (2003 г.), награжден государственной наградой — орденом «За заслуги перед Отечеством» I (2014 г.) и II (2007 г.) степеней.

Г.Б. Клейнер, несомненно, входит в золотой фонд научной элиты России, пользуется заслуженным авторитетом и уважением коллег. В 2020 г. он стал лауреатом общенациональной премии «Профессор года» в номинации «Экономические науки» — первой в истории России премии, при присуждении которой независимую общественную оценку профессорам дают их коллеги.

*Дорогой Георгий Борисович, редакция журнала «Экономика и математические методы» от души поздравляет Вас с юбилеем и желает Вам здоровья и новых творческих успехов!*



# 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.).