Индекс 71112

◆◆◆◆ “Р А Н” ◆◆◆◆

Подписывайтесь на журнал «Экономика и математические методы»!

Подписка принимается на почте по Объединённому каталогу «Пресса России». Приобрести журнал «Экономика и математические методы» также можно по адресу: https://press.gaugn.ru/.

Ознакомиться с журналом и подать заявку на публикацию статьи можно по адресу: https://ras.jes.su/emm.

В рамках выполнения задания Российской академии наук открыта для использования новая интернет-платформа, обеспечивающая полный цикл подготовки, рецензирования, редактирования, публикации, распространения и индексирования научных статей. Этот интернет-ресурс размещён по адресу: https://RAS.JES.SU.

Данная платформа обеспечивает возможность для авторов:

подать заявку на публикацию в онлайн-режиме и проследить все этапы её рассмотрения;

осуществить доработку и редактирование материалов после получения рецензии.

Дополнительные возможности для редакторов:

назначить рецензентов и обеспечить их работу в формате двойного слепого рецензирования в онлайн режиме;

использовать функции технического перевода на английский язык, транслитерации, проверки на некорректные заимствования;

оперативно сформировать и опубликовать выпуски научных журналов.

При этом присвоение DOI и индексация материалов в ведущих наукометрических базах данных осуществляется в автоматическом режиме.

Приглашаем учёных и исследователей ознакомиться с этим ресурсом и использовать эту систему для быстрой и удобной публикации результатов своей научной работы с использованием новых информационно-технологических возможностей!

Журналы РАН, размещённые на платформе RAS.JES.SU

Азия и Африка сегодня
Вестник древней истории
Вопросы истории естествознания и техники
Вопросы философии
Вопросы языкознания
Восток. Афро-Азиатские общества: история и современность
Государство и право
Известия Российской академии наук. Серия литературы и языка
Латинская Америка
Мировая экономика и международные отношения
Новая и новейшая история
Общественные науки и современность
Общество и экономика
Проблемы Дальнего Востока
Психологический журнал
Российская археология
Российская история
Русская литература
Русская речь
Славяноведение
Социологические исследования
США и Канада: экономика, политика, культура
Человек
Экономика и математические методы
Этнографическое обозрение

ISSN 0424-7388 Экономика и математические методы, 2019, том 55, № 1

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ • Том 55 № 1 • 2019

ISSN 0424-7388

Том 55, Номер 1 Январь – Февраль – Март 2019

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

https://ras.jes.su

Российская Академия Наук

Российская академия наук

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Том 55 № 1 2019

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,
А.А. Гусев, 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,
Л.Э. Миндели, В.М. Полтерович, А.Б. Поманский,
А.В. Савватеев, Е.В. Устюжанина (зам. главн. ред.),
И.С. Шитова (зам. главн. ред.)

Зав. редакцией Н.С. Виноградова

Адрес редакции

117418 г. Москва, Нахимовский просп., 47, ком. 305
Тел.: 8(499) 129-39-33, 8(916) 139-27-26

Москва

© Российская академия наук, 2019
© Составление. Редколлегия журнала
«Экономика и математические методы», 2019

Подписано к печати 10.03.2019 г. Формат 60×881/8. Уч. -изд. л. 17,0.
Тираж 150 экз., включая 5 экз. бесплатно. Зак. 24/1а. Цена свободная.

Учредители: Российская Академия наук,
Центральный экономико-математический институт,
Институт проблем рынка.

12+

Издатель: Российская академия наук
Исполнитель по контракту № 4У-ЭА-199-18
ООО «Интеграция: Образование и Наука»
117418, г. Москва, Нахимовский проспект, 47
Отпечатано в ООО «Институт информационных технологий»

СОДЕРЖАНИЕ

Том 55, Номер 1, 2019

Теоретические и методологические проблемы

Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В. Укрупненная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского союза 3

Дементьев В.Е., Устюжанина Е.В. Сравнительный анализ стратегий динамического ценообразования на рынках сетевых благ в случаях монополии и предконкурентного стратегического альянса 16

Козырев А.Н. Оптимизация размещения взаимосвязанных НИОКР на основе двойного аукциона 32

Винокуров Е.Г., Мешалкин В.П., Невмятуллина Х.А., Бурухина Т.Ф., Бондарь В.В., Ходченко С.М. Метод модифицированного SWOT-анализа эффективности изменения технологий 43

Миндели Л.Э., Остапюк С.Ф., Фетисов В.П. Об организации долгосрочного прогнозирования фундаментальных и поисковых научных исследований 56

Отраслевые проблемы

Афанасьев Д.О., Федорова Е.А. Краткосрочное прогнозирование цены электроэнергии на российском рынке с использованием класса моделей SCARX 68

Проблемы предприятия

Данилин В.И. Система моделей горизонтального согласования плановых решений различными подразделениями компании 85

Математический анализ экономических моделей

Гаврилец Ю.Н., Черненков М.В., Никитин С.А. Агрегированные индексы мнений населения о качестве жизни в регионах России 101

Научные обсуждения

Морозов С.Л. Стандартный 13-месячный эталонный календарь Медлера — Менделеева — Морозова и его применение для индустриализации космического общества 116

* * *

В.Л. Квинту — 70 126

С.А. Айвазян 127

Памяти Ю.А. Петрова 128

CONTENTS

Vol. 55, No. 1, 2019

Theoretical and methodological problems

Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Rovenskaya E.A., Strelkovskiy N.V. Aggregated agent-based simulation model of migration flows of the European Union countries 3

Dementiev V.E., Ustyuzhanina E.V. Comparative analysis of dynamic pricing strategies in markets of network goods (Cases of monopoly and precompetitive strategic alliances) 16

Kozyrev A.N. Optimizing the placement of interconnected R&D based on double auction 32

Vinokurov E.G., **Meshalkin V.P.**, **Nevmyatullina Kh.A.**, **Burukhina T.F.**, **Bondar V.V.**, **Khodchenko S.M.** Method of the modified SWOT-analysis of the effectiveness of technology changes 43

Mindeli L.E., Ostapyuk S.F., Fetisov V.P. On long-term prediction of fundamental and exploratory research 56

Industry problems

Afanasyev D.O., Fedorova E.A. Short-term electricity price forecasting on the Russian market using the SCARX models class 68

Enterprise problems

Danilin V.I. System models horizontal harmonization of planning decisions by various units of the company 85

Mathematical analysis of economic models

Gavrilets Yu.N., Chernenkov M.V., Nikitin S.A. Aggregated indices of public opinion on the life quality in Russian regions 101

Scientific discussions

Morozov S.L. Standard 13-month reference calendar Medler — Mendeleev — Morozov Standard in space society 116

* * *

V.L. Kvint — 70 126

S.A. Aivazian 127

In memory Yu.A. Petrov 128

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, 2019, том 55, № 1, с. 3–15

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Укрупненная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского союза

© 2019 г. В.Л. Макаров[i,*], А.Р. Бахтизин[i], Г.Л. Бекларян[i], А.С. Акопов[i], Е.А. Ровенская[ii,], Н.В. Стрелковский[ii]**

[i] *ЦЭМИ, Москва*

[ii] *Международный институт прикладного системного анализа (IIASA), Австрия; МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*

[*] *E-mail: makarov@cemi.rssi.ru* [**] *E-mail: rovenska@iiasa.ac.at*

Поступила в редакцию 01.12.2018

Проект выполнен при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-51-14010 АНФ_а).

В статье представлена укрупненная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского союза (ЕС), реализованная в системе AnyLogic, созданная в виде расширенной гравитационной модели. В модели принятие индивидуальных решений со стороны агентов-мигрантов основывается на комплексной оценке социально-экономической, географической и прочей дифференциации соответствующих стран. При этом одни факторы притягивают мигрантов, а другие отталкивают. Отличительной особенностью модели является дифференциация миграционных потоков по категориям мигрантов с выделением различных влияющих факторов, отражающих индивидуальные предпочтения агентов-мигрантов по отношению к агентам-странам (членам ЕС). Выделяются множественные управляющие параметры, влияющие на распределение миграционных потоков между странами ЕС, в частности миграционные квоты, пособия по безработице, минимальная заработная плата и др. Сформулирована важнейшая бикритериальная оптимизационная задача стран ЕС по выбору рациональной миграционной и экономической политики, основанной, в частности, на максимизации интегрального ВВП и минимизации общего числа мигрантов, за счет управления параметрами, влияющими на структуру миграционных потоков и трудовые ресурсы, а также затраты на их обслуживание. Впервые предложена и изучена расширенная гравитационная модель, описывающая динамику миграционных потоков с выделением множественных факторов, дифференцированно влияющих на привлекательность стран ЕС для различных групп мигрантов, например внутренних мигрантов, экономических мигрантов, беженцев и др.

Ключевые слова: агентное моделирование миграционных потоков, многокритериальная оптимизация, AnyLogic, проблемы миграции в ЕС.

Классификация JEL: B23, F22, J61.

DOI: 10.31857/S042473880004044-7

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуализируется задача рационального управления миграционными потоками, в особенности для стран ЕС. Согласно данным статистической службы Европейского союза (Евростат), в общей сложности 4,3 млн человек иммигрировали из внешних стран в страны–члены ЕС в течение 2016 г., и 3,0 млн человек иммигрировали внутри стран ЕС. Однако эти общие показатели не отражают миграционных потоков в целом, поскольку они также включают потоки между различными государствами–членами ЕС. Среди этих 4,3 млн иммигрантов в 2016 г. примерно 2,0 млн человек было из стран, не входящих в ЕС, и 1,3 млн человек — с гражданством другого государства–члена ЕС.

Интерес также представляют темпы роста иммиграции, а также распределение мигрантов по странам–членам ЕС[1]. Так, например, средний темп роста годовой иммиграции в отдельные страны

[1] См.: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=migr_imm1ctz&lang=en.

ЕС в 2014–2016 гг. составил: 30,8% для Греции, 23,0 для Германии, 11,7 для Австрии. По данным за 2016 г., на долю Федеративной Республики Германия приходится примерно 23% всего числа иммигрантов в ЕС. При этом на группу наиболее экономически развитых стран (Федеративная Республика Германия, Франция, Италия, Испания, Великобритания, Австрия, Нидерланды, Швеция) приходится 70% от общего числа мигрантов. Данный факт наглядно демонстрирует существующий дисбаланс в распределении миграционных потоков между странами–членами ЕС, а также влияние хорошо известного гравитационного эффекта, описанного в работах (Stewart, 1955; Yap, 1977; Anderson, 1979; Deardorff, 1998, Lewer, Berg, 2008; Ramos, Suriñach, 2013).

Данный эффект основан на влиянии множественных факторов, и в частности разницы между уровнем жизни в стране, из которой эмигрирует население, и стране, в которую они иммигрируют. Чем больше эта разница, тем более привлекательнее страна является для иммигрантов. Для оценки данной разницы могут быть использованы различные характеристики (например, ВВП (Lewer, Berg, 2008)) или их линейные комбинации (численность населения, уровень безработицы, темпы промышленного роста и др.). Значимость каждого фактора оценивается с помощью эконометрических методов. Могут учитываться географические, исторические, языковые, культурные связи между странами, положительно влияющие на соответствующие миграционные потоки.

Несмотря на очевидные достоинства данного подхода, а именно учет влияния множественных факторов на динамику миграции, а также ориентацию на экономическое выравнивание соответствующих стран, имеются определенные упрощения, связанные с игнорированием проблемы вторичного перераспределения миграционных потоков, а также с их естественной рециркуляцией. Так, например, многие иммигранты, приезжая, в частности, в Грецию и Италию, далее переезжают в экономически более благополучные страны (например, Германию, Великобританию). При этом многие граждане стран–членов ЕС, участвуют во внутренней миграции, обусловленной появлением новых рабочих мест и обучением, с последующим возвращением к месту постоянного проживания.

Поэтому требуется разработка более реалистичной агент-ориентированной имитационной модели миграционных процессов стран Европейского союза, учитывающей механизм перераспределения миграционных потоков внутри стран–членов ЕС с учетом влияния экономической и миграционной политики на темпы миграции и ожидаемые экономические эффекты.

Агентное моделирование позволяет определить правила поведения экономических агентов на индивидуальном уровне (например, агентов-стран, агентов-мигрантов и т.д.), в том числе в зависимости от особенностей поведения каждого агента в популяции. Существует много работ по агентному моделированию. Среди них можно выделить наиболее важные — (Макаров, Бахтизин, 2013; Бахтизин, 2008; Akopov et al., 2017; Grimm, Railsback, 2005; Silveira et al., 2006; Epstein, 2007; Miller, 2008; Klabunde, Willekens, 2016).

В настоящее время также известен гибридный подход, при котором методы агентного моделирования и системной динамики используются совместно (Акопов, 2014). Преимуществом данного подхода является возможность использования методов потокового и динамического моделирования в агентных моделях. Это, в частности, позволяет моделировать потоки взаимодействующих агентов, принимающих решения в соответствии с собственными предпочтениями и правилами поведения.

В основном сложность разработки агентных моделей миграции обусловлена высокой размерностью подобных задач. Так, например, для стран ЕС требуется включить 4,5 млн агентов-мигрантов и 28 агентов-стран со своими характеристиками. Поэтому целесообразен переход от агентов-мигрантов (людей) с индивидуальными правилами поведения к кластерам, включающим группы людей, объединенных общими интересами и предпочтениями с едиными для кластера правилами поведения. Тогда из популяции мигрантов можно выделить следующие группы:

– *группа A* — потенциально работающие неквалифицированные мигранты–граждане ЕС, интересующиеся возможностями трудоустройства на минимальную (среднюю) заработную плату;

– *группа B* — потенциально работающие высококвалифицированные мигранты–граждане ЕС, интересующиеся трудоустройством на максимальную (среднюю) заработную плату и обучением;

– *группа C* — потенциально работающие (в основном) квалифицированные (экономические) мигранты, не являющиеся гражданами стран–членов ЕС;

– *группа D* — потенциально неработающие (в основном) неквалифицированные мигранты (беженцы, безработные), не являющиеся гражданами стран–членов ЕС.

Страны–члены ЕС заинтересованы преимущественно в мигрантах группы *A* и *B*, но, к сожалению, доминирующими по численности, как правило, являются группы *C* и *D*. При этом экономический эффект от группы *C* является неочевидным, особенно в условиях высокой безработицы (например, для таких стран, как Греция, Италия, Испания и др.), а экономический эффект от группы *D*, возможно, будет отрицательным. Таким образом, для принимающих стран важно прогнозировать не только общую численность миграционных потоков, но также их структуру.

Помимо выделения групп мигрантов с различными предпочтениями целесообразно перейти к кластерам агентов-мигрантов, включающих 1 тыс. человек/кластер, распределенных по своим группам (*A*, *B*, *C*, *D*). Это позволит существенно снизить размерность модели (до 4,5–5 тыс. агентов) и обеспечить эффективную процедуру поиска рациональных решений в области миграционной политики. Подобный подход, т.е. переход от агентов-людей к людским кластерам, ранее был предложен в работе (Beklaryan, Akopov, 2016).

Цель данной статьи состоит в разработке укрупненной агент-ориентированной имитационной модели миграционных потоков стран Европейского союза с реализацией в системе AnyLogic, с использованием предложенной расширенной гравитационной модели, в соответствии с которой принятие индивидуальных решений со стороны агентов-мигрантов основывается на комплексной оценке социально-экономической, географической и прочей дифференциации соответствующих стран. В рамках предложенного подхода сформулирована важнейшая бикритериальная оптимизационная задача стран ЕС по выбору рациональной миграционной и экономической политики, основанной, в частности, на минимизации общего числа мигрантов и максимизации ВВП, за счет управления различными параметрами.

2. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ МИГРАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

Предложенная укрупненная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран ЕС включает следующие типы агентов:

– *агенты-мигранты* (кластеры людей), дифференцируемые по типам *A*, *B*, *C*, *D* в зависимости от социального статуса и индивидуальных предпочтений на момент миграции;

– *агенты-страны, являющиеся членами ЕС*: 28 стран–членов ЕС, между которыми осуществляется внутреннее перераспределение миграционных потоков;

– *агенты-страны, не являющиеся членами ЕС,* из которых имеются основные миграционные потоки в страны ЕС.

Группа агентов-мигрантов характеризуется следующим набором состояний:

– *потенциальный мигрант* — человек, проживающий на территории определенного государства (не обязательно страны–члена ЕС) и находящийся в поиске страны, наиболее предпочтительной для иммиграции;

– *фактический мигрант* — человек, осуществивший иммиграцию в ранее выбранную страну;

– *репатриант* — человек, осуществивший добровольное возвращение на родину;

– *депортированный мигрант* — человек, осуществивший принудительное возвращение в страну, из которой он ранее иммигрировал.

Через некоторое время фактический мигрант может стать потенциальными мигрантом — так реализуется механизм вторичного перераспределения миграционных потоков. Фактический мигрант через некоторое время может стать репатриантом — так реализуется механизм рециркуляции миграционных потоков. Схема состояний агентов-мигрантов и переходов между ними представлена на рис. 1.

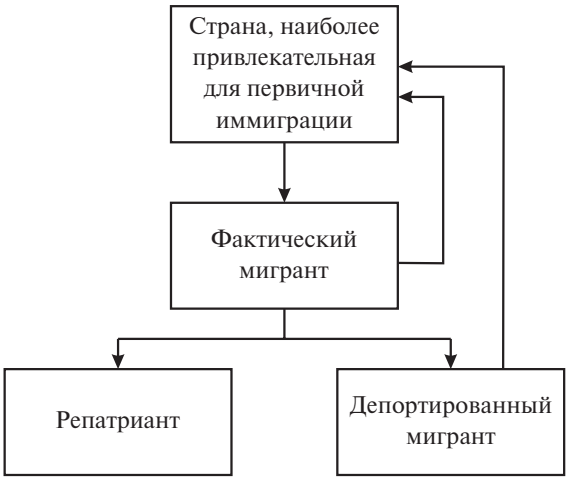


Рис. 1. Схема возможных состояний для агентов-мигрантов

Группа агентов-стран, являющихся членами ЕС, характеризуется набором состояний:

– *страна, наиболее привлекательная для первичной иммиграции,* — страна–член ЕС, наиболее привлекательная для иммигрантов групп *C* и *D* (т.е. для менее квалифицированных мигрантов, не являющихся гражданами стран–членов ЕС). В данную группу стран входят Греция, Италия, Испания, Австрия, Польша, Румыния, Эстония, Литва, Латвия, Венгрия, Болгария;

Рис. 2. Путь мигрантов из стран Ближнего Востока в страны–члены ЕС

Источник: BBC/Europol: https://www.gazeta.ru/social/2015/09/14/7755377.shtml?updated.

– *страна, наиболее привлекательная для внутренней и вторичной иммиграции,* — страна–член ЕС, наиболее привлекательная для иммигрантов всех групп с учетом их индивидуальных предпочтений. В данную группу стран входят Германия, Франция, Великобритания, Швеция, Дания, Норвегия, Швейцария, Нидерланды, Бельгия, Ирландия и др.

Отметим, что для стран первичной миграции в рамках расширенной гравитационной модели действует повышающий коэффициент, т.е. страны этой группы выбираются в основном с целью последующей иммиграции в другие страны вне зависимости от их текущего социально-экономического положения. Выбор конкретной страны среди стран данной группы осуществляется в основном под влиянием географических факторов, в частности с учетом действующих маршрутов основных миграционных потоков (рис. 2).

При определенных условиях (например, в случае серьезного ужесточения миграционного законодательства) агент-страна, наиболее привлекательная для первичной иммиграции, может перейти во второе состояние, т.е. стать наиболее привлекательной для внутренней и вторичной иммиграции. В этом случае для данной страны действуют правила стандартной гравитационной модели, т.е. относительная привлекательность страны для иммиграции оценивается на основе разницы линейной комбинации (логарифмированных) значений отдельных социально-экономических показателей, учитывающих индивидуальные предпочтения мигрантов (например, ВВП на душу населения, средняя заработная плата, уровень безработицы и др.). Схема соответствующих состояний агентов-стран, являющихся членами ЕС, и переходов между ними представлена на рис. 3.

Рис. 3. Схема возможных состояний для агентов-стран, являющихся членами ЕС

Третья группа агентов — страны, не являющиеся членами ЕС, из которых реализуются основные миграционные потоки в страны ЕС. В основном это страны Ближнего Востока, страны Африки, Афганистан и др. В этой группе стран доминируют мигранты групп C и *D* (экономические мигранты и беженцы). Имеется ряд стран, обеспечивающих стабильно высокий уровень миграционных потоков в страны ЕС, например Сирия, Ливия, Эритрея, Пакистан и др.

Третья группа агентов-стран, не являющихся членами ЕС, характеризуется набором состояний:

– *кризисное социально-экономическое состояние*, соответствующее ситуации экономического кризиса, военных действий, революции, голода и т.д., приводящее к экспоненциальному росту миграционного потока из страны (например, Сирия, Ливия, Ирак и др.);

– *неудовлетворительное социально-экономическое состояние*, соответствующее ситуации слабой (стагнирующей) экономики, характеризующееся линейным ростом миграционного потока из страны (например, Афганистан, Украина, Сербия (Косово), Пакистан и др.);

– *удовлетворительное социально-экономическое состояние*, соответствующее ситуации развивающейся экономики и демографии, характеризующееся стабильным миграционным потоком (например, Индия, Иран, Турция).

Схема соответствующих состояний агентов-стран, не являющихся членами ЕС, и переходов между ними представлена на рис. 4.

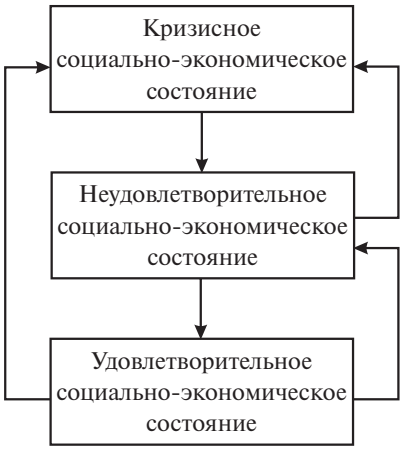


Рис. 4. Схема возможных состояний для агентов-стран, не являющихся членами ЕС

Состояния агентов-стран, не являющихся членами ЕС, влияют на темпы роста эмиграции из соответствующих стран. Самый высокие темпы эмиграции будут из стран, находящихся в кризисном состоянии.

Далее рассмотрим формальное описание разработанной модели. Пусть индекс i указывает на страну–члена ЕС; e — страну, не являющуюся членом ЕС; j — страну прибытия. Введем следующие обозначения:

$\tilde{T} = \{t_1, ..., t_T\}$ — набор модельных моментов времени (по годам), T — горизонт стратегического планирования (30 лет);

$\tilde{I} = \{i_1, ..., i_I\}$ — набор индексов (внутренних) стран-агентов, являющихся членами ЕС, из которых осуществляется эмиграция в другие страны–члены ЕС (страна-источник), I — общее число стран–членов ЕС, в частности $I = 28$ на 2018 г.;

$\tilde{E} = \{e_1, ..., e_E\}$ — набор индексов (внешних) стран-агентов, не являющихся членами ЕС, из которых осуществляется массовая эмиграция в страны–члены ЕС, E — общее число стран, являющихся внешними источниками миграционных потоков;

$\tilde{J} = \{j_1, ..., j_I\}$ — набор индексов стран-агентов, являющихся членами ЕС, в которые осуществляется эмиграция из других i стран–членов ЕС, и e стран, не являющихся членами ЕС (страны прибытия), $i \in \tilde{I}$, $e \in \tilde{E}$;

$\{D_{ij}, D_{ej}\}$ — географические расстояния между страной-источником и страной прибытия (расстояние между столицами стран), $i \in \tilde{I}$, $e \in \tilde{E}$, $j \in \tilde{J}$;

$\{\tilde{D}_{ij}, \tilde{D}_{ej}\}$ — климатическая разница между страной-источником и страной прибытия (разница среднегодовых температур между столицами стран);

$\{P_i(t), P_e(t), P_j(t)\}$ — численность населения в момент времени t, $t \in \tilde{T}$;

$\{A_i, A_e, A_j\}$ — площади стран;

$\{\tilde{P}_{ij}(t), \tilde{P}_{ej}(t)\}$ — численность населения, ранее (за последние 10 лет) иммигрировавшего из страны-источника в страну прибытия;

$\{G\ P_i(t), GDP_e(t), GDP_j(t)\}$ — ВВП на душу населения;

$\{S_i(t), S_e(t), S_j(t)\}$ — средняя заработная плата;

$\{\underline{S}_i(t), \underline{S}_e(t), \underline{S}_j(t)\}$ — минимальная заработная плата (управляющий параметр);

$W_j(t)$ — средний размер пособия для лиц, получивших статус беженца (управляющий параметр);

$B_j(t)$ — средний размер пособия по безработице (управляющий параметр);

$\{U_i(t), U_e(t), U_j(t)\}$ — уровень безработицы;

$N_j(t)$ — число ведущих университетов (ТОП-100) в стране прибытия в момент времени t;

$\{\tilde{C}_i(t),\ \tilde{C}_j(t)\}$ — стоимость получения высшего образования в стране-источнике и стране прибытия *(управляющий параметр)*;

$\{LANG_{ij},\ LANG_{ej}\}$ — фиктивные переменные, отражающие наличие общего (или свободное значение) официального языка между страной-источником и страной прибытия;

$\{BORD_{ij},\ BORD_{ej}\}$ — фиктивные переменные, отражающие наличие общих границ между страной-источником и страной прибытия *(управляющий параметр)*;

CL_{ej} — доля людей в стране-источнике, владеющих (как минимум на базовом уровне) официальным языком страны прибытия;

R_{ej} — фиктивная переменная, отражающая наличие общих связей (колониальных, культурных, исторических) между страной-источником и страной прибытия;

$M_j(t)$ — количество мигрантов в страну прибытия в момент времени t;

$\bar{M}_C(t)$ — максимальное допустимое число мигрантов категории C (высококвалифицированных мигрантов) из стран, не являющихся членами ЕС, в страну прибытия (управляющий параметр);

$\bar{M}_D(t)$ — максимально допустимое количество мигрантов категории D (беженцев) из стран, не являющихся членами ЕС, в страну прибытия (управляющий параметр);

$\kappa_j(t)$ — коэффициент, отражающий статус страны прибытия, являющейся членом ЕС (страна для первичной иммиграции или страна конечной иммиграции);

$\gamma_e(t)$ — коэффициент, отражающий статус страны-источника, не являющейся членом ЕС (кризисное, неудовлетворительное, удовлетворительное).

Тогда для $i \in \tilde{I},\ \ j \in \tilde{J},\ \ t \in \tilde{T}$ предлагаемая расширенная гравитационная модель миграции (число мигрантов в стране прибытия j в момент времени t) имеет вид:

$$M_j(t) = \begin{cases} F_{j,AB}(t) + F_{j,CD}(t), & 5A;\ 8\ \sum_{e=1}^{E} fl_{ej,C}(t) \le \bar{M}_C(t)\ 8\ \sum_{e=1}^{E} fl_{ej,D}(t) \le \bar{M}_D(t); \\ F_{j,AB}(t) + \bar{M}_C(t) + \sum_{e=1}^{E} fl_{ij,D}(t), & 5A;\ 8\ \sum_{e=1}^{E} fl_{ej,C}(t) > \bar{M}_C(t)\ 8\ \sum_{e=1}^{E} fl_{ej,D}(t) \le \bar{M}_D(t); \\ F_{j,AB}(t) + \bar{M}_D(t) + \sum_{e=1}^{E} fl_{ij,'}(t), & 5A;\ 8\ \sum_{e=1}^{E} fl_{ej,D}(t) > \bar{M}_D(t)\ 8\ \sum_{e=1}^{E} fl_{ej,D}(t) \le \bar{M}_C(t); \\ F_{j,AB}(t), & 5A;\ 8\ \sum_{e=1}^{E} fl_{ej,C}(t) > \bar{M}_C(t)\ \ 8\ \sum_{e=1}^{E} fl_{ej,D}(t) > \bar{M}_D(t); \end{cases} \tag{1}$$

где годовой приток внутренних мигрантов из стран—членов ЕС —

$$F_{j,AB}(t) = \sum_{i=1}^{I} \left(fl_{ij,A}(t) + fl_{ij,B}(t) \right), \tag{2}$$

годовой приток внутренних мигрантов категории A из страны—члена ЕС —

$$\begin{gathered} \ln fl_{ij,A}(t) = \beta_{1,A} \ln \frac{GDP_j(t)}{GDP_i(t)} + \beta_{2,A} \ln \frac{\underline{S}_j(t)}{\underline{S}_i(t)} - \beta_{3,A} \ln \frac{U_j(t)}{U_i(t)} + \beta_{4,A} \ln P_j(t) + \beta_{5,A} \ln P_i(t) - \\ -\beta_{6,A} \ln \frac{P_j(t)}{A_j(t)} + \beta_{7,A} \ln \frac{P_i(t)}{A_i(t)} - \beta_{8,A} \ln D_{ij} - \beta_{9,A} \ln \tilde{D}_{ij} + \beta_{10,A} \ln \tilde{P}_{ij}(t) + \beta_{11,A} LANG_{ij} + \beta_{12,A} BORD_{ij}, \end{gathered} \tag{3}$$

годовой приток внутренних мигрантов категории B из страны—члена ЕС —

$$\begin{gathered} \ln fl_{ij,B}(t) = \beta_{1,B} \ln \frac{GDP_j(t)}{GDP_i(t)} + \beta_{2,B} \ln \frac{S_j(t)}{S_i(t)} - \beta_{3,B} \ln \frac{U_j(t)}{U_i(t)} - \beta_{4,B} \ln P_j(t) + \beta_{5,B} \ln P_i(t) - \\ -\beta_{6,B} \ln \frac{P_j(t)}{A_j(t)} + \beta_{7,A} \ln \frac{P_i(t)}{A_i(t)} - \beta_{8,B} \ln D_{ij} - \beta_{9,B} \ln \tilde{D}_{ij} + \beta_{10,B} \ln \tilde{P}_{ij}(t) + \beta_{11,B} LANG_{ij} + \\ +\beta_{12,B} BORD_{ij} + \beta_{13,B} \ln N_j - \beta_{14,B} \ln \frac{\tilde{C}_j(t)}{\tilde{C}_i(t)}, \end{gathered} \tag{4}$$

годовой приток внешних мигрантов из стран, не являющихся членами ЕС,—

$$F_{j,CD}(t)=\sum_{e=1}^{E}\left(fl_{ej,C}(t)+fl_{ej,D}(t)\right), \tag{5}$$

годовой приток внешних мигрантов категории C из страны e, не являющейся членом ЕС,—

$$\begin{gathered}\ln fl_{ej,C}(t)=\gamma_e(t)\kappa_j(t)\Big(\beta_{1,C}\ln\frac{GDP_j(t)}{GDP_e(t)}+\beta_{2,C}\ln\frac{\underline{S}_j(t)}{\underline{S}_e(t)}-\beta_{3,C}\ln\frac{U_j(t)}{U_e(t)}-\beta_{4,C}\ln P_j(t)+\\ +\beta_{5,C}\ln P_i(t)-\beta_{6,C}\ln\frac{P_j(t)}{A_j(t)}+\beta_{7,C}\ln\frac{P_e(t)}{A_e(t)}-\beta_{8,C}\ln D_{ej}-\beta_{9,C}\ln\tilde{D}_{ej}+\beta_{10,C}\ln\tilde{P}_{ej}(t)+\\ \beta_{11,C}LANG_{ej}+\beta_{12,C}\ln CL_{ej}+\beta_{13,C}\ln R_{ej}\Big),\end{gathered} \tag{6}$$

годовой приток внешних мигрантов категории D из страны, не являющейся членом ЕС,—

$$\begin{gathered}\ln fl_{ej,D}(t)=\gamma_e(t)\kappa_j(t)\Big\{\beta_{1,D}\ln\frac{GDP_j(t)}{GDP_e(t)}+\beta_{2,D}\ln W_j-\beta_{3,D}\ln\frac{P_j(t)}{A_j(t)}+\\ +\beta_{4,D}\ln\frac{P_e(t)}{A_e(t)}+\beta_{5,D}\ln P_i(t)+\beta_{6,D}\ln B_j(t)-\beta_{7,D}\ln D_{ej}+\beta_{8,D}\ln\tilde{P}_{ej}(t)+\beta_{9,D}\ln CL_{ej}.\end{gathered} \tag{7}$$

Здесь $\{\beta_{1,A}, ..., \beta_{12,A}\}$, $\{\beta_{1,B}, ..., \beta_{14,B}\}$, $\{\beta_{1,C}, ..., \beta_{13,C}\}$, $\{\beta_{1,D},..., \beta_{9,D}\}$ — коэффициенты регрессии, вычисляемые методом наименьших квадратов (МНК) с использованием имеющихся исторических данных.

Поясним логику расширенной гравитационной модели на примере уравнения (3). Основными факторами притяжения мигрантов–граждан ЕС, не обладающих высокой квалификацией, являются прежде всего ключевые социально-экономические показатели принимающей страны. Чем выше значение ВВП и минимальная заработная плата, чем меньше уровень безработицы по сравнению с соответствующими значениями в стране-источнике, тем более привлекательной будет данная страна для потенциального мигранта. Также имеет значение численность и плотность населения. Чем больше численность населения, тем больше рынок труда и, соответственно, больше возможностей трудоустройства для мигранта. Однако чем выше плотность населения (отношение численности населения к площади страны), тем дороже стоимость покупки и аренды недвижимости, что снижает привлекательность данной страны для иммиграции. Также имеют значения географические расстояния между странами и климатическая разница между ними. Чем меньше расстояние между странами и более схожий климат, тем страна предпочтительнее для миграции. Дополнительными положительными факторами служит наличие общих границ, а также свободное знание официального языка принимающей страны. Другой пример — мигранты категории D из стран, не являющихся членами ЕС. Для данной группы мигрантов основное значение имеет размер пособия по безработице и уровень выплат за статус беженца, а возможности трудоустройства их практически не интересуют (7).

Отметим, что достоверность модели (1)—(7) оценивалась с использованием реальных данных (Евростат), дифференцированных по соответствующим странам за исторический период 2007–2016 гг.

Важной отличительной особенностью предлагаемой расширенной гравитационной модели (1)—(7) является дифференциация миграционных потоков по категориям мигрантов с выделением различных влияющих факторов, отражающих индивидуальные предпочтения агентов-мигрантов по отношению к агентам-странам.

Для страны–члена ЕС j, $j\in\tilde{J}$, $t\in\tilde{T}$, введем следующие обозначения: $L_j(t)$ — численность высококвалифицированных трудовых ресурсов (работники, имеющие высшее и профессиональное образование); $\tilde{L}_j(t)$ — численность низкоквалифицированных трудовых ресурсов (работники, не имеющие высшего образования); $K_j(t)$ — основные фонды высокотехнологичных отраслей эконо-

мики j; $\tilde{K}_j(t)$ — основные фонды прочих отраслей экономики; $\{\alpha_j, \beta_j\}$, $\{\tilde{\alpha}_j, \tilde{\beta}_j\}$ — эластичности выпуска по отношению к основным фондам и трудовым ресурсами в высокотехнологичных и прочих отраслях экономики, $\alpha_j + \beta_j = 1$, $\tilde{\alpha}_j + \tilde{\beta}_j = 1$; a_j — фактор научно-технологического прогресса в высокотехнологичных отраслях экономики; $\{G_j(t), \tilde{G}_j(t)\}$ — промежуточное потребление в высокотехнологичных и прочих отраслях экономики (в стоимостном выражении); $Const_j(t)$ — прочие постоянные издержки экономики.

Тогда динамика ВВП для страны–члена ЕС с учетом влияния миграционных потоков может быть записана в виде

$$\begin{gathered} GDP_j(t) = \left(a_j K_j^{\alpha_j}(t) L_j^{\beta_j}(t) - G_j^t(t)\right) + \left(\tilde{K}_j^{\tilde{\alpha}_j}(t) \tilde{L}_j^{\tilde{\beta}_j}(t) - \tilde{G}_j^t(t)\right) - \left(B_j(t) + W_j(t)\right) \times \\ \times \sum_{e=1}^{E} fl_{ej,D}(t) - \left(L_j(t) S_j(t) + \tilde{L}_j(t) \underline{S}_j(t)\right) - Const_j(t), \\ j \in \tilde{J},\ t \in \tilde{T}, \end{gathered} \tag{8}$$

где численность высококвалифицированных трудовых ресурсов —

$$L_j(t) = L_j(t-1) + \sum_{i=1}^{I} fl_{ij,B}(t) + \sum_{e=1}^{E} fl_{ej,C}(t); \tag{9}$$

численность низкоквалифицированных трудовых ресурсов —

$$\tilde{L}_j(t) = \tilde{L}_j(t-1) + \sum_{i=1}^{I} fl_{ij,A}(t) + \sum_{e=1}^{E} fl_{ej,D}(t). \tag{10}$$

Теперь можно сформулировать важнейшую **бикритериальную задачу рационального управления миграционными потоками** для страны–члена ЕС.

Задача А. Требуется максимизировать интегральный ВВП и минимизировать общее число иммигрантов по набору управляющих параметров $\left\{S_j(t), \underline{S}_j(t), B_j(t), W_j(t), \bar{M}_C(t), \bar{M}_D(t)\right\}$ за период времени T:

$$\begin{gathered} \sum_{t=1}^{T} GDP_j(t) \to \max_{S_j(t),\, \underline{S}_j(t),\, B_j(t),\, W_j(t),\, \bar{M}_C(t),\, \bar{M}_D(t)}; \\ \sum_{t=1}^{T} M_j(t) \to \min_{S_j(t),\, \underline{S}_j(t),\, B_j(t),\, W_j(t),\, \bar{M}_C(t),\, \bar{M}_D(t)} \end{gathered} \tag{11}$$

при ограничениях:

$$\begin{gathered} \underline{S}_j(t) \le S_j(t) \le \bar{S}_j(t), \quad \underline{S}_{\min j}(t) \le \underline{S}_j(t) \le S_j(t), \\ \underline{B}_j(t) \le B_j(t) \le \bar{B}_j(t), \quad \underline{W}_j(t) \le W_j(t) \le \bar{W}_j(t), \\ 0 \le \bar{M}_C(t) \le \bar{M}_{\max C}(t), \quad 0 \le \bar{M}_D(t) \le \bar{M}_{\max D}(t), \\ j \in \tilde{J}, \quad t \in \tilde{T}. \end{gathered}$$

Здесь $\{\underline{S}_j(t), \bar{S}_j(t), \underline{S}_{\min j}(t)\}$, $\{\underline{B}_j(t), \bar{B}_j(t)\}$, $\{\underline{W}_j(t), \bar{W}_j(t)\}$, $\{\bar{M}_{\max C}(t), \bar{M}_{\max D}(t)\}$ — граничные значения соответствующих управляющих параметров.

Отметим, что сложность решения задачи (11) обусловлена большим числом управляющих параметров, характеризуемых непрерывным пространством поиска большой размерности. Целевые функционалы задачи (11) вычисляются в результате имитационного моделирования и не могут быть описаны аналитически. Необходимо учитывать высокую размерность задачи, определяемую числом соответствующих стран. Поэтому для численного решения подобной задачи предлагается использовать генетический оптимизационный алгоритм вещественного кодирования (класса RCGA), агрегированный с имитационной моделью AnyLogic. Подобный подход ранее был описан в работе (Бекларян, 2018).

Особенностью данного генетического алгоритма является реализация методов поисковой адаптации на индивидуальном уровне агентов-процессов, взаимодействующих посредством периодического обмена наилучшими потенциальными решениями через глобальный архив недоминируемых решений. В результате обеспечивается эффективная процедура поиска оптимальных по Парето решений для многокритериальных оптимизационных задач большой размерности.

3. КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ

Компьютерная реализация разработанной укрупненной модели миграционных потоков была выполнена в системе AnyLogic. Для моделирования процессов перераспределения миграционных потоков между странами ЕС применялись методы системной динамики, ранее описанные в работе (Акопов, 2015) (рис. 5).

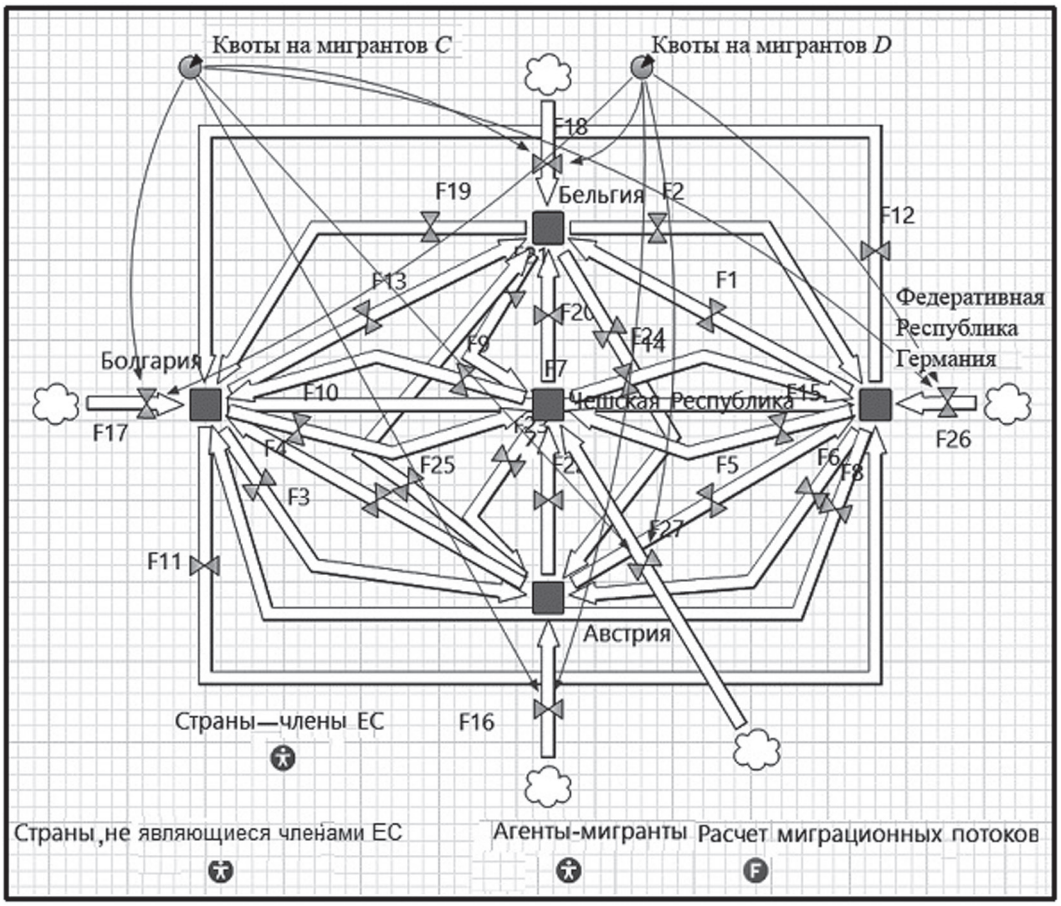


Рис. 5. Фрагмент реализация модели миграционных потоков в AnyLogic

Для моделирования индивидуальных состояний агентов-мигрантов, агентов-стран, являющихся членами ЕС, и агентов-стран, не являющихся членами ЕС, используются методы агентного моделирования (рис. 6). Подобный подход позволяет учесть влияние состояний агентов на динамику миграционных потоков, в частности, если агент-страна, не являющаяся членом ЕС, находится в кризисном состоянии, то интенсивность миграции из данной страны в страны ЕС резко возрастает.

Итак, в данной статье впервые была представлена расширенная гравитационная модель, описывающая динамику миграционных потоков с выделением множественных факторов, дифференцированно влияющих на привлекательность стран ЕС для различных групп мигрантов. Разработанная модель использует методы агентного моделирования для реализации индивидуальной

системы предпочтений агентов-мигрантов по отношению к различным странам ЕС, а также методы системной динамики для моделирования процессов перераспределения миграционных потоков между странами ЕС.

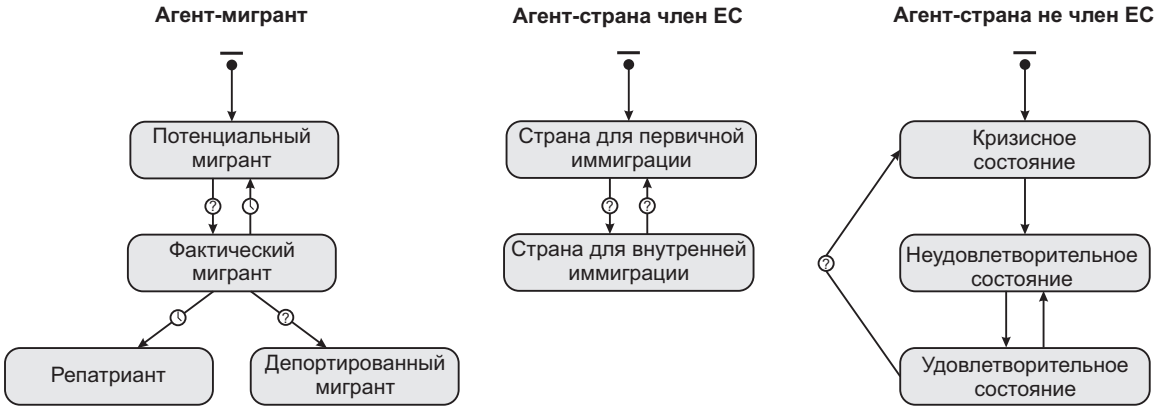


Рис. 6. Фрагмент реализации модели состояний агентов-мигрантов и агентов-стран в AnyLogic

Дальнейшие исследования предполагают следующие направления:

– проведение численных экспериментов и сценарных расчетов с использованием реальных данных с детализацией по странам ЕС и категориям мигрантов;

– дальнейшая детализация структуры миграционных потоков с уточнением соответствующих индивидуальных предпочтений на уровне кластеров мигрантов;

– проведение множественных оптимизационных экспериментов для одной из стран ЕС (в частности, Австрии) с целью определения рациональной миграционной политики;

– визуализация миграционных потоков на карте ЕС.

В результате будет разработана крупномасштабная система поддержки принятия решений в области миграционной политики с использованием методов имитационного моделирования и многоцелевой (эвристической) оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акопов А.С. (2015). Имитационное моделирование. Учебник и практикум. М.: ЮРАЙТ.

Бекларян Г.Л. (2018). Укрупненная имитационная модель внешнеэкономической деятельности РФ // *Экономическая наука современной России*. № 4. С. 50–65.

Бахтизин А.Р. (2008). Агент-ориентированные модели экономики. М.: Экономика.

Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. (2013). Социальное моделирование — новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика.

Akopov A.S., Beklaryan L.A., Saghatelyan A.K. (2017). Agent-Based Modelling for Ecological Economics: A Case Study of the Republic of Armenia // *Ecological Modelling*. Vol. 346. P. 99–118.

Anderson J.E. (1979). A Theoretical Foundation for the Gravity Equation // *American Economic Review*. Vol. 69. P. 106–116.

Beklaryan A., Akopov A.S. Simulation of Agent-rescuer Behaviour in Emergency Based on Modified Fuzzy Clustering. In: "AAMAS'16: *Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems. Richland: International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems"*. P. 1275–1276.

Deardorff A. (1998). Determinants of Bilateral Trade: Does Gravity Work in a Classical World? In: Frankel J.A. (ed.) *"Regionalization of the World Economy"*. Chicago: University of Chicago. P. 7–22.

Epstein J. (2007). Generative Social Science. Studies in Agent-Based Computational Modeling. Hardcover.

Grimm V., Railsback S.F. (2005). Individual-Based Modeling and Ecology. Princeton: Princeton University Press.

Klabunde A., Willekens F. (2016). Decision-Making in Agent-Based Models of Migration: State of the Art and Challenges // *European Journal of Population*. Vol. 32. No. 1. P. 73–97.

Lewer J.J., Berg H.V.D. (2008). A Gravity Model of Immigration // *Economics Letters*. Vol. 99 (1). P. 164–167.

Miller J.H. (2007). Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life. Princeton: Princeton Studies in Complexity.

Ramos R., Suriñach J. (2013). A Gravity Model of Migration between ENC and EU. [Электронный ресурс] Working Paper 2013/17. P. 26. Режим доступа: http://www.ub.edu/irea/working_papers/2013/201317.pdf, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: сентябрь 2018 г.).

Silveira J.J., Espíndola A.L., Penna T.J.P. (2006). Agent-Based Model to Rural-Urban Migration Analysis // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. Vol. 364. P. 445–456.

Stewart Q.J. (1950). The Development of Social Physics // *American Journal of Physics*. Vol. 18. P. 239–253.

Yap Y.L. (1977). The Attraction of Cities: A Review of the Migration Literature // *Journal of Development Economics*. Vol. 4 (3). P. 239–264.

REFERENCES (with English translation or transliteration)

Akopov A.S. (2015). Simulation modeling. Textbook and workshop. [Imitacionnoe Modelirovanie. Uchebnik i praktikum.] Moscow: YURAJT (in Russian).

Akopov A.S., Beklaryan L.A., Saghatelyan A.K. (2017). Agent-Based Modelling for Ecological Economics: A Case Study of the Republic of Armenia. *Ecological Modelling*, 346, 99–118.

Anderson J.E. (1979). A Theoretical Foundation for the Gravity Equation. *American Economic Review*, 69, 106–116.

Bakhtizin A.R. (2008). (2008). Agent-Based Models of the Economy. [Agent-orientirovannye modeli ehkonomiki.] Moscow: Ekonomika (in Russian).

Beklaryan G.L. (2018). Aggregated Simulation Model of Foreign Economic Activity of the Russian Federation. *Economic Science of Contemporary Russia*, 4, 50–65 (in Russian).

Beklaryan A., Akopov A.S. Simulation of Agent-rescuer Behaviour in Emergency Based on Modified Fuzzy Clustering. In: "AAMAS'16: *Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems. Richland: International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems",* 1275–1276.

Deardorff A. (1998). Determinants of Bilateral Trade: Does Gravity Work in a Classical World? In: Frankel J.A. (ed.) *"Regionalization of the World Economy"*. Chicago: University of Chicago, 7–22.

Epstein J. (2007). Generative Social Science. Studies in Agent-Based Computational Modeling. Hardcover.

Grimm V., Railsback S.F. (2005). Individual-based Modeling and Ecology. Princeton: Princeton University Press.

Klabunde A., Willekens F. (2016). Decision-Making in Agent-Based Models of Migration: State of the Art and Challenges. *European Journal of Population*, 32(1), 73–97.

Lewer J.J., Berg H.V.D. (2008). A Gravity Model of Immigration. *Economics Letters*, 99 (1), 164–167.

Makarov V.L., Bakhtizin A.R. (2013). Social Modeling Is a New Computer Breakthrough (Agent-Based Models). [Social'noe modelirovanie — novyj komp'yuternyj proryv (agent-orientirovannye modeli).] Moscow: Ekonomika (in Russian).

Miller J.H. (2007). Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life. Princeton: Princeton Studies in Complexity.

Ramos R., Suriñach J. (2013). A Gravity Model of Migration between ENC and EU. Working Paper 2013/17, 26. Available at: http://www.ub.edu/irea/working_papers/2013/201317.pdf (accessed: September 2018).

Silveira J.J., Espíndola A.L., Penna T.J.P. (2006). Agent-Based Model to Rural-Urban Migration Analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 364, 445–456.

Stewart Q.J. (1950). The Development of Social Physics. *American Journal of Physics,* 18, 239–253.

Yap Y.L. (1977). The Attraction of Cities: A Review of the Migration Literature. *Journal of Development Economics,* 4 (3), 239–264.

Aggregated Agent-Based Simulation Model of Migration Flows of the European Union Countries

V.L. Makarov[i,*], A.R. Bakhtizin[i], G.L. Beklaryan[i], A.S. Akopov[i], E.A. Rovenskaya[ii,], N.V. Strelkovskii[ii]**

[i] *Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[ii] *International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria; Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

[*] *E-mail: makarov@cemi.rssi.ru* [**] *E-mail: rovenska@iiasa.ac.at*

Received 01.12.2018

This study was financial partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 18-51-14010 АНФ_а).

This article presents the aggregated agent-based simulation model of migration flows of the European Union (EU) countries, implemented in the AnyLogic system, created in the form of an extended "gravity model", according to which individual decisions by agent-migrants are based on the integrated assessment of socio-economic, geographical and other differentiation of the respective countries. At the same time, some factors 'attract' migrants, while others 'repel'. A distinctive feature of the model is the differentiation of migration flows by the categories of migrants with the release of various influencing factors that reflect the individual preferences of agent-migrants regarding to the agents-countries (EU members). At the same time, there are multiple control parameters that affect the distribution of migration flows between the EU countries, in particular, migration quotas, unemployment benefits, minimum wages, etc. The most important bicriterial optimization task of EU countries for choosing rational migration and economic policies based on maximizing integral GDP and minimizing the total number of migrants has been formulated. The issue is aimed to control parameters that affect the structure of migration flows and labor resources, as well as their maintenance costs. For the first time, an expanded gravitational model has been proposed and studied, describing dynamic migration flows with the release of multiple factors that differentiate the attractiveness of EU countries for various groups of migrants, for example, internal migrants, economic migrants, refugees, etc.

Keywords: agent-based modeling of migration flows, multi-criteria optimization, AnyLogic, problems of migration to the EU.

JEL Classification: B23, F22, J61.

DOI: 10.31857/S042473880004044-7

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, 2019, том 55, № 1, с. 16–31

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Сравнительный анализ стратегий динамического ценообразования на рынках сетевых благ в случаях монополии и предконкурентного стратегического альянса

© 2019 г. В.Е. Дементьев[i,*], Е.В. Устюжанина[ii,]**

[i] *Центральный экономико-математический институт РАН, Москва*

[ii] *Российский экономический университет (РЭУ) им. Г.В. Плеханова, Москва*

[*] *E-mail: vedementev@rambler.ru* [**] *E-mail: dba-guu@yandex.ru*

Поступила в редакцию 13.08.2018

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 17-06-00080) “Сравнительный анализ стратегий ценообразования на рынках сетевых благ на основе экономико-математического моделирования”.

Статья посвящена исследованию стратегий ценообразования на рынках сетевых благ. Для таких рынков характерно существование критической массы потребителей блага. В статье анализируется, как использование динамического ценообразования ради форсированного наращивания числа потребителей может сказаться на величине чистого приведенного дохода поставщика-монополиста. Рассматриваются два варианта динамического ценообразования. В одном варианте цены устанавливаются в некоторой пропорции от реальной полезности блага для потребителя, величина которой зависит от уже существующего числа пользователей данного блага. Другой вариант ценообразования — двухрежимный: на первом этапе для ускоренного формирования критической массы покупателей сетевое благо предоставляется им бесплатно; на втором этапе цена устанавливается в пропорции к полезности блага, как и в первом варианте. Для обоих вариантов на условных примерах показаны режимы ценообразования, соответствующие установке на максимизацию чистого приведенного дохода. Решение задачи достижения критической массы потребителей оказывается особенно сложным, когда необходим высокий уровень капитальных затрат. Возможным выходом из положения является создание стратегических альянсов. В статье рассматривается ситуация, когда после такой предконкурентной кооперации ее участники выбирают разные режимы ценообразования. Один участник делает ставку на опережающее конкурента увеличение своей рыночной доли за счет более низких цен. Второй участник стремится воспользоваться обеспечиваемым конкурентом разогревом рынка сетевого блага. Интенсивность реакции потребителей на различия в ценах поставщиков может рассматриваться в качестве одной их характеристик рынка. В статье анализируется влияние изменения этой характеристики на результаты действий конкурентов с разными режимами ценообразования.

Ключевые слова: сетевые блага, динамическое ценообразование, стратегические альянсы, монополия, дуополия.

Классификация JEL: D46, G30, C12.

DOI: 10.31857/S042473880003986-3

ВВЕДЕНИЕ

В современной экономике все возрастающую роль играют цифровые блага (смартфоны, электронная почта, Skype, социальные сети, электронные торговые сети, технологические платформы и др.). Для рынков многих таких благ характерно наличие сетевых эффектов. Сетевым эффектом (или сетевой экстерналией) называется эффект влияния, который оказывает пользователь товара или услуги на ценность этого продукта или услуги для других пользователей. О товарах, услугах, реализуемых на таких рынках, говорят как о *сетевых благах*.

Для рынков с сетевыми эффектами характерно существование критической массы потребителей блага, т.е. такого числа участников сети, после которого у многих появляется желание подключиться к ней даже без дополнительных стимулов. Начинается этап быстрого роста сети, поддерживаемого повышением потребительной ценности сетевого блага. Со временем достигается другое пороговое значение, после которого рост и ценности блага, и численности сети замедляется. Воз-

можны ситуации, когда отрицательные экстерналии сети начитают перевешивать положительные, например из-за перегрузки используемой инфраструктуры ухудшается качество предоставляемых услуг.

Становление рынка сетевых благ обычно требует крупных инвестиций в соответствующую инфраструктуру (Интернет, коммуникационное оборудование, программное обеспечение и др.). При этом текущие удельные издержки предоставления благ оказываются невелики, и даже снижаются при быстром росте числа потребителей.

Как изменчивость условий развития сетевых благ (до и после достижения критической массы потребителей), так и специфика формирования удельных издержек их производства требуют отхода на рынках этих благ от традиционных принципов ценообразования, в частности от схемы "издержки + приемлемый уровень прибыли". Актуальным для таких рынков является эволюционный подход к ценообразованию (динамическое ценообразование), учитывающий специфику разных этапов развития рынка сетевого блага.

Для многих благ, причем не только цифровых, сетевой эффект возникает в связи с используемыми технологическими стандартами. В качестве иллюстрации здесь могут служить стандарты напряжения в электрической сети и электрических розетках. Развитие информационных технологий сопровождается формированием новых стандартов (мобильной связи, записи информации и т.д.).

Общая черта рынков, на которых технологические стандарты стали столь важными, состоит в том, что полезность потребления продукта или обслуживания увеличивается с числом использующих его людей (Chakravarti, Xie, 2014).

Победитель в инновационном соперничестве часто определяется путем конкуренции стандартов. Более распространенный стандарт влияет на предпочтения потенциальных потребителей. Инновационная конкуренция представляет собой гонку на опережение в расширении сферы распространения новых стандартов, в увеличении числа использующих их потребителей. Низкая цена на соответствующие определенному стандарту товары и услуги служит одним из инструментов такого соперничества. После победы в конкуренции стандартов ориентиры ценообразования могут быть изменены. В этой связи возникает вопрос, как использование динамического ценообразования ради форсированного наращивания числа потребителей (для создания критической их массы, для утверждения нового стандарта) может сказаться на итоговом финансовом результате занявшего монопольное положение победителя.

В статье рассматриваются два варианта динамического ценообразования монополиста, стремящегося форсировать насыщение рынка сетевого блага до появления на этом рынке конкурентов. В первом варианте цена в каждый момент времени соответствует фиксированной доле от текущего значения полезности блага для потребителя. При выборе этой доли могут учитываться как длительность срока окупаемости инвестиций, так и получаемый в итоге чистый приведенный доход (*NPV*).

Во втором варианте в начальный период времени на сетевое благо устанавливается нулевая цена, что способствует быстрому формированию критической массы покупателей. В дальнейшем же реализуется тот же принцип фиксации соотношения между ценой и полезностью блага, который используется в первом варианте ценообразования.

На условных примерах демонстрируются возможности использования представленных вариантов ценообразования как инструментов максимизации чистого приведенного дохода.

Во второй части статьи высокий уровень капитальных затрат для достижения критической массы потребителей представлен как фактор, побуждающий поставщиков сетевых благ сотрудничать в несении таких затрат, создавать предконкурентные стратегические альянсы. Эти альянсы могут быть нацелены на совместное формирование необходимой инфраструктуры и кооперацию в проведении исследований. Однако после решения такого рода задач поставщики действуют как конкуренты, используя разные режимы ценообразования. Один делает ставку на рост доходов за счет привлечения большего числа потребителей, другой — на получение доходов с помощью относительно более высоких цен. Этот участник исходит из того, что даже если его цены выше,

чем у конкурента, но меньше реальной полезности блага для потребителя, то и его предложение найдет своего покупателя. Рассматриваются последствия выбора конкурентами отличающихся режимов ценообразования.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Продукты с сетевыми эффектами и рынки таких продуктов привлекают внимание все большего числа исследователей. К первым публикациям по этой теме относятся работы (Rohlfs, 1974; Katz, Shapiro, 1985; Farrell, Saloner, 1985). В нескольких эмпирических исследованиях было подтверждено существование сетевых эффектов. Так, (Brynjolfsson, Kemerer, 1996) установили, что сетевые эффекты на рынке программного продукта повышают его цену.

Отмечается большая роль стандартов в формировании рынков сетевых благ (Liu et al., 2012). Так, существует обширная литература о роли стандартов в телекоммуникациях (Mackie-Mason, Netz, 2006; Park, Jayakar, 2015). Очевидно, что использование в мобильных сетях всемирно признанных стандартов обеспечивает возможность роуминга в разных странах.

Более поздние участники рынка часто вынуждены подстраиваться под стандарт, заданный первым продавцом, что дает ему существенные преимущества (Arthur, 1989; Katz, Shapiro, 1986). Высокие издержки переключения на другой стандарт помогают внедрившему исходный стандарт поставщику сетевого блага сохранить своих клиентов при появлении новых стандартов (Economides, 1996). Существенные издержки переключения придают инерционность экономическому развитию, сдерживают внедрение инноваций, связанных с изменением стандартов (Farrell, Saloner, 1992; Gottinger и Takashima, 2000). Несколько эмпирических исследований подтвердили наличие существенных преимуществ у обладателей доминирующих стандартов (Hartman, 1989; Greenstein, 1993; Brynjolfsson, Kemerer, 1996; Gandal, 1995; Chen, Forman, 2006). Среди рекомендуемых приемов в конкуренции стандартов — форсированное формирование критической массы покупателей с помощью политики низких цен для первых покупателей (Besen, Farrell, 1994).

Однако пока явный победитель в конкуренции стандартов еще не определился, выжидательное поведение потребителей способно блокировать формирование соответствующего рынка (Choi, 1997). Среди средств преодоления такой блокировки — стимулирующие цены.

Цены на сетевые блага — одно из основных направлений исследования рынков этих благ. Поиски рациональных маркетинговых стратегий на рынках с положительными экстерналиями и одним поставщиком приводят к использованию динамического ценообразования, учитывающего зависимость спроса от численности уже имеющихся клиентов (Hartline, Mirrokni, Sundararajan, 2008; Akhlaghpour, 2010; Cabral, Salant, Woroch, 1999).

Показано, что на таких рынках максимизации дохода поставщика отвечает стратегия постепенного повышения цены. Издержки продаж по низким ценам для первых покупателей удается компенсировать за счет удорожания продуктов или услуг при последующих продажах (Hartline, Mirrokni, Sundararajan, 2008). Обзор литературы по динамическому ценообразованию представлен в (Elmaghraby, Keskinocak, 2003).

Наряду с ценообразованием при глобальных сетевых эффектах рассматриваются цены при локальных сетевых эффектах, когда полезность блага определяется некоторым подмножеством потребителей (Ballester et al., 2006; Banerji, Dutta 2009; Candogan, Bimpikis, Ozdaglar, 2012; Fainmesser, Galeotti, 2015; Belloni, Deng, Pekec, 2017). Учитывается, что сетевое благо может иметь различную оценку у потребителей безотносительно к сетевому эффекту (Cohen, Harsha, 2013).

Ряд исследований ценообразования на рынках сетевых благ представлен в отечественных публикациях. Так, эмпирический анализ телекоммуникационной отрасли показал, что как только потребители теряют интерес к качественным компонентам продукта, усиливается ценовая конкуренция. Когда же компаниям удается найти или создать значимые факторы дифференциации, выбор потребителей становится все менее связанным с ценой и отрасль оказывается поделенной на сегменты с единственным лидером (Розанова, Буличенко, 2011; Стрелец, 2017).

Современная экономика функционирует в условиях жесточайшей конкуренции. Между собой конкурируют не только товары и услуги, но и сети. Порой речь идет не о том, что один товар или

услуга вытесняют другой товар или услугу, а о том, что одна группа товаров и/или услуг, объединенная в сеть, вытесняет другую группу товаров и/или услуг, объединенную в другую сеть. В такой ситуации растущую роль в конкурентной борьбе играет выявление и использование сетевых мультипликационных эффектов.

В (Розанова 2015, 2016) рассматривается модификации сетевой конкуренции в условиях цифровой трансформации, формирования технологических платформ. Отмечается увеличение ценовой эластичности спроса на ИКТ-услуги и ужесточение ценовой конкуренции.

Проблема выбора стратегии ценообразования в условиях временной монополии поставщика сетевого блага анализируется в работе (Евсюков, Сигарев, Устюжанина, 2016). Учитывается, что доходы компании–поставщика блага могут формироваться следующим образом: доходы от продажи самого блага, абонентской платы и смешанным образом — из обоих источников. Определены условия предпочтительности каждого варианта.

В статье (Дементьев, Евсюков, Устюжанина, 2018) на основе модели дуополии рассматривается распределение эффекта от выпуска и реализации нового сетевого блага между генератором — агентом, предлагающим рынку принципиально новый продукт, и имитатором — агентом, имеющим возможность относительно быстро воспроизводить инновацию. Показано, что форсированный с помощью низких цен выход генератора на критическую массу потребителей позволяет ему присвоить основной эффект повышения цен до раздела рынка с имитатором.

Такой подход к ценообразованию фигурирует в (Антипина, 2009) как агрессивное ценообразование на основе преимущества в объеме производства. Главным условием успеха в проведении этой стратегии становится не поиск возможностей снижения издержек производства, а решение задачи создания массового спроса на продукцию (Антипина, 2009, с. 98).

Ускорение роста спроса достигается с помощью достаточно низких цен. Однако вопрос о рациональной степени агрессивности ценообразования остается открытым, поскольку и к низким ценам может быть отнесен интервал ценовых значений. Поэтому допустимо говорить о разном уровне агрессивности ценообразования. Вопрос об оправданной дозировке ценовой агрессивности актуален как для единственного поставщика, которому важно получить монопольную прибыль и сделать это в сжатые сроки, до прихода на рынок новых поставщиков, так и для конкурирующих производителей сетевых благ. Связь между дозировкой снижения цены и итоговой прибылью поставщика (монополиста, олигополиста) — предмет настоящей статьи.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для сравнительного анализа стратегий динамического ценообразования на рынке сетевого блага строятся две аналитические модели с дискретным временем. Первая модель описывает монопольную ситуацию, вторая — переход от стратегического альянса к олигопольной конкуренции. На основе этих моделей проводятся численные эксперименты, в которых стратегии ценообразования на сетевое благо варьируют. Каждую стратегию ценообразования характеризует свое соотношение между текущими значениями цены сетевого блага и его потребительской полезности. Численные эксперименты призваны показать, как это соотношение влияет на сроки достижения точки безубыточности производства и его дисконтированный денежный поток за весь рассматриваемый период.

В моделях предполагается, что блага являются неделимыми и с достаточным для охватываемого моделью периода времени сроком службы. Потребитель приобретает лишь одну единицу такого блага и сразу оплачивает покупку.

Критическая масса покупателей в моделях в явном виде не выделяется. Однако эффект возникновения такой массы покупателей фактически учитывается при описании зависимости между числом потребителей сетевого блага и его полезностью для отдельного потребителя. Для этого описания, как и в (Евсюков, Сигарев, Устюжанина, 2016; Дементьев, Евсюков, Устюжанина, 2018), используется функция Ферхюльста, придающая рассматриваемой зависимости вид логистической кривой.

Вопрос о достижении критической массы актуален не только для сферы потребления продукта, услуги. Для многих рынков с сетевыми эффектами правомерна постановка вопроса о критической массе капитальных вложений. Имеется в виду способность инноватора мобилизовать в ограниченное время такой объем инвестиций, который позволит действовать на опережение в формировании критической массы покупателей и, как следствие, захватить лидирующие позиции на соответствующем рынке. Размеры капитальных и удельных текущих затрат принимаются в моделях фиксированными, т.е. они не зависят от объема производства.

Чем жестче ограничены ресурсы (финансовые, научно-технические, рекламные) у нацеленного на производство сетевых благ предпринимателя, тем труднее ему самостоятельно преодолеть барьеры в виде критической массы покупателей, особенно если это предполагает крупные вложения в инфраструктуру, в НИОКР. Тем больше оснований искать партнера для осуществления таких вложений, даже если партнер — потенциальный конкурент на новом сетевом рынке.

Как известно, альянсы фирм-конкурентов составляют не менее 70% общего числа соглашений о сотрудничестве, заключаемых между компаниями (Гарретт, Дюссож, 2002, с. 93). Поскольку речь идет о сотрудничестве компаний только на начальной стадии формирования сетевого рынка, такое сотрудничество относят к стратегическим альянсам интеграционного типа (Гарретт, Дюссож, 2002, с. 101). Они являются предконкурентными альянсами, поскольку, по наблюдениям, распадаются чаще других типов альянсов, причем нередко партнеры превращаются в конкурентов, даже не решив полностью задачу альянса (Гарретт, Дюссож, 2002, с. 314). Анализ развития интеграционных альянсов представляет особый интерес для российской экономики. Ее развитие сдерживает низкий уровень частных инвестиций в инновационные разработки и проекты. Интеграционные альянсы — средство координации таких инвестиций, снижения их рисков.

МОДЕЛЬ С МОНОПОЛЬНЫМ ПОСТАВЩИКОМ СЕТЕВЫХ БЛАГ

Введем обозначения: T — продолжительность рассматриваемого интервала времени, охватывает T его единичных интервалов; t — текущий период времени, $t = 0,..., T$; N — общая численность потенциальных потребителей сетевого блага; $n(t)$ — численность потребителей блага к началу периода t, что соответствует количеству произведенных и реализованных к этому моменту благ; $U(n(t))$ — ценность блага, когда численность его потребителей составляет $n(t)$; $p(t)$ — цена блага в период t; $a(t)$ — соотношение между ценой блага и его полезностью в период t; $p(t) = a(t)U(n(t))$; $a(t) < 1$; K — капитальные вложения, осуществляются в момент $t = 0$; h — текущие удельные затраты; $q(t)$ — выпуск благ в период t, первый объем производства благ получается в момент $t = 1$.

Зависимость между ценностью блага для потребителя в период t и числом уже имеющихся потребителей блага описывается функцией Ферхюльста:

$$U\left(n(t)\right) = \frac{U}{1 + d\,\mathrm{e}^{-b\cdot n(t)}}, \tag{1}$$

где U — предельная ценность продукта для потребителя (ценность продукта, когда сетевой эффект от его потребления достигает максимальной величины); d — параметр, задающий стартовую долю ценности; b — параметр, задающий скорость исчерпания потенциала роста ценности блага.

Спрос в период t зависит от числа потенциальных потребителей, еще не имеющих рассматриваемого блага, и от того, насколько значительна (по отношению к потенциальной полезности блага) наблюдаемая потенциальными покупателями разность между текущими полезностью и ценой. Коэффициент v характеризует интенсивность реагирования спроса на разность между полезностью и ценой блага. Выпуск благ $q(t)$ в период t соответствует спросу. Таким образом, спрос и выпуск в период t описывает следующая формула:

$$q(t) = \frac{v\left(N - n(t)\right)\left(1 - a(t)\right)U\left(n(t)\right)}{U}. \tag{2}$$

Поскольку каждый потребитель приобретает только одну единицу блага, увеличение численности потребителей к моменту $(t + 1)$ равно числу проданных в момент t благ. Динамика численности потребителей определяется соотношением

$$n(t+1)=\frac{v\big(N-n(t)\big)\big(1-a(t)\big)U\big(n(t)\big)}{U}+n(t). \tag{3}$$

Общее количество реализованных благ на момент t составляет

$$\mathrm{Q}(t)=\sum_{\tau=1}^{t}\frac{v\big(N-n(\tau)\big)\big(1-a(\tau)\big)U\big(n(\tau)\big)}{U}. \tag{4}$$

Чистая приведенная стоимость проекта за период $[0, t]$, приведенная к моменту $t = 0$, находится из формулы

$$\begin{aligned} NPV(t)&=-K+\sum_{\tau=1}^{t}\Big[\big(p(\tau)-h\big)q(\tau)(1+r)^{-\tau}\Big]=\\ &=-K+\sum_{\tau=1}^{t}\left[\left(\frac{a(\tau)U}{1+d\,\mathrm{e}^{-b\cdot n(\tau)}}-h\right)\big(N-n(\tau)\big)\frac{v\big(1-a(\tau)\big)}{U}\left(\frac{U}{1+d\,\mathrm{e}^{-b\cdot n(\tau)}}\right)(1+r)^{-\tau}\right]=\\ &=-K+\sum_{\tau=1}^{t}\left[\left(\frac{a(\tau)U}{1+d\,\mathrm{e}^{-b\cdot n(\tau)}}-h\right)\big(N-n(\tau)\big)\left(\frac{v\big(1-a(\tau)\big)}{1+d\,\mathrm{e}^{-b\cdot n(\tau)}}\right)(1+r)^{-\tau}\right] \end{aligned} \tag{5}$$

с учетом того, что $q(0) = 0$.

Стратегия динамического ценообразования определяется значениями коэффициента $a(t)$. В первоначальных расчетах по модели 1 разные стратегии задаются фиксацией одного и того же значения коэффициента $a(t)$ вдоль всей траектории производства и реализации сетевого блага. Таким образом, разными значениями $a(0)$ задается набор траекторий цен, каждая из которых имеет вид

$$p(0) = 0,\ p(1) = a(0)U(n(1)),\ \ldots,\ p(t) = a(0)U(n(t)),\ \ldots,\ p(T) = a(0)U(n(T)).$$

С помощью численных расчетов, параметры которых указаны в табл. 1, сопоставляются стратегии динамического ценообразования при следующих значениях коэффициента $a(0)$: 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,75.

Таблица 1. Параметры численных расчетов

Временные параметры	
Продолжительность рассматриваемого периода (T)	40 единичных интервалов (кварталы)
Ставка дисконтирования с учетом инфляции (r)	4%
Затраты	
Вложения в организацию производства, капитальные вложения (K)	1 000 000 руб.
Удельные переменные затраты (h)	100 руб./ед.
Ценность продукции	
Предельная ценность продукта для потребителя (U)	5000 руб./ед.
Параметр, задающий стартовую долю ценности (d)	2000
Параметр исчерпания потенциала роста ценности (b)	0,01
Спрос на продукцию	
Максимально возможное число потребителей блага (N)	50 000 ед.
Параметр, характеризующий интенсивность реагирования спроса на разность между полезностью и ценой блага (v)	0,4

Каких значений при этих стратегиях достигает срок окупаемости проекта производства сетевого блага, чистая приведенная стоимость к моменту $t = 20$ ($NPV(20)$) и к моменту $T = 40$ ($NPV(40)$), показано в табл. 2 и на рис. 1.

Таблица 2. Значения *NPV* при разных стратегиях динамического ценообразования

a(0)	Срок окупаемости	*NPV*(20)	*NPV*(40)
0,05	15	2 365 459	2 485 642
0,1	15	8 388 908	8 932 740
0,15	16	12 218 980	13 713 245
0,2	16	15 767 852	18 752 425
0,25	17	19 105 031	24 734 357
0,3	18	18 582 076	29 055 603
0,35	19	12 032 405	31 209 472
0,4	21	–580 036	34 016 651
0,45	22	–1 022 535	37 025 816
0,5	24	–1 015 133	38 011 061
0,55	26	–1 011 349	35 489 362
0,6	29	–1 008 863	33 326 301
0,65	33	–1 007 009	25 453 427
0,7	38	–1 005 526	10 562 711
0,75	>40	–1 004 287	–1 010 205

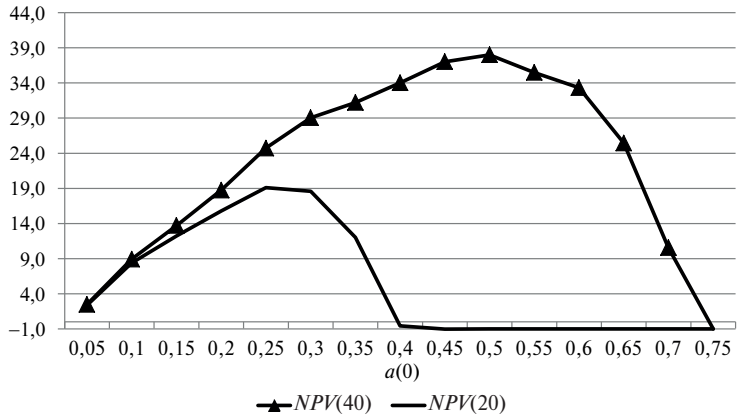


Рис. 1. Чистая приведенная прибыль за 20 и 40 периодов при разных стратегиях динамического ценообразования, млн ед.

Расчеты показывают, что при разных стратегиях ценообразования окупаемость проекта наступает вскоре после накопления критической массы покупателей, когда медленное повышение их численности сменяется быстрым ростом. Однако для траекторий с фиксированным соотношением между текущей ценой и полезностью блага стремление форсировать формирование критической массы покупателей, сильно занижая это соотношение, оборачивается недополученной прибылью. К таким же последствиям приводит и противоположная стратегия ценообразования, когда цена близка к текущей полезности блага.

Из сопоставления чистой приведенной прибыли за 20 и 40 периодов при разных стратегиях динамического ценообразования можно сделать вывод о том, что стратегия ценообразования на сетевые блага длительного использования должна учитывать вероятность появления конкурирующих предложений или подрывных продуктов. Если такая вероятность велика, следует выбирать вариант с относительно более быстрым, но не форсированным формированием критической массы покупателей.

От анализа однородных стратегий ценообразования (в смысле постоянства пропорции “цена/полезность” вдоль всей траектории изменения цены) обратимся к гибридным стратегиям динамического ценообразования. Ограничимся сопоставлением стратегий, которые предусматривают бесплатное предоставление благ в течение некоторого начального периода времени, а дальше используются однородные стратегии. Пусть начальный период бесплатного распространения блага

составляет 10 единичных интервалов. Сопоставительные результаты таких гибридных и ранее рассмотренных полностью однородных стратегий ценообразования представлены в табл. 3 и на рис. 2.

Таблица 3. Значения *NPV* при однородных и гибридных стратегиях динамического ценообразования

a(0)	*NPV*(40), однородные стратегии	*a*(11)	*NPV*(40), гибридные стратегии
0,05	2 485 642	0,05	2 766 316
0,1	8 932 740	0,1	9 323 888
0,15	13 713 245	0,15	15 869 211
0,2	18 752 425	0,2	22 288 904
0,25	24 734 357	0,25	28 079 072
0,3	29 055 603	0,3	32 514 817
0,35	31 209 472	0,35	37 168 240
0,4	34 016 651	0,4	43 265 882
0,45	37 025 816	0,45	49 515 472
0,5	38 011 061	0,5	55 135 275
0,55	35 489 362	0,55	57 244 495
0,6	33 326 301	0,6	60 366 446
0,65	25 453 427	0,65	64 617 658
0,7	10 562 711	0,7	63 441 732
0,75	–1 010 205	0,75	61 880 809

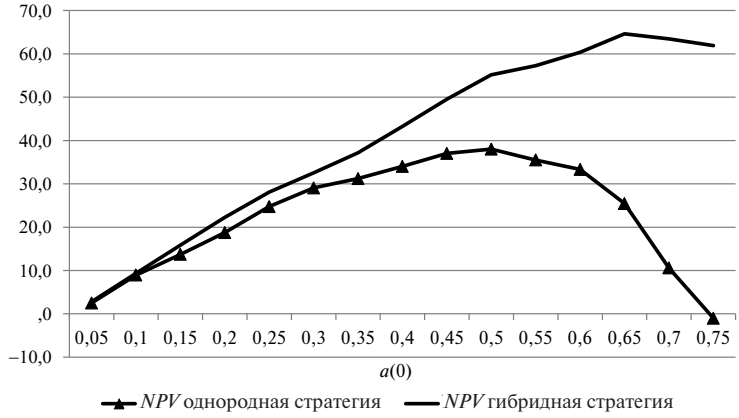


Рис. 2. Чистая приведенная прибыль за 40 периодов при однородных и гибридных стратегиях динамического ценообразования, млн ед.

При выборе стратегии ценообразования на любых рынках приходится искать компромисс между ростом спроса и рентабельностью продаж. Если благо обладает сетевым эффектом, простыми решениями трудно достичь хорошего компромисса. Это и показал анализ полностью однородных стратегий ценообразования. Переход к гибридным стратегиям облегчает приспособление к сложной динамике спроса на сетевые блага.

Удается разнести во времени решение задач наращивания спроса и наращивания дохода от продаж. Как следствие, максимальная приведенная прибыль при использовании гибридной динамической стратегии ценообразования на сетевое благо значительно превосходит прибыль при ориентации на полностью однородную, пусть и динамическую, стратегию ценообразования. Это достигается с помощью более высокого уровня цен после разогрева спроса бесплатными (или за символическую плату) благами. Подобные маркетинговые ходы наблюдаются на рынках не только сетевых благ. Задачу втягивания населения в новую сферу потребления решают и другие приемы, когда основным источником дохода производителя становится не продажная цена блага, а сервис, дополнительные услуги, абонентная плата (Евсюков, Сигарев, Устюжанина, 2016).

МОДЕЛЬ ИНТЕГРАЦИОННОГО АЛЬЯНСА С ОЛИГОПОЛЬНОЙ КОНКУРЕНЦИЕЙ

В аналитическом исследовании PwC, посвященном развитию стандарта 5G в России, указывается, что на создание инфраструктуры для запуска сетей пятого поколения (5G) российские операторы потратят по 130–165 млрд руб. каждый в период с 2020 по 2027 г. Утверждается, что эту сумму можно сократить до 110 млрд руб. в случае совместного использования необходимой инфраструктуры (PwC, 2018).

Такое сотрудничество операторов мобильной связи фактически означает создание ими предконкурентного стратегического альянса интеграционного типа.

Описанием интеграционного альянса, сочетающего совместные капитальные вложения с конкуренцией в сфере реализации сетевых благ, может служить аналитическая модель, использующая обозначения рассмотренной выше модели монопольного поставщика благ. Некоторые параметры удваиваются в соответствии с числом олигополистов в новой модели.

Теперь K_1 и K_2 — вклады первого и второго партнеров в капитальные вложения стратегического альянса; $a_1(t)$ и $a_2(t)$ — коэффициенты, определяющие ценовые стратегии этих партнеров, конкурирующих между собой на рынке готовой продукции (сетевых благ): $p_1(t) = a_1(t)U(n(t))$, $p_2(t) = a_2(t)U(n(t))$, где $n(t) = n_1(t) + n_2(t)$, $n_1(t)$, $n_2(t)$ — число покупателей к моменту t у первого и второго олигополистов соответственно, а функция $U(n(t))$ определяется формулой (1); $q_1(t)$ и $q_2(t)$ — продажи благ олигополистами в момент t; $n(t+1) = n(t) + q_1(t) + q_2(\mathrm{t})$.

Допустим, что распределение спроса между олигополистами обратно пропорционально их ценам на благо, а стратегии ценообразования являются однородными, тогда

$$\frac{q_1(t)}{q_2(t)} = \frac{p_2(t)}{p_1(t)} = \frac{a_2}{a_1}. \tag{6}$$

А с учетом (6) имеем

$$q_1(t) = \frac{a_2 q(t)}{a_1 + a_2}, \quad q_2(t) = \frac{a_1 q(t)}{a_1 + a_2}. \tag{7}$$

Формула (2) для спроса в целом в момент t принимает вид

$$q(t) = \frac{v\left(N - n(t)\right)\left(1 - \dfrac{a_1 n_1(t) + a_2 n_2(t)}{n(t)}\right)U\left(n(t)\right)}{U} = \frac{v\left(N - n(t)\right)\left(1 - \dfrac{a_1 n_1(t) + a_2 n_2(t)}{n(t)}\right)}{1 + d\,\mathrm{e}^{-b\cdot n(t)}}. \tag{8}$$

Изменения в формуле (2) учитывают тот факт, что одним из каналов распространения информации о ценовой политике олигополистов являются уже купившие у них товар потребители.

Чистая приведенная стоимость проекта для первого олигополиста за период $[0, t]$, приведенная к моменту $t = 0$, составляет

$$\begin{aligned} NPV_1(t) &= -K_1 + \sum_{\tau=1}^{t}\left[\left(p_1(\tau) - h_1\right)q_1(\tau)(1+r)^{-\tau}\right] = \\ &= -K_1 + \sum_{\tau=1}^{t}\left[\left(\frac{a_1 U}{1 + d\,\mathrm{e}^{-b\cdot n(\tau)}} - h_1\right)\left(N - n(\tau)\right)v\left(1 - \frac{a_1 n_1(\tau) + a_2 n_2(\tau)}{n(\tau)}\right)(1+r)^{-\tau} \Big/ \left(1 + d\,\mathrm{e}^{-b\cdot n(\tau)}\right)\right]. \end{aligned} \tag{9}$$

Аналогичным образом определяется $NPV_2(t)$.

В численных расчетах по модели 2 будем исходить из равенства капитальных вложений участников стратегического альянса: $K_1 = K_2 = 500\,000$. Кроме того, предположим, они проводят рекламную акцию к моменту $t = 1$, в результате которой $n_1(1) = 1$, $n_2(1) = 1$. Остальные исходные данные соответствуют модели 1.

Численные расчеты по модели 2 призваны выявить последствия использования олигополистами разных стратегий динамического ценообразования. Оказалось, что даже при существенных

различиях в стратегиях получаемые олигополистами результаты весьма близки. Траектории изменения во времени приведенных к моменту 0 прибылей олигополистов при $a_1 = 0{,}2$ и $a_2 = 0{,}8$ показаны на рис. 3.

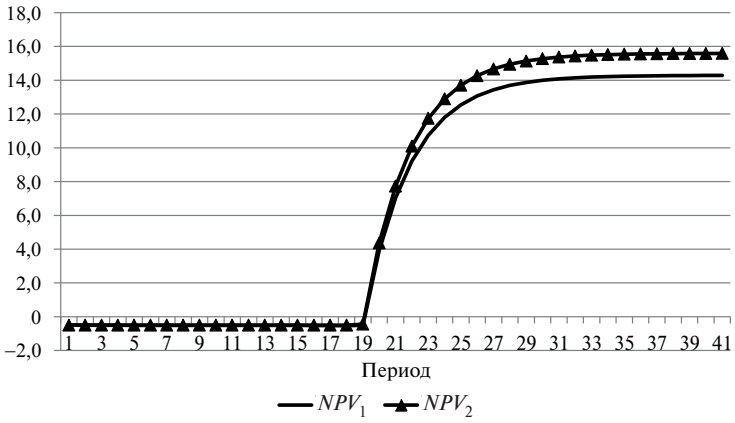


Рис. 3. Чистая приведенная стоимость проектов для олигополистов (NPV_1 при $a_1 = 0{,}2$ и NPV_2 при $a_2 = 0{,}8$), млн ед.

Такие различия в стратегиях соответствуют ситуации, когда один конкурент делает ставку на объем продаж, а другой — на прибыль от каждой продажи.

Итоговые близкие результаты конкурентов свидетельствуют о сильном экстернальном эффекте стратегии низких цен. Использующий эту стратегию олигополист разогревает общий спрос на благо, чем удается воспользоваться конкуренту.

При $a_1 = 0{,}2$ и $a_2 = 0{,}8$ в конце рассматриваемого периода $n_1(40) = 39\,951$, $n_2(40) = 9988$. Стратегия использования более низких цен в итоге оказалась не только менее прибыльной, но и потребовала более интенсивной текущей деятельности.

Обращает на себя внимание совпадение сроков окупаемости капиталовложений конкурентов при различиях в ценовых стратегиях. Такое совпадение наблюдалось и при других значениях коэффициентов a_1 и a_2.

Продолжительность срока окупаемости, как и абсолютные величины получаемых конкурентами прибылей, обнаруживает зависимость от стратегий ценообразования (табл. 4).

Таблица 4. Срок окупаемости и совокупная приведенная стоимость при разных стратегиях ценообразования

a_1	a_2	Срок окупаемости	$NPV(20)$	$NPV(40)$
0,1	0,9	16	13 407 155	16 140 036
0,2	0,8	19	14 773 312	29 867 443
0,3	0,7	21	–1 020 091	36 548 088
0,4	0,6	23	–1 018 501	38 233 928
0,5	0,5	24	–1 016 155	37 165 322

Сближение стратегий ценообразования олигополистов удлиняет сроки окупаемости проекта. При этом совокупная прибыль растет, но при очень близких стратегиях она снижается. Объяснением здесь может служить то, что величина экстернального эффекта от разогрева рынка и качество использования этого эффекта конкурентами в численной модели при $a_1 = 0{,}4$ и $a_2 = 0{,}6$ оказываются наиболее сбалансированными.

Предположение, что рынок делится точно в соответствии с обратными пропорциями цен, является сильным допущением. Потребители могут более резко реагировать на различия в ценах. Такую реакцию можно учесть, изменив соотношение (6) следующим образом:

$$\frac{q_1(t)}{q_2(t)} = \frac{p_2(t)^m}{p_1(t)^m} = \frac{a_2{}^m}{a_1{}^m}. \tag{10}$$

Параметр m позволяет варьировать в модели чувствительность потребителей к расхождению рыночных цен.

С учетом (10) имеем

$$q_1(t) = \frac{a_2^m q(t)}{a_1^m + a_2^m}, \quad q_2(t) = \frac{a_1^m q(t)}{a_1^m + a_2^m}. \tag{11}$$

Остальные формулы модели 2 могут быть сохранены.

Траектории изменения во времени приведенных к моменту 0 доходов олигополистов при $m = 1{,}4$ и $a_1 = 0{,}2$; $a_2 = 0{,}8$ показаны на рис. 4.

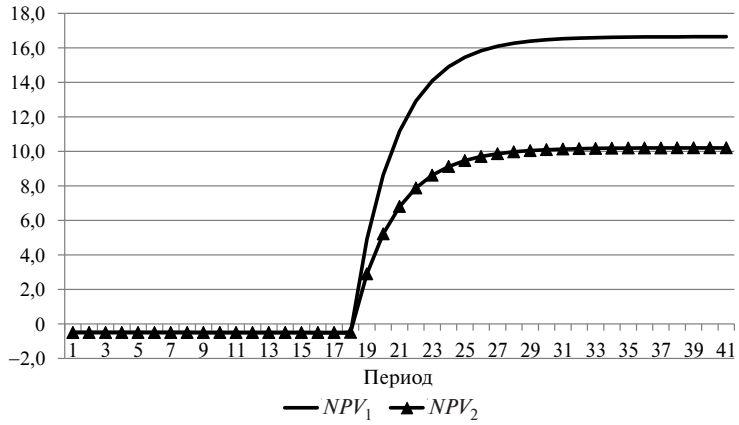


Рис. 4. Чистая приведенная стоимость проектов для олигополистов (NPV_1 при $a_1 = 0{,}2$, NPV_2 при $a_2 = 0{,}8$ и $m = 1{,}4$), млн ед.

Повышение эластичности спроса по цене резко изменило соотношение между результатами разных стратегий ценообразования олигополистов. Стратегия, ориентированная на наращивание объема продаж за счет однородной стратегии более низких цен, обеспечивает гораздо лучший результат. При этом, как и раньше, сроки окупаемости у конкурентов совпадают. Что касается совокупного дохода, то при тех же ценовых стратегиях совокупный приведенный доход при $m > 1$ оказывается ниже, чем при $m = 1$. Более резкая реакция потребителей на разницу цен затрудняет конкуренту с более высокими ценами воспользоваться в полной мере тем, что конкурент с низкими ценами разогрел рынок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ стратегий динамического ценообразования с помощью численных экспериментов на моделях подтвердил существенную специфику влияния цен на рынки сетевых благ. Характер этих благ усиливает экстернальные эффекты, свойственные олигопольной конкуренции[1].

Результативность разных стратегий динамического ценообразования на конкурентных рынках во многом определяется эластичностью спроса по ценам. В условиях низкой эластичности спроса рекомендованная политика форсированного формирования критической массы покупателей с помощью политики низких цен (Besen, Farrell, 1994) способна благоприятствовать становлению сильного конкурента, не претендующего на собственный стандарт.

[1] Повышение цен, обеспеченное одним из олигополистов с помощью сокращения объемов производства, помогает увеличить прибыли и конкурентам.

В условиях монопольного рынка высокую отдачу обеспечивает гибридная стратегия динамического ценообразования, предусматривающая разнесение во времени задач формирования критической массы покупателей и задачи наращивания прибыли от текущих продаж. Анализ гибридного ценообразования в случае олигопольной конкуренции — задача дальнейших исследований.

В представленных модельных расчетах основное внимание было уделено проблемам динамического ценообразования в связи с переходом рынка сетевого блага от медленного расширения (до формирования критической массы потребителей) к быстрому росту. За рамками рассмотрения остались особенности ценообразования в условиях перехода от такого роста к ситуации насыщенности рынка. Остаются открытыми вопросы, как в этой ситуации сохраняющий монопольную позицию поставщик может использовать в своих интересах специфику рынка сетевого блага, какую роль здесь могут играть цены. Эти вопросы особенно актуальны для сферы информационных технологий, информационных благ. Журнал "The Economist" в специальном докладе "The Rise of the Superstars", подготовленном в сентябре 2016 г., пишет о современных компаниях-гигантах как о высокотехнологичных волшебниках, которые изучили, как объединить преимущества размера с достоинствами предпринимательства. Эффект суперзвезд особенно заметен в экономике знаний. Горстка гигантов Силиконовой долины располагают рыночными долями и прибылями, невиданными со времен баронов-разбойников конца XIX в. (The Rise of the Superstars, 2016). Симптоматично название статьи "Competition Is for Losers" ("Конкуренция для неудачников"), опубликованной Питером Тилем (Peter Thiel) в газете "The Wall Street Journal". Автор приводит аргументы в пользу того, что монополия — условие каждого успешного бизнеса (Thiel, 2014).

Недостаточно изученной остается также проблематика динамического ценообразования в рамках сетевых организационных структур. Здесь существенным фактором, влияющим на изменение цен во времени, являются вложения в специфические активы формально независимых партнеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антипина О.Н. (2009). Сетевые отрасли информационной экономики: характерные особенности, отражение в теории и подходы к ценообразованию // *Журнал экономической теории*. № 1. С. 88–104.

Гарретт Б., Дюссож П. (2002). Стратегические альянсы. М.: Инфра-М.

Дементьев В.Е., Евсюков С.Г., Устюжанина Е.В. (2018). Модель ценообразования на рынке сетевых благ в условиях дуополистической конкуренции // *Экономика и математические методы*. Т. 54. № 1. С. 26–42.

Евсюков С.Г., Сигарев А.С., Устюжанина Е.В. (2016). Модель динамического ценообразования на рынке сетевых благ в условиях монополии поставщика // *Финансовая аналитика: проблемы и решения*. № 30 (312). С. 2–18.

Розанова Н.М. (2016). Сетевая конкуренция как фактор конфигурации современных рынков // *Мировая экономика и международные отношения*. Т. 60. № 4. С. 13–20.

Розанова Н.М., Буличенко Д.А. (2011). Конкуренция в телекоммуникационной отрасли: сетевой рынок в условиях продуктовой дифференциации // *Terra Economicus*. Т. 9. № 1. С. 17–32.

Розанова Н.М., Юшин А.В. (2015). Механизм трансформации сетевого рынка в цифровую эпоху // *Terra Economicus*. Т. 13. № 1. С. 73–88.

Стрелец И. (2017). Мультипликационные эффекты в сетях // *Мировая экономика и международные отношения*. Т. 61. № 6. С. 77–83.

Akhlaghpour H., Ghodsi M., Haghpanah N., Mahini H., Mirrokni V.S., Nikzad A. (2010). Optimal Iterative Pricing over Social Networks. In WINE: Workshop on Internet and Network Economics. P. 415–423.

Arthur W. (1989). Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Historical Events // *Economic Journal*. Vol. 99. No. 394. P. 116–131.

Ballester C., Calvo-Armengol A., Zenou Y. (2006). Who's Who in Networks. Wanted: the key player // *Econometrica*. Vol. 74. No. 5. P. 1403–1417.

Banerji A., Dutta B. (2009). Local Network Externalities and Market Segmentation // *International Journal of Industrial Organization*. Vol. 27. No. 5. P. 605–614.

Belloni A., Deng Ch., Pekec S. (2017). Mechanism and Network Design with Private Negative Externalities // *Operations Research* Vol. 65. No. 3. P. 577–594.

Besen S.M., Farrell J. (1994). Choosing How to Compete: Strategies and Tactics in Standardization // *Journal of Economic Perspectives*. Vol. 8. No. 2. P. 117–131.

Brynjolfsson E., Kemerer C.F. (1996). Network Externalities in Microcomputer Software: An Econometric Analysis of the Spreadsheet Market // *Management Science*. Vol. 42. No. 12. P. 1627–1647.

Cabral L.M.B., Salant D.J., Woroch G.A. (1999). Monopoly Pricing with Network Externalities // *International Journal of Industrial Organization*. Vol. 17. No. 2. P. 199–214.

Candogan O., Bimpikis K., Ozdaglar A. (2012). Optimal Pricing in Networks with Externalities // *Operations Research*. Vol. 60. No. 4. P. 883–905.

Chakravarti A., Xie Ji. (2004). Standards Competition and Effectiveness of Advertising Formats in New Product Introduction. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=714761 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.714761.

Chen P.Y., Forman C. (2006). Can Vendors Influence Switching Costs and Compatibility in an Environment with Open Standards? // *MIS Quarterly*. Vol. 30. SI. P. 541–562.

Choi J.P. (1997). The Provision of (Two-Way) Converters in the Transition Process to a New Incompatible Technology // *Journal of Industrial Economics.* Vol. 45. No. 2. P. 139–153.

Cohen M., Harsha P. (2013). Designing Price Incentives in a Network with Social Interactions. Available at: https://ssrn.com/abstract=2376668; http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2376668.

Economides N. (1996). The Economics of Networks // *International Journal of Industrial Organization.*, Vol. 14. No. 2. P. 673–699.

Elmaghraby W., Keskinocak P. (2003). Dynamic Pricing: Research Overview, Current Practices and Future Directions // *Management Science.* Vol. 49 No. 10. P. 1287–1309.

Fainmesser I., Galeotti A. (2015). Pricing Network Effects // *Review of Economic Studies.* Vol. 83. No. 1. P. 165–198.

Farrell J., Saloner G.G. (1992). Converters, Compatibility and Control of Interfaces // *Journal of Industrial Economics*, Vol. 15, No. 1, P. 9–35.

Farrell J., Saloner G. (1985). Standardization, Compatibility, and Innovation // Rand Journal of Economics. Vol. 16. P. 70–83.

Gandal N. (1995). Competing Compatibility Standards and Network Externalities in the PC Software Market // *Review of Economics and Statistics*. Vol. 77 No. 4. P. 599–608.

Gottinger H.W., Takashima M. (2000). Japanese Telecommunications and NTT Corporation: A Case in Deregulation // *Inter. Jour. of Management and Decision Making.* Vol. 1. No. 1. P. 68–102.

Greenstein S.M. (1993). Did Installed Base Give an Incumbent Any (Measurable) Advantages in Federal Computer Procurement? // *RAND Journal of Economics*. Vol. 24. No. 1. P. 19–39.

Hartline J., Mirrokni V.S., Sundararajan M. (2008). Optimal Marketing Strategies over Social Networks. In Proceeding of the 17th International Conference on World Wide Web 2008. P. 189–198. DOI: 10.1145/1367497.1367524. Available at: http://wwwconference.org/www2008/papers/pdf/p189-hartline.pdf.

Hartman R.S. (1989). An Empirical Model of Product Design and Pricing Strategy // *International Journal of Industrial Organization*. Vol. 7. No. 4. P. 419–436.

Katz M.L., Shapiro C. (1985). Network Externalities, Competition, and Compatibility // *American Economic Review.* Vol. 75 (June). P. 424–440.

Katz M.L., Shapiro C. (1986). Technology Adoption in the Presence of Network Externalities // *The Journal of Political Economy.* Vol. 94. No. 4. P. 822–841.

Liu C., Kemerer C., Slaughter S., Smith M. (2012). Standards Competition in the Presence of Digital Conversion Technology: An Empirical Analysis of the Flash Memory Card Market // MIS Quarterly. Vol. 36. No. 3. P. 921–942.

Mackie-Mason J.K., Netz J.S. (2006). Manipulating Interface Standards as an Anticompetitive Strategy. In: Greenstein S., Stango V. "*Standards and Public Policy*". P. 231–259. Cambridge: Cambridge University Press.

Park E.-A., Jayakar K. (2015). Competition between Standards and the Prices of Mobile Telecommunication Services: Analysis of Panel Data (March 31, 2015). TPRC43: The 43rd Research Conference on Communication, Information and Internet Policy Paper. Available at: https://ssrn.com/abstract=2588224 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2588224

PwC (2018). 5G в России: Перспективы, подходы к развитию стандарта и сетей. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.pwc.ru/ru/publications/5g-in-russia.html., свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: июнь 2018 г.).

Rohlfs J. (1974). A Theory of Interdependent Demand for a Telecommunications Service // *Bell Journal of Economics and Management Science*. Vol. 5. No. 1. P. 16–37.

The Rise of the Superstars (2016). [Электронный ресурс] // *The Economist.* Special report. 17 September 2016. Режим доступа: https://www.economist.com/news/special-report/21707048-small-group-giant-companiessome-old-someneware-once-again-dominating-global), свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: июнь 2018 г.).

Thiel P. (2014). Competition Is for Losers. [Электронный ресурс] // *The Wall Street Journal*. Sept. 12. Режим доступа: https://www.wsj.com/articles/peter-thiel-competition-is-for-losers-1410535536, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: июнь 2018 г.).

REFERENCES (with English translation or transliteration)

Akhlaghpour H., Ghodsi M., Haghpanah N., Mahini H., Mirrokni V.S., Nikzad A. (2010). Optimal Iterative Pricing over Social Networks. In WINE: Workshop on Internet and Network Economics, 415–423.

Antipina O.N. (2009). Network Branches of Information Economy: Characteristics, Reflection in Theories and Approaches to Pricing. *Russian Journal of Economic Theory*, 1, 88–104 (in Russian).

Arthur W. (1989). Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Historical Events. *Economic Journal*, 99, 394, 116–131.

Ballester C., Calvo-Armengol A., Zenou Y. (2006). Who's Who in Networks. Wanted: the key player. *Econometrica*, 74, 5, 1403–1417.

Banerji A., Dutta B. (2009). Local Network Externalities and Market Segmentation. *International Journal of Industrial Organization*, 27, 5, 605–614.

Belloni A., Deng Ch., Pekec S. (2017). Mechanism and Network Design with Private Negative Externalities. *Operations Research*, 65, 3, 577–594.

Besen S.M., Farrell J. (1994). Choosing How to Compete: Strategies and Tactics in Standardization. Journal of Economic Perspectives, 8, 2, 117–131.

Brynjolfsson E., Kemerer C.F. (1996). Network Externalities in Microcomputer Software: An Econometric Analysis of the Spreadsheet Market. *Management Science*, 42, 12, 1627–1647.

Cabral L.M.B., Salant D.J., Woroch G.A. (1999). Monopoly Pricing with Network Externalities. *International Journal of Industrial Organization*, 17, 2, 199–214.

Candogan O., Bimpikis K., Ozdaglar A. (2012). Optimal Pricing in Networks with Externalities. *Operations Research*, 60, 4, 883–905.

Chakravarti A., Xie J. (2004). Standards Competition and Effectiveness of Advertising Formats in New Product Introduction. Available at: https://ssrn.com/abstract=714761; http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.714761 (accessed: June 2018).

Chen Y., Forman C. (2006). Can Vendors Influence Switching Costs and Compatibility in an Environment with Open Standards? *MIS Quarterly*, 30, SI, 541–562.

Choi J.P. (1997). The Provision of (Two-Way) Converters in the Transition Process to a New Incompatible Technology. *Journal of Industrial Economics*, 45, 2, 139–153.

Cohen M., Harsha P. (2013). Designing Price Incentives in a Network with Social Interactions. Available at: https://ssrn.com/abstract=2376668; http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2376668 (accessed: June 2018).

Dementiev V.E., Evsyukov S.G., Ustyuzhanina E.V. (2018). Pricing Model in the Market for Network Goods in Terms of Duopolistic Competition. *Economics and Mathematical Methods*, 54, 1, 26–42 (in Russian).

Economides N. (1996). The Economics of Networks. *International Journal of Industrial Organization*, 14, 2, 673–699.

Elmaghraby W., Keskinocak P. (2003). Dynamic Pricing: Research Overview, Current Practices and Future Directions. *Management Science*, 49, 10, 1287–1309.

Evsyukov S.G., Sigarev A.S., Ustyuzhanina E.V. (2016). Model of Dynamic Pricing of Network Goods in a Monopoly Provider. *Financial Analytics: Problems and Solutions,* 30 (312), 2–18 (in Russian).

Fainmesser I., Galeotti A. (2015). Pricing Network Effects. *Review of Economic Studies*, 83, 1, 165–198.

Farrell J., Saloner G. (1985). Standardization, Compatibility, and Innovation. *Rand Journal of Economics*, 16, 70–83.

Farrell J., Saloner G.G. (1992). Converters, Compatibility and Control of Interfaces. *Journal of Industrial Economics*, 15, 1, 9–35.

Gandal N. (1995). Competing Compatibility Standards and Network Externalities in the PC Software Market. *Review of Economics and Statistics,* 77, 4, 599–608.

Garrett B., Dyussozh (2002). Strategic Alliances. M.: Infra-M (in Russian).

Gottinger H.W., Takashima M. (2000). Japanese Telecommunications and NTT Corporation: A Case in Deregulation. *Inter. Jour. of Management and Decision Making*, 1, 1, 68–102.

Greenstein S.M. (1993). Did Installed Base Give an Incumbent Any (Measurable) Advantages in Federal Computer Procurement? *RAND Journal of Economics,* 24, 1, 19–39.

Hartline J., Mirrokni V.S., Sundararajan M. (2008). Optimal Marketing Strategies over Social Networks. In Proceeding of the 17th International Conference on World Wide Web 2008, 189–198. DOI: 10.1145/1367497.1367524. Available at: http://wwwconference.org/www2008/papers/pdf/p189-hartline.pdf (accessed: June 2018).

Hartman R.S. (1989). An Empirical Model of Product Design and Pricing Strategy. *International Journal of Industrial Organization,* 7, 4, 419–436.

Katz M.L., Shapiro C. (1985). Network Externalities, Competition, and Compatibility. *American Economic Review*, 75 (June), 424–440.

Katz M.L., Shapiro C. (1986). Technology Adoption in the Presence of Network Externalities. *The Journal of Political Economy*, 94, 4, 822–841.

Liu C., Kemerer C., Slaughter S., Smith M. (2012). Standards Competition in the Presence of Digital Conversion Technology: An Empirical Analysis of the Flash Memory Card Market. *MIS Quarterly*, 36, 3, 921–942.

Mackie-Mason J.K., Netz J.S. (2006). Manipulating Interface Standards as an Anticompetitive Strategy. In: Greenstein S., Stango V. "*Standards and Public Policy*", 231–259. Cambridge: Cambridge University Press.

Park E.-A., Jayakar K. (2015). Competition between Standards and the Prices of Mobile Telecommunication Services: Analysis of Panel Data (March 31, 2015). TPRC43: The 43rd Research Conference on Communication, Information and Internet Policy Paper. Available at: https://ssrn.com/abstract=2588224 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2588224 (accessed: June 2018).

PwC (2018). 5G in Russia: Prospects, approaches to development of the standard and networks. Available at: https://www.pwc.ru/ru/publications/5g-in-russia.html (accessed: June 2018) (in Russian).

Rohlfs J. (1974). A Theory of Interdependent Demand for a Telecommunications Service. *Bell Journal of Economics and Management Science*. 5, 1, 16–37.

Rozanova N.M. (2016). Network Competition as Determinant of Contemporary Marketsnconfiguration of the Modern Markets. *World Economy and International Relations*, 60, 4, 13–20 (in Russian).

Rozanova N.M., Bulichenko D.A. Competition in the Telecommunication Industry: Network Market under Conditions of Product Differentiation. *Terra Economicus*, 9, 1, 17–32 (in Russian).

Rozanova N.M., Yushin A.V. (2015). Transformation Mechanism of Network Markets in Digital Era. *Terra Economicus,* 13, 1, 73–88 (in Russian).

Strelets I. (2017). Multiplier Effects in Networks (2017). Animated Effects in Networks. *World Economy and International Relations,* 61, 6, 77–83 (in Russian).

The Rise of the Superstars (2016). *The Economist*. Special report. 17 September 2016. Available at: https://www.economist.com/news/special-report/21707048-small-group-giant-companiessome-old-some-neware-once-again-dominating-global) (accessed: June 2018).

Thiel P. (2014). Competition Is for Losers. *The Wall Street Journal*. Sept. 12. Available at: https://www.wsj.com/articles/peter-thiel-competition-is-for-losers-1410535536 (accessed: June 2018).

Comparative Analysis of Dynamic Pricing Strategies in Markets of Network Goods (Cases of Monopoly and Precompetitive Strategic Alliances)

V.E. Dementiev [i,*], E.V. Ustyuzhanina [ii,]**

[i] *Central Economics and Mathematics Institute RAS, Moscow, Russia*

[ii] *Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia*

[*] *E-mail: vedementev@rambler.ru* [**] *E-mail: dba-guu@yandex.ru*

Received 13.08.2018

This study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 17-06-00080)"Comparative analysis of pricing strategies in markets of network goods on the basis of economic and mathematical modeling".

The paper describes pricing strategies in markets of network goods. Such markets are characterized by the need to achieve critical mass. The authors analyze how the dynamic pricing with the aim of increasing the number of consumers can affect the net present income of a monopoly supplier. Two options of dynamic pricing are considered. In the first case prices represent a share of a good's utility for a consumer, the value of which depends on the already existing number of consumers. The second option consists of two stages. In the first stage consumers get a network good for free — the aim is to increase the number of consumers as fast as possible. In the second stage prices represent a share of a good's utility — like in the first case. Examples of pricing strategies that maximize the net present income in both cases are given. It is particularly difficult to achieve critical mass when investment costs are high. One possible solution would be to create strategic alliances. The authors describe a situation when after precompetitive cooperation the firms choose different pricing strategies. One of the firms tries to outrun its competitors in terms of market share by choosing a low-price strategy. Another one seeks to take advantage of the "market warming up" provided by a competitor. The intensity of consumers' reaction to differences in suppliers' prices can be regarded as one of the key features of the market. The authors analyze how changes in this feature can affect the outcomes of competitors with different pricing strategies.

Keywords: network goods, dynamic pricing, strategic alliances, monopoly, duopoly.

JEL Classification: D46, G30, C12.

DOI: 10.31857/S042473880003986-3

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, 2019, том 55, № 1, с. 32–42

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Оптимизация размещения взаимосвязанных НИОКР на основе двойного аукциона

© 2019 г. А.Н. Козырев

ЦЭМИ РАН, Москва

E-mail: kozyrev@cemi.rssi.ru

Поступила в редакцию 23.05.2018

Статья подготовлена на основе результатов исследования по программе Отделения общественных наук РАН “Национальная экономическая безопасность России в условиях обострения объективных и инициированных рисков и угроз”, 2017 г.

Цель данной работы — предложить эффективное решение на основе теории умных рынков для распределения НИОКР среди потенциальных исполнителей. Предлагаемое решение — оригинальная модификация модели интеллектуального рынка, полученная в виде 2-реплики известной модели внутрифирменного рынка знаний. Показано, что 2-реплика сохраняет основные преимущества исходной модели, в том числе совместимость со стимулами. Модель позволяет сочетать элементы вычислительной эффективности и конкуренции в важном конкретном случае. Если для каждой работы существует только один исполнитель, то оптимальное решение вычисляется достаточно легко. Так же легко оптимальное решение получается для 2-реплики. В 2-реплике уже нет монополии, но зато появляется другая проблема — решение не определяется однозначно. Чтобы избавиться от неоднозначности, предлагается модифицировать модель путем введения в нее случайных отклонений при оценке своих пакетов агентами, а компенсации агентам-победителям определять по правилу второй цены. Доказано, что полученная схема выбора исполнителей совместима со стимулами. Также в работе дана экономическая интерпретация получаемых результатов.

Ключевые слова: знания, совместимость со стимулами, умный рынок, двойной аукцион.

Классификация JEL: C79, O32.

DOI: 10.31857/S042473880004026-7

1. ВВЕДЕНИЕ

Распределение заданий на проведение НИОКР между потенциальными исполнителями — сложная, но вполне типичная задача для руководства холдингов или государственных корпораций в наукоемких отраслях экономики. В частности, такие задачи возникают в телекоммуникационной отрасли на уровне холдингов (Мирзабеков, 2016), а в ракетно-космической промышленности (РКП) — на уровне отрасли в целом (Пайсон, 2014). Для их решения на практике и в теоретических исследованиях рассматриваются различные организационные схемы, в том числе аукционы разного типа и так называемые умные рынки (smart markets), т.е. рынки с модератором.

В настоящей статье предлагается оригинальная модификация модели умного рынка, получаемая в виде 2-реплики известной модели внутрифирменного рынка знаний (Ba, Stallaert, Whinston, 2001). Каждый участник рынка получает двойника или клона, способного предложить те же услуги по выполнению НИОКР и на тех же условиях. Показано, что 2-реплика сохраняет основные достоинства исходной модели, в том числе совместимость со стимулами, т.е. отсутствие стимулов к сокрытию участниками рынка информации в целях манипулирования рынком. Для частного случая модели удается совместить вычислительную эффективность и элементы конкуренции за получение заказа.

Сложность задачи по размещению НИОКР обусловлена сочетанием сразу нескольких факторов, среди которых ключевую роль играют информационная асимметрия и специфические свойства результатов НИОКР (далее — знания). Дополнительные сложности связаны с наличием разных синергетических эффектов, а также с дискретностью исходной задачи, что затрудняет использование оптимизационных методов.

Информационная асимметрия здесь заключается в том, что исполнителю лучше (чем заказчику) известно, как он собирается выполнять работу, какие возможны издержки и какие ресурсы могут быть использованы. В принципе то же можно сказать и о других видах работ, но именно при выполнении НИОКР, где всегда есть элементы уникальности и творчества, информационная асимметрия проявляется наиболее ярко. Заказчик вынужден либо доверять исполнителю, либо искусственно организовывать конкуренцию между потенциальными исполнителями, либо искать иные стимулы к раскрытию исполнителями информации о своих возможностях, снижению издержек и повышению эффективности. В поисках таких стимулов исследователи потратили немало сил, но до настоящего времени не найдено ничего более эффективного, чем конкуренция.

Специфические свойства знаний, о которых идет речь, многократно описаны в литературе, посвященной экономике знаний (Макаров, 1973, 2003; Козырев, 1999) и связанной с ней темам (Козырев, 2011; Varian, 1998). В первую очередь это неконкурентность в потреблении, означающая возможность потребления однажды полученного знания практически любым числом экономических агентов без создания каких-либо неудобств друг другу (Samuelson, 1954). Результатам НИОКР это свойство изначально присуще, как минимум, локально, когда речь идет об их использовании внутри холдинга или крупной фирмы со многими подразделениями. В этом смысле дублирование НИОКР — пустая трата ресурсов, а потому оно крайне нежелательно. Более того, в идеале все потенциальные исполнители должны быть специализированы для решения определенных задач, где им не может быть равных. Но это означает отсутствие конкуренции за заказы со всеми вытекающими отсюда последствиями, включая возможность злоупотребления монопольным положением и отсутствие у исполнителей стимулов к снижению затрат при выполнении НИОКР.

Таким образом, исходная задача уже содержит в себе некоторое противоречие. С одной стороны, конкуренция между потенциальными исполнителями нужна, поскольку именно конкуренция лучше всего заставляет раскрывать имеющиеся возможности. С другой стороны, желательна специализация исполнителей по выполняемым функциям и, следовательно, исключение дублирования не только на уровне продуктов, но и на уровне умений, или, как принято говорить сегодня, на уровне компетенций.

Отсюда напрашивается возможное решение — каждый исполнитель должен быть специализирован, но представлен в двух лицах, причем отношения между этими лицами или клонами должны быть конкурентными лишь отчасти. Например, в случае выигрыша конкурса одним из клонов он делится заказом с другим клоном, работу они выполняют совместно, но в разных ипостасях. Смысл выигрыша сводится к распределению ролей и разному вознаграждению руководства клонов. Выигравший становится основным исполнителем, а проигравший — соисполнителем. Именно такая конструкция предлагается в настоящей статье, а затем исследуется с применением формальных математических моделей и методов.

Все необходимые элементы для построения математической модели, соответствующей сказанному выше, уже разработаны и активно используются в математической экономике, теории игр и математическом программировании, а потому не нуждаются в легализации или идеологическом обосновании. Тем не менее некоторые факты, касающиеся свойств знаний и их представления в математических моделях, стоит напомнить.

Как правило, знания в известных математических моделях — это булевские (Данилов, Кошевой, Сотсков, 2003; Arrow, 1962) или вещественные (Козырев, 1999) переменные. Выбор между этими двумя вариантами обычно определяется назначением модели. В нашем случае более подходящими для представления знаний оказываются булевские переменные, что связано с присутствием дискретности в исходной задаче, а отчасти с используемой математической техникой. От переменных, обозначающих обычные продукты, знания отличает иное правило сложения. Для переменных, представляющих знания, сложение идемпотентно, т.е. имеет место равенство $a + a = a$. В моделях с непрерывными переменными вместо операции “+” используется операция максимума (Козырев, 2011), она идемпотентна. Случай с булевскими переменными еще проще. Неконкурентность в потреблении — следствие идемпотентности сложения знаний, или, точнее, неопределенности вычитания. В этом смысле знания — это коллективные блага, или, как иногда говорят, локальные общественные блага.

Рынок таких благ не может быть простым, поскольку традиционные рыночные механизмы здесь работают плохо, причем не только в теории, но и на практике (Clarke, 1971; Groves, 1973). В одних случаях они приводят к дублированию НИОКР, что заведомо расточительно, в других — к проблеме, известной как трагедия общин, когда никто не хочет вкладывать средства в общественное или коллективное благо. Задача оптимизации производства и распределения таких благ еще более усложняется, если они поставляются в пакетах и обладают свойствами дополнительности, что характерно для результатов НИОКР. Тем не менее даже для этого случая существуют модели и алгоритмы решения, имитирующие рынок с регулятором, или умный рынок, организованный на принципах двойного аукциона (Ba, Stallaert, Whinston, 2001). Развитие этих идей в рамках теории создания совместимых со стимулами экономических механизмов представляется интересным как в теоретическом плане, так и в плане возможных практических приложений к решению задачи по размещению НИОКР среди потенциальных исполнителей в наукоемких отраслях. Однако для этого необходимо либо избавиться от ряда недостатков представленной схемы взаимодействия агентов, либо предложить аргументы в пользу возможной компенсации этих недостатков при практической реализации данной организационной схемы. Обе задачи по-своему интересны и далее рассматриваются более подробно.

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УМНОГО РЫНКА И ЕЕ РЕПЛИКИ

Предлагаемая математическая модель представляет собой развитие и одновременно специальный случай модели умного рынка знаний, подробно исследованной в работе (Ba, Stallaert, Whinston, 2001). Как и в исходной модели задано множество Ω из m компонентов знания — результатов НИОКР, которые в принципе могут быть получены при наличии соответствующего финансирования. Из него надо выбрать некоторое подмножество для финансирования. Выбрать его надо так, чтобы максимизировать добавленную стоимость вложений в НИОКР для системы в целом, принимая во внимание, что стоимость создается из определенных комбинаций компонентов знания. Заметим, что в 2-реплике модели число компонентов знания остается равным m, множество Ω остается неизменным.

Предполагается, что есть поставщики знания и его потребители, желающие поставлять или потреблять знания в пакетах. То же самое имеет место в 2-реплике модели, но количество тех и других внутри системы удваивается, каждый участник аукциона получает дублера (клона). При этом, как и в исходной модели, внешний потребитель один. Поставщики знаний хотят поставлять пакеты компонентов знания, а не отдельные компоненты, так как некоторые из компонентов — побочные продукты при создании других компонентов знания. Допускается дополнительность между компонентами знания и для поставщиков, и для потребителей. В модели она вводится явным образом. Каждый пакет знаний включает компоненты знаний, которые производятся при выполнении некоторой НИОКР, а также компоненты знания, которые необходимы для ее выполнения. Важно, что потребляемые, т.е. необходимые для выполнения НИОКР компоненты знания, не уничтожаются в ходе выполнения НИОКР, а остаются доступными для использования другими потребителями, или, иными словами, для включения в другие пакеты.

Далее, пусть $\mathcal{K}_s(j) \subseteq \Omega$ — множество создаваемых в пакете j компонентов знания; $\mathcal{K}_c(j) \subseteq \Omega$ — множество потребляемых пакетом j компонентов знания. Потребитель указывает максимальную денежную сумму v_j, которую он готов заплатить за пакет j. Поставщик знания указывает минимальную сумму $|v_j|$, которую он просит за доступ к пакету j. Знак модуля здесь появляется в связи с тем что v_j поставщика — отрицательное число.

Иначе говоря, поставщик пакета j готов поставить набор компонентов знания $\mathcal{K}_s(j)$ при условии, что будет доступно множество компонентов знания $\mathcal{K}_c(j)$. При этом он готов выплатить сумму, не превышающую v_j (при $v_j < 0$ он фактически просит деньги). Тройку $\mathcal{K}_s(j), \mathcal{K}_c(j), v_j$ называют пакетным заказом. Когда $\mathcal{K}_s(j) = \varnothing$, пакет j является пакетом чистого потребителя знания, для которого мы ожидаем $v_j > 0$ (он намерен заплатить v_j, чтобы получить пакет знаний j), а когда $\mathcal{K}_c(j) = \varnothing$, пакет j является пакетом чистого поставщика знания, для которого мы ожидаем $v_j < 0$

(он просит $-v_j$ за то, что он сделает j доступным). Агент вычисляет собственную оценку своего пакета. Он оценивает его, исходя исключительно из своих представлений об использовании для себя, не учитывает экстерналий или дополнительных выгод, полученных другими агентами. В последующих вычислениях стоимость знаний аддитивна. Полная стоимость компонентов знания для организации — сумма оценок для всех агентов системы. Если агент представляет более одного пакета, их полная стоимость или затраты на них также складываются.

Согласно предположению, сделанному выше, как только компонент знания создан, он становится локальным общественным благом в пределах системы, доступным без дополнительных затрат для вложения в любой пакет. Рынок организован как закрытые торги с двойным аукционом. Потребители или поставщики знания представляют на рассмотрение управляющего системой модератора (маклера) пакетные заказы $\mathcal{K}_s(j), \mathcal{K}_c(j), v_j$, состоящие из компонентов знания, которые они желают поставить — $\mathcal{K}_s(j)$, или хотели бы, чтобы их создали или сделали доступными — $\mathcal{K}_c(j)$, вместе с оговоренной ими ценой поставки (или приобретения) v_j. Оценки пакетов и комплектации пакетов закрыты для других участников аукциона.

Модератор (маклер) ищет пакеты знаний, поставляемые в пределах системы, стремясь максимизировать добавленную стоимость — разность между тем, что участники желают заплатить для приобретения пакетов знаний и плату (или затраты), запрашиваемую поставщиками знания за то, что создали компоненты знания или сделали их доступными. Маклер может быть роботом, осуществляющим полностью автоматизированный электронный обмен, или человеком, заинтересованным только в максимизации добавленной стоимости. В любом случае он решает задачу целочисленной оптимизации, формально описанную ниже.

Пусть $|\Omega| = m$, элементы множества W пронумерованы индексами i, принимающими значения от 1 до m. Также есть n торгуемых пакетов, представленных всеми агентами. Пакеты пронумерованы индексами j, принимающими значения от 1 до n. Множество всех пакетов обозначим N. Получаем модель

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{если } i \in \mathcal{K}_c(j); \\ -1, & \text{если } i \in \mathcal{K}_s(j); \\ 0, & \text{если } i \notin \mathcal{K}_c(j) \cup \mathcal{K}_s(j), \end{cases}$$

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{если } j \text{ выбран;} \\ 0, & \text{если } j \text{ не выбран,} \end{cases}$$

где v_j — заявленная цена пакета j.

Задача максимизации добавленной стоимости по отобранным пакетам имеет вид

$$\pi^* = \max \sum_{j=1}^{n} v_j x_j, \tag{1}$$

при условиях

$$\max_{j=1,\ldots,n} \left[\alpha_{ij} x_j\right] + \min_{j=1,\ldots,n} \left[\alpha_{ij} x_j\right] \le 0 \quad \forall i = 1,\ldots,m, \;\; x_j \in \{0,1\} \quad \forall i = j,\ldots,n.$$

В модели рынка (МР) решается, какие компоненты знания будут поставлены при достижении максимума добавленной стоимости от вложений в НИОКР. Величина π^* — максимальная добавленная стоимость, получаемая от торговли пакетами знаний.

Если пакет знаний j влечет потребность в компоненте знания i, к тому же пакет j выбран (т.е. $\alpha_{ij} x_j = 1$), ограничение в задаче влечет необходимость выбрать по крайней мере один пакет k, обеспечивающий поставку компонента знания i (т.е. $\alpha_{ik} x_k = -1$). После того как пакет i стал доступным, прибавление еще одного пакета j^i потребляющего i, не влечет дополнительных затрат или иных эффектов. Ограничение включает член $\max_{j=1,\ldots,n} \{\alpha_{ij} x_j\}$, остающийся равным +1, пока i необхо-

дим хотя бы в одном потребительском пакете j. Аналогично, при добавлении дополнительного пакета j', когда компонент i уже обеспечен пакетом j, неизменным и равным -1, остается $\min\limits_{j=1,\ldots,n}\left\{\alpha_{ij}x_j\right\}$.

Инвестиции в НИОКР осуществляются отчасти через побочные платежи потребителей знания поставщикам. Вопрос в том, как назначать платежи, чтобы заставить агентов способствовать инвестициям в НИОКР. Если просто запросить у всех потребителей оценки v_j ожидаемой оплаты за выбранные пакеты, возникает проблема безбилетника. Каждый агент заинтересован заявить свою оценку несколько ниже v_j (скажем, $v_j - \theta$) в надежде, что суммарное финансирование другими агентами будет достаточным для выполнения НИОКР. Другие агенты рассуждают таким же образом и тоже занижают свою оценку, провоцируя трагедию общин, когда НИОКР, заслуживающие финансирования, не финансируются именно потому, что их результаты нужны всем и все рассчитывают друг на друга.

Стоит отметить, что решение задачи для исходной МР будет решением и для ее 2-реплики (далее — 2-МР), и даже для ее k-реплики (далее — k-МР) при любом натуральном k. Иначе говоря, будет верным следующее утверждение.

Утверждение 1. *Если $\bar{N} \subset N$ обеспечивает решение для МР, т.е. решение задачи максимизации добавленной стоимости в модели* (1) *достигается при $x_j = 1$ для $j \in \bar{N}$ и $x_j = 0$ для $j \notin \bar{N}$, то $\bar{N}$ обеспечивает решение задачи на максимум добавленной стоимости для модели k-МР при любом k.*

Доказательство. Множество всех торгуемых пакетов в модели k-МР то же самое, что и в исходной МР, поскольку дублирование пакетов отсутствует. Поэтому в задаче максимизации добавленной стоимости для модели k-МР реализуется максимум той же целевой функции на том же множестве допустимых решений, что и в МР. А потому оптимальное решение будет тем же самым. Что и требовалось доказать.

3. СОВМЕСТИМЫЙ СО СТИМУЛАМИ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ

Предположим, что стимулы к получению и объявлению заслуживающих доверия оценок v_j возникают у экономических агентов только в связи с необходимостью оплачивать используемые ими знания. Иначе говоря, все агенты предельно рациональны и циничны, простое стремление к правде им неведомо. Если все затраты оплачиваются непосредственно из бюджета холдинга или из государственного бюджета и платежи поступают напрямую исполнителям НИОКР, а не через потребителей знания и рынок, необходимые стимулы для честной оценки отсутствуют. Чтобы гарантировать поставку желаемого знания, потребитель знания согласился бы на заведомо завышенную оценку, порождая нерациональное использование инвестиционных фондов, а поставщик знания мог бы установить $v_j \to -\infty$, что фактически равносильно отказу выполнять НИОКР.

Таким образом, без перераспределяемых денежных платежей нет стимула для получения точной оценки полезности пакета знаний и затрат на него. Однако денежные платежи должны быть вычислены так, чтобы у каждого агента отсутствовал стимул искажать свою истинную оценку и влиять на результаты выбора пакетов для инвестиций[1].

Важно, что в задаче МР маклер ищет максимум добавленной стоимости от инвестиций в НИОКР в предположении, что ему сообщили правду об оценках, т.е. v_j — настоящая оценка пакета j. Но платежи не должны соответствовать в точности сообщаемым v_j. Их надо рассчитывать так, чтобы стимулировать индивидуально рациональных агентов сообщать правду о своих оценках пакетов. Тогда схема аукциона становится совместимой со стимулами, иначе говоря, раскрытие истинной оценки — доминирующая стратегия для участников аукциона.

Далее будет показано, как такие совместимые со стимулом платежи могут быть вычислены для исходной МР, а затем для ее 2-реплики 2-МР.

[1] Под “искажением” подразумевается не только сознательный обман. Оценка знаний трудна и может потребовать больших усилий. Агент без экономического стимула, возможно, не уделит времени и усилий на получение точной оценки знания. Это поведение будет иметь тот же эффект, как настоящая ложь.

Пусть π^* — оптимальное значение для МР и x^* — оптимальное решение (1). Пакет *j*, для которого $x_j^* = 1$, называется активным пакетом. Интуитивно понятно, насколько при прочих равных условиях агент может уменьшить свою оценку пакета *l* так, чтобы пакет *l* оставался активным. Речь идет об устойчивости решения задачи (1) или, иными словами, о проведении анализа чувствительности (2) модели. В исходной модели решение может быть достаточно устойчивым, но в ее 2-реплике оно заведомо неустойчиво, поскольку каждую пакетную заявку могут предложить два разных участника аукциона, а выбрана может быть только одна. По этой причине совместимые со стимулами механизмы с устойчивым решением для исходной МР и для ее 2-реплики кардинально отличаются. Сначала покажем, как строится совместимый со стимулами механизм для МР в работе (Ba, Stallaert, Whinston, 2001).

Пусть Δ_l^* — максимальная сумма, на которую можно уменьшить оценку, не нарушая устойчивости решения, т.е. до уровня, пока пакет *l* остается активным. Другими словами, агент ничего не потерял бы, уменьшая свою оценку на сумму менее Δ_l^*. Разумеется, допустимая величина искажения зависит также от оценок других агентов. Чтобы сделать эту зависимость от *v* явной, данная величина обозначается как $\Delta_l^*(v)$.

Задача поиска допустимого перераспределения для активного пакета *l* обозначается далее АЧ$_l$ и определяется следующим образом:

$$\Delta_l^*(v) \overset{def}{=} \max \theta_l \quad \text{при} \quad \tilde{x}^l(\theta_l) = x^*, \tag{2}$$

где вектор $\tilde{x}^l$ неявно определен как оптимальное решение задачи

$$\tilde{x}^l = \operatorname{argmax}(v_l - \theta_l)x_l + \sum_{j \neq l} v_j x_j, \tag{3}$$

при условиях

$$\max_{j=1,\ldots,n}\left[\alpha_{ij}x_j\right] + \min_{j=1,\ldots,n}\left[\alpha_{ij}x_j\right] \leq 0 \quad \forall i = 1,\ldots,m; \;\; x_j \in \{0,1\} \quad \forall j = 1,\ldots,n.$$

Тогда оптимальное решение удовлетворяет неравенству $\Delta_l^*(v) \geq 0$.

Остается показать, что установление денежных взносов участников на уровне $v_l - \Delta_l^*(v)$ приносит желательную совместимость со стимулами.

Утверждение 2. *Если денежные платежи для активных пакетов l рассчитаны как* $v_l - \Delta_l^*(v)$, *предлагаемый механизм двойного аукциона для МР совместим со стимулами.*

Доказательство утверждения представлено в (Ba, Stallaert, Whinston, 2001).

Поскольку $\Delta_l^*(v) \geq 0$, то в итоге потребители знания платят меньше своей оценки, а поставщики знания получают больше, чем их реальные затраты. Стоит заметить, что величина $\Delta_l^*(v)$ может быть очень близкой к нулю или, наоборот, достаточно большой, т.е. при отсутствии конкурирующих предложений возможны очень большие переплаты за выполнение отдельных НИОКР, особенно в условиях многосторонней монополии.

4. СОВМЕСТИМЫЕ СО СТИМУЛАМИ МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ 2-РЕПЛИК МОДЕЛИ

Для 2-реплики может быть применена схема выплат, обеспечивающая совместимость со стимулами и вместе с тем позволяющая избежать больших переплат. В частности, это может быть хорошо известная схема второй цены, адаптированная к условиям двойного аукциона. Предполагается, что одинаковые агенты (клоны) могут предлагать пакеты, различающиеся только ценой в каких-то пределах. Активные пакеты выбираются точно так же, как и в модели (1), т.е. выбирается оптимальное решение, но реализуется оно с небольшим уточнением. Пакеты поставщиков принимаются от тех клонов, кто просит меньшую цену, но по более высокой цене другого клона. Аналогично, потребительские пакеты предоставляются клонам, предлагающим большую цену, но по меньшей цене.

Чтобы строго описать данный факт, надо ввести формальное различие между одинаковыми пакетными заявками, предлагаемыми разными участниками аукциона. Каждый активный пакет бу-

дет иметь метку, связанную с тем, какой из двух одинаковых участников подал заявку, получившую одобрение. Условимся считать, что заявки и подавшие их клоны метятся одним или двумя штрихами. Без ограничения общности можно считать, что все активные пакеты помечены штрихом, а пакеты от проигравших конкурс клонов — двумя штрихами.

В рамках формальной модели отрицательное значение v_l означает, что агент просит денег. Большее значение v_l соответствует меньшей запрашиваемой цене. Аналогично, положительное значение v_l означает, что это предлагаемая цена за пакет l, в этом случае большее значение v_l соответствует большей цене. Иначе говоря, оба случая укладываются в одну и ту же формальную схему. Если одинаковые участники предложили заявки, различающиеся только стоимостной оценкой v_l' и v_l'', то выбирается заявка с более высокой оценкой $v_l' > v_l''$, но оплата при условии включения предлагаемого пакета в оптимальное решение осуществляется по второй (более низкой) оценке v_l''. В случае пакета потребления это означает, что его поставят потребителю по цене, ниже его оценки, а поставщику пакета чистой поставки заплатят по цене, выше его оценки. В такой ситуации исполнителю НИОКР (поставщику знаний) нет смысла завышать оценку. Если он сам дает точную оценку, а его клон — конкурент запросит больше, чем требуется, то эта оценка и станет оплатой для того, кто назвал точную оценку. Если же конкурент занизит свою оценку, то лучше уступить ему заказ, который заведомо не принесет прибыли, чем выиграть этот убыточный заказ или, если быть точнее, заказ, оцениваемый как убыточный.

Проблема выбора возникает в случае когда все агенты верно оценивают свои возможности и потребности, т.е. отсутствует элемент случайности или ошибки. Клоны в таких условиях должны сделать одинаковый выбор, т.е. предложить одинаковые пакетные заявки. В частности, будут равны оценки, сообщаемые агентами-клонами маклеру. В этом случае решение задачи на максимум добавленной стоимости не определяется однозначно, а потому оно паталогически неустойчиво.

В исходной МР такой проблемы нет. Ситуацию с неоднозначным решением задачи на максимум можно считать вырожденным случаем, т.е. решение в общем случае устойчиво. Но в модели 2-МР каждый агент имеет клона, в том числе это касается тех агентов, чьи пакеты выбраны для реализации. Аналогичное предложение его двойника не выбрано, но малейшее изменение оценки первым клоном влечет смену ролей. Если изначально активным был пакет, поставленный клоном одним штрихом, то при малейшем уменьшении оценки активным становится такой же пакет от клона с двумя штрихами. Иначе говоря, верным будет следующее утверждение.

Утверждение 3. *Если в модели 2-МР агенты верно оценивают свои потребности и возможности (случайные ошибки отсутствуют), а предлагаемые одинаковыми агентами одинаковые заявки считаются различными, то ее решение никогда не будет устойчивым. При этом решение* (2) *и* (3) *дает* $\Delta_l^*(\nu) = 0$.

Доказательство непосредственно следует из рассуждения выше.

Таким образом, механизм двойного аукциона для модели 2-МР с нулевыми доплатами из бюджета холдинга не лишен изъянов. Их, как минимум, два. Во-первых, правдивые и при этом точные оценки приводят к ситуации неопределенности, и с вычислительной точки зрения это очень плохо. Во-вторых, при достаточной информированности участников аукциона клоны сообщают равные оценки, т.е. фактически оба остаются без вознаграждения. Точнее, один остается без заказа, а второй выполняет заказ на грани убыточности, что делает такое решение малопригодным для практики. По этой причине необходимо внести в модель некоторые коррективы.

Например, можно считать, что пакетные заявки, подаваемые одинаковыми агентами, могут различаться в части оценки в каких-то ограниченных пределах, причем вероятность совпадения оценок равна нулю. В частности, можно предположить, что возможно случайное отклонение оценки в ту или иную сторону в каких-то пределах.

Пусть, как уже предлагалось выше, пакеты имеют метки в зависимости от того, какой из двойников (клонов) данный пакет предлагает. Так, в предлагаемых разными клонами пакетах l обозначим оценки через v_l' и v_l''. Если в модели исключаются случайные ошибки, то $v_l' = v_l''$, если ошибки возможны, должно иметь место $v_l' \neq v_l''$. Например, можно считать, что возможно случайное откло-

нение оценки пакета l каждым из клонов в ту или иную сторону от верной оценки v_l на величины ε_l' и ε_l'', принимающие значения в пределах $[-\delta_l, \delta_l]$, причем обе величины распределены равномерно на $[-\delta_l, \delta_l]$. Формально это можно записать в виде $v_l' = v_l + \varepsilon_l'$; $v_l'' = v_l + \varepsilon_l''$, где ε_l' и ε_l'' — равномерно распределенные на отрезке $[-\delta_l, \delta_l]$ случайные величины. Напомним, что v_l — положительная величина, если агент предлагает заплатить, v_l — отрицательная величина, если он требует оплаты.

Маклер выбирает из двух одинаковых поставщиков того, кто требует (с учетом случайной ошибки) меньшую цену, но платит ему сумму согласно заявке проигравшего. Аналогично выбирается покупатель, готовый платить большую цену, но платит по цене проигравшего (готового платить меньше). Далее будет показано, что при достаточно малых δ_l снова получается совместимый со стимулами механизм, но теперь вероятность совпадения заявок вплоть до оценок равна нулю. Если все заявки сделаны, активные пакеты выбираются практически однозначно. В силу наличия элемента случайности вознаграждение понимается как математическое ожидание. С учетом сказанного, будет верным следующее утверждение.

Утверждение 4. *Если для каждого $l \in N$ величина $\Delta_l^*(v)$ строго положительна, то найдется такой набор положительных величин $\{\delta_l\}_{l \in N}$, при котором двойной аукцион второй цены в 2-реплике MP, где оценки $v_l' = v_l + \varepsilon_l'$; $v_l'' = v_l + \varepsilon_l''$ определяются с точностью до случайной ошибки с равномерным распределением на интервале $[-\delta_l, \delta_l]$, а денежные платежи для активных пакетов l рассчитаны как $v_l + \min\{\varepsilon_l', \varepsilon_l''\}$, обеспечивает совместимый со стимулами механизм.*

Доказательство. Пусть $\delta_l = \Delta_l^*(v)/2$ для каждого $l \in N$. Тогда понижение цены v_l на величину менее $2\delta_l$ не сделает активного пакета неактивным, а неактивного активным. Этого не произойдет при случайном изменении оценки на величину ε_l' или ε_l''. Требуется показать, что в условиях, когда другие агенты играют честно, т.е. отклонения их оценок от v_j распределены в интервалах $[-\delta_j, \delta_j]$, оптимальная стратегия для каждого из клонов l — играть честно, т.е. выбирать v_l.

В силу выбора δ_l случайные отклонения в обозначенных пределах не влекут изменения в наборе активных пакетов. Речь может идти только о смене ролей у клонов, или, иными словами, замене пакета с одним штрихом пакетом с двумя штрихами. Дальнейший анализ сводится к рассмотрению ситуации вокруг одного пакета l. Вопрос в том, будет ли для каждого клона, представляющего пакет l, оптимальной стратегией попытка точно угадать и назвать правильную оценку v_l или же ему следует несколько завышать оценку, чтобы повысить вероятность выигрыша.

Для начала покажем, что математическое ожидание выигрыша положительно, т.е. математическое ожидание платежа при покупке потребительского пакета будет несколько меньше, чем v_l. Математическое ожидание платежа вычисляется по формуле

$$v_l + \int_{-\delta_l}^{\delta_l} \frac{\varepsilon_l''(1-\varepsilon_l'')}{4\delta^2} d\varepsilon_l'' = v_l - \frac{\delta_l}{6}.$$

Это значит, что платеж за пакет потребления в среднем будет несколько меньше, чем его истинная ценность, т.е. честное поведение приносит ненулевое вознаграждение. Отметим, что клонам бессмысленно занижать оценку, поскольку в случае выигрыша выплата будет осуществлена по второй цене, которая от такого занижения не меняется. В случае же проигрыша эта цена будет иметь значение, но не для того, кто ее занизил. Иначе говоря, меняется лишь вероятность выигрыша, а именно она снижается. Остается убедиться в бессмысленности попыток манипулирования, т.е. завышения оценки.

Рассмотрим возможность завышения оценки на некоторую величину $\mu > 0$. Достаточно очевидно, что бессмысленно завышение оценки на $2\delta_l$ или больше. При честном поведении клона с двумя штрихами это дает гарантированный выигрыш, но выигрыш равен нулю. Остается проанализировать случай, когда $2\delta_l \geq \mu > 0$. Его удобно разбить на две части.

Сначала рассмотрим $\delta_l \geq \mu > 0$. Математическое ожидание платежа в этом случае равно $v_l - \left(4\delta^3 - 6\mu\delta^2 + \mu^3\right)/24\delta^2$. Производная этой величины по μ положительна, т.е. ожидаемая величина платежа монотонно возрастает, достигая при $\mu = \delta_l$ величины $v_l - \delta_l/12$. Также несложно убе-

диться, что на отрезке $[\delta_l, 2\delta_l]$ математическое ожидание платежа продолжает монотонно возрастать до v_l.

Таким образом, завышение оценки также не приносит выгод, как и ее занижение, если клон играет честно. С учетом сказанного ранее это означает, что схема второй цены порождает совместимый со стимулами экономический механизм. Аналогичным образом доказывается, что нет смысла занижать цену на пакет поставки. А это значит, что схема аукциона второй цены для модели 2-МР совместима со стимулами. Что и требовалось доказать.

Замечание. Случайность в определение оценок может быть внесена искусственно, причем конкурирующие за заказ клоны могу знать пределы возможных отклонений от v_l и распределение. В принципе можно рассматривать разные варианты реализации этого механизма.

5. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛИ

Модели, описанные в предыдущих разделах, могут использоваться для вычисления оптимальных распределений инвестиций в знания. Однако для применения на практике решение задач (1) и (2) должно быть выполнимым также в вычислительном отношении. Следующий результат представляет задачу в пессимистическом свете при самом первом ее рассмотрении.

Утверждение 5. *Задачи* (1) *и* (2) *в общей форме NP-трудны*.

Доказательство представлено в (Ba, Stallaert, Whinston, 2001).

Однако есть интересные случаи, в которых решение модели двойного аукциона (1) и анализ чувствительности (2) просты в вычислительном отношении. Частный случай, который рассматривается в (Ba, Stallaert, Whinston, 2001), это модель с уникальными поставщиками, т.е. $\forall i$: $|\{j|\alpha_{ij} = -1\}| = 1$. Данное условие означает, что для каждого компонента знания i есть точно один поставщик (пакет), или, иными словами, что компоненты знания от различных поставщиков уникальны. Это ограничение не представляется слишком ограничительным, поскольку на практике такая ситуация встречается достаточно часто. Зато с вычислительной точки зрения задача становится очень простой. Как показано в (Ba, Stallaert, Whinston, 2001), целочисленную задачу (1) при таком условии можно переформулировать как линейную непрерывную модель с полностью унимодулярной матрицей ограничений, дающую целочисленные решения. В этой модели ограничения $x_j \in [0, 1]$ ослаблены до $0 \le x_j \le 1$.

Уместно напомнить, что модель с уникальными поставщиками представляет собой многостороннюю монополию со всеми ее издержками. При этом решение задачи (1) может оказаться очень устойчивым, т.е. переплаты очень большими. Замена модели с единственным поставщиком ее 2-репликой устраняет наличие монополии, не создавая дополнительных вычислительных трудностей, в том числе при несовпадении оценок у клонов.

Для 2-реплики модели вычислительная легкость сохраняется. Такая задача легко сводится к исходной с единственным поставщиком. Что же касается двойственности, то здесь она не играет существенной роли, поскольку платежи исполнителям идут напрямую из центра и взаимные расчеты между ними определяются из иных соображений.

Разумеется, практическая реализация соответствующих организационных схем должна учитывать тот факт, что потенциальный подрядчик, не получивший задания на выполнение НИОКР, должен как-то выживать, не говоря уже о том, что полных клонов не бывает. А потому практическая реализация схемы отличается от идеального варианта. Этот вопрос также заслуживает обсуждения.

Здесь следует вернуться к идее, высказанной во введении. Конкуренция между клонами в качестве исполнителей НИОКР не должна быть абсолютной, когда один из них получает заказ, а другой не получает ничего. Более разумной представляется схема, когда победитель берет проигравшего в субподрядчики, они вместе выполняют работу, а результаты конкурса отражаются только на распределении ролей подрядчика и субподрядчика, а также на вознаграждении руководства. Это вознаграждение может быть привязано к той самой величине, которая составляет выигрыш при

оплате по второй цене. При этом внесения изменений в рассмотренную выше формальную схему не требуется. Она абстрактна и универсальна в достаточной степени, чтобы обсуждаемые здесь различия оставались за рамками модели. Важнее решить проблему, можно ли на практике добиться такого положения, когда победитель конкурса и проигравший вместе выполняют НИОКР, победитель честно делит отдельные работы и ресурсы, а проигравший выполняет задания. Но этот вопрос уже из другой области.

В современных условиях, когда ракетно-космическая промышленность испытывает определенные трудности, но все еще остается на передовом мировом уровне, а телекоммуникационная отрасль оказывается на самом острие борьбы за мировое лидерство не только в этой сфере, но и во многих зависящих от нее областях, повышение качества управления НИОКР становится ключевым фактором обеспечения национальной безопасности. Данная работа не претендует на исчерпывающее решение этой проблемы, однако является вкладом в решение именно этой важнейшей проблемы национальной безопасности.

Поставить управление НИОКР на научную основу с опорой на математические методы, включая математическое программирование, теорию игр и математические модели управления — та задача, которую предполагалось решить в рамках исследования по программе Отделения общественных наук РАН “Национальная экономическая безопасность России в условиях обострения объективных и инициированных рисков и угроз” в 2017 году. Можно надеяться, что в результате удалось найти подходящий для этой задачи математический аппарат на основе современных достижений экономической науки и математической кибернетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Данилов В.И., Кошевой Г., Сотсков А.И. (1993). Экономическое равновесие на рынке интеллектуальных продуктов // *Экономика и математические методы*. Т. 29. № 4. С. 607–616.

Козырев А.Н. (1999). Алгебраические свойства информации и рынок // *Научно-техническая информация. Сер. 1.* № 5. С. 15–20.

Козырев А.Н. (2011). Моделирование НТП, упорядоченность и цифровая экономика // *Экономика и математические методы*. Т. 47. № 4. С. 131–142.

Макаров В.Л. (2003). Экономика знаний: уроки для России // *Вестн. Рос. акад. наук*. Т. 73. № 5. С. 450–456.

Макаров В.Л. (1973). Баланс научных разработок и алгоритм его решения. В сб. ст.: “Оптимизация”. Вып. 11 (28). Новосибирск.

Мирзабеков А.М. (2016). Создание умного рынка знаний в информационном холдинге // *Биржа интеллектуальной собственности (БИС)*. № 5. С. 15–24.

Пайсон Д.Б. (2014). Конкуренция в ракетно-космической промышленности. Время ответственных решений // *Экономический анализ: теория и практика*. Т. 13. Вып. 3. С. 2–11.

Розенмюллер И. (1974). Кооперативные игры и рынки. Воробьева О.Н., Михайлова А.С. (пер. с нем.), Воробьева Н.Н. (ред.). М.: Мир, Библиотека кибернетического сборника.

Arrow K.J. (1962). Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors. Princeton: Princeton University Press. P. 609–625.

Ba S., Stallaert J., Whinston A.B. (2001). Optimal Investment in Knowledge within a Firm Using a Market Mechanism // *Management Science*. Vol. 47 (9). P. 1203–1219.

Clarke E.H. (1971). Multipart Pricing of Public Goods // *Public Choice*. Vol. 11. P. 17–33.

Groves T. (1973). Incentives in Teams // *Econometrica*. Vol. 41. P. 617–631.

Samuelson P. (1954). The Pure Theory of Public Expenditure // *Rev. Econom. Statist*. Vol. 36 (4). P. 387–389.

Varian H.R. (1998). Markets for Information Goods. Berkeley: University of California. April 1998 (revised: October 16, 1998).

REFERENCES (with English translation or transliteration)

Arrow K.J. (1962). Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors. Princeton: Princeton University Press, 609–625.

Ba S., Stallaert J., Whinston A.B. (2001). Optimal Investment in Knowledge within a Firm Using a Market Mechanism. *Management Science*, 47 (9), 1203–1219.

Clarke E.H. (1971). Multipart Pricing of Public Goods. *Public Choice,* 11, 17–33.

Danilov V.I., Koshevoy G.A., Sotskov A.I. (1993). Equilibrium in an Economy with Intellectual Goods. *Economics and Mathematical Methods*, 29, 607–616 (in Russian).

Groves T. (1973). Incentives in Teams. *Econometrica,* 41, 617–631.

Kozyrev A.N. (1999). Algebraic Properties of Information and Market // *Scientific and Technical Information*. Ser. 1, 5, 15–20 (in Russian).

Kozyrev A.N. (2011). Modeling of NTP, orderliness and the digital economy. *Economics and Mathematical Methods*, 47, 4, 131–142 (in Russian).

Makarov V.L. (1973). Balance of Scientific Developments and Algorithm of Its Solution. In: "*Optimization*", 11 (28). Novosibirsk (in Russian).

Makarov V.L. (2003). Knowledge Economy: Lessons for Russia. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 73, 5, 450–456; (in Russian).

Mirzabekov A.M. (2016). To Create Intelligent Market Knowledge in Information by Holding. *Intellectual Property Exchange (IPE),* 5, 15–24 (in Russian).

Payson D.B. (2014). Competition in the Rocket and Space Industry. Time Responsible Decisions. *Economic Analysis: Theory and Practice,* 13, 3, 2–11 (in Russian).

Rosenmuller I. (1974). Cooperative Games and Markets. Vorobyova O.N., Mikhailova A.S. (trans.); Vorobyov N. (ed.). Moscow: Mir, Biblioteka kiberneticheskogo sbornika (in Russian).

Samuelson P. (1954). The Pure Theory of Public Expenditure. *Rev. Econom. Statist.,* 36 (4), 387–389.

Varian H.R. (1998). Markets for Information Goods. Berkeley: University of California. April 1998 (revised: October 16, 1998).

Optimizing the Placement of Interconnected R&D Based on Double Auction

A.N. Kozyrev

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

E-mail: kozyrev@cemi.rssi.ru

Received 23.05.2018

The article is based on the results of the research on the program "National economic security of Russia in conditions of aggravation of objective and initiated risks and threats" 2017 of the Social Sciences Department of the Russian Academy of Sciences.

The aim of this paper is to suggest effective solution based on the theory of smart markets for distribution of R & D among potential executors (actors). Suggested solution is the original modification of the smart market model obtained as a 2-replica of the well-known intra-firm knowledge market model. It is shown that the 2-replica retains the main advantages of the original model including compatibility with incentives. The model allows combining computational efficiency and competition elements for some impotent special case. If there is only one performer for each job the optimal solution is calculated quite easily. The same easily the optimal solution is obtained for 2-replica. There is no monopoly in 2-replica, but there is another problem. Optimal solution is determined not uniquely. To get rid of ambiguity it is proposed to modify the model by introducing random deviations when evaluating their packages by agents and compensation to agents is determined by the rule of the second price. It is proved that the resulting scheme of choice of actors is compatible with incentives. Some economic interpretation of the results is given.

Keywords: knowledge, compatibility with incentives, smart market, double auction.

JEL Classification: C79, O32.

DOI: 10.31857/S042473880004026-7

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, 2019, том 55, № 1, с. 43–55

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Метод модифицированного SWOT-анализа эффективности изменения технологий

© 2019 г. Е.Г. Винокуров[i, ii], В.П. Мешалкин[i], Х.А. Невмятуллина[i, ii,*], Т.Ф. Бурухина[i], В.В. Бондарь[ii], С.М. Ходченко[i]

[i] *Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва*

[ii] *Всероссийский институт научной и технической информации РАН, Москва*

[*] *e-mail: vin-62@mail.ru*

Поступила в редакцию 29.11.2017

Исследование проведено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения базовой части государственного задания 10.4556.2017/6.7.

В настоящее время классический SWOT-анализ широко используется в качестве научной основы для оценки конкурентоспособности и разработки стратегии развития объекта управления. Метод дает лишь качественные оценки технико-экономической эффективности, не позволяющие принять наилучшие научно-обоснованные организационно-управленческие решения. При этом анализируют эффективность только одного объекта: технологии, отрасли экономики, организации, подразделения предприятия и прочих подобных объектов. Авторами предложен новый модифицированный непараметрическо-статистический метод SWOT-анализа для сравнения эффективности двух объектов управления. Описаны этапы анализа: определение группы экспертов, разработка анкеты для их опроса, проведение опроса, формирование модифицированной матрицы SWOT-анализа. Разработаны образцы модифицированных матриц SWOT-анализа как отдельно для каждого объекта, так и для сравниваемых объектов в совокупности. Для обеспечения достоверности результатов модифицированный метод SWOT-анализа обогащен критерием непараметрической статистики, который применяют для количественной оценки достоверности сдвигов — критерия знаков (G-критерий). Приведен алгоритм применения критерия для проверки гипотезы о направлении сдвига в показателях эффективности при переходе от одного объекта к другому. Предложенный метод применен для сравнения технико-экономической эффективности двух процессов хромирования: из растворов на основе токсичной хромовой кислоты (Cr-6) и из растворов на основе экологически менее опасных соединений трехвалентного хрома (Cr-3). Показано, что на современном этапе технология (Cr-6) остается наиболее эффективной технологией получения хромовых покрытий. Применение технологии (Cr-3) не даст предприятию существенных конкурентных преимуществ, и, возможно, более эффективным является проведение мероприятий по модернизации классической технологии (Cr-6).

Ключевые слова: SWOT-анализ, непараметрическая статистика, критерий знаков, технико-экономическая эффективность, производственные технологии, химическая технология, электроосаждение металлов.

Классификация JEL: C19, L60, M11, O32.

DOI: 10.31857/S042473880004046-9

1. ВВЕДЕНИЕ

Производственно-технологическая, организационно-управленческая и финансовая деятельность промышленного предприятия представляет собой совокупность бизнес-процессов жизненного цикла выпускаемой конечной продукции с использованием специфических производственных технологий, определяющих виды применяемых ресурсов и степень воздействия на окружающую среду (ОС). Для соответствия уровню научно-технологического прогресса и решения проблем охраны ОС необходимо либо повышать эффективность существующих технологий, либо своевременно заменять их новыми, более передовыми (Кривцов, 2014; Мешалкин, 2010). Принятие соответствующих научно-обоснованных решений требует всестороннего анализа факторов внешней и внутренней среды предприятия. Распространенным методом поиска и принятия организационно-управленческих решений является SWOT-анализ (Котлер, Бергер, Бикхофф, 2012;

Богомолова, 2004; Skolozzi, Schirpke, Morri, 2014). Появившийся в настоящее время SWOT-анализ как метод оценки текущего состояния организации — это прежде всего метод разработки эффективной стратегии устойчивого развития предприятия.

Так, автор (Sun, 2012) предлагает использовать SWOT-анализ в качестве научной основы для разработки стратегической ориентации предприятия в условиях усиливающейся рыночной конкуренции. Концепция развития экоиндустриальных парков рассмотрена в (Patnaik, Poyyamoli, 2015); выявлен их потенциал и ограничения на основе SWOT-анализа. Интересной представляется работа румынских ученых (Lupu, Dumencu, Atanasiu, 2016), в которой сформулированы выводы о перспективах солнечной энергетики в Румынии. Проблемы безопасности рабочих мест и выявления потенциальных рисков на производстве обсуждаются в статье (Bhattacharjee, Neogi, Das, 2014).

Метод SWOT-анализа используют для определения направления развития науки (Клеева, 2012), анализа эффективности химико-технологических процессов, включая процессы организационно-технического обслуживания оборудования на предприятиях (Новиков, Гришин, 2012), решения задач управления персоналом (Акмалов, 2013), оценки воздействия на ОС.

Классический SWOT-анализ дает лишь качественные оценки технико-экономической эффективности производственно-технологических и бизнес-процессов на предприятиях, но не всегда позволяет принять наилучшие, научно-обоснованные, организационно-управленческие решения. Вместе с тем простота применения SWOT-анализа и возможность относительно быстро получать результаты требуют совершенствовать метод SWOT-анализа (Юрлов, Плеханов, Бобкова, 2013). И это подтверждается рядом публикаций о модификации метода. Так, в (Андриянова, 2012) при разработке традиционной матричной модели SWOT-анализа предлагается использовать *ранжирование параметров* по совокупности показателей с учетом неопределенности внешней среды. Предложена методика многокритериального выбора эффективных стратегий развития предприятия атомной отрасли с применением SWOT-анализа (Брыкалов, Юрлов, 2016). Для более точного анализа стратегий развития предприятия предлагается применять *взвешенные балльные оценки* (Кадышева, 2012).

В работах (Jiang, Zhuang, 2017; Liu, Wu, Zhang., Zhang, 2017) представлен процесс количественного метода SWOT-анализа, проанализированы сильные и слабые стороны, возможности и угрозы, влияющие на развитие гражданско-военной интеграции в области техники и оборудования.

Для учета изменчивости факторов внешней и внутренней среды предложена *динамическая модификация* метода SWOT-анализа (Михненко, 2015), согласно которой при оценке степени взаимосвязи “сильные стороны — возможности” следует использовать динамическую переменную — скорость нарастания или снижения этой взаимосвязи в текущий период анализа. Еще одна особенность этой модификации состоит в учете степени неопределенности информации о динамических показателях видов деятельности компании (среднеквадратического разброса мнений группы экспертов). Применение взвешенных динамических оценок, учитывающих расхождение взглядов экспертов, позволяет сконцентрировать внимание на наиболее достоверных характеристиках изменений внутренней и внешней среды предприятия.

Для корректного анализа общих показателей конкурентоспособности и эффективности предприятия с учетом объективного состояния внешней среды, наряду с методом SWOT-анализа, широкое распространение получает *метод эконометрики* в различных видах инжиниринга при оценке технико-экономической эффективности и в реинжиниринге бизнес-процессов предприятий (Мошев, 2016; Мешалкин, Катерищук, Василенко, 2014; Айвазян, Афанасьев, Руденко, 2014; Кочегуров, Константинова, Гальченко, 2011; Пранов, 2012). Более активное применение математических методов в SWOT-анализе позволит использовать его при разработке алгоритмическо-информационного обеспечения для информационно-аналитических систем управления предприятиями (Пыжлаков, 2008).

Следует заметить, в вышеупомянутых работах проводился анализ эффективности только одного объекта управления: отрасли экономики, организации, подразделения предприятия и т.п. В работах (Винокуров и др., 2016; Vinokurov et al., 2016) использован метод SWOT-анализа для сравнения эффективности двух объектов управления. На основе сопоставления матриц SWOT-анализа двух химических технологий сделан вывод о выборе наиболее перспективной.

В настоящей статье предложен новый, *модифицированный непараметрическо-статистический метод SWOT-анализа* для сравнения эффективности и оценки целесообразности смены химических технологий при определении направлений научно-технического развития отрасли.

2. СУЩНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННОГО НЕПАРАМЕТРИЧЕСКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА SWOT-АНАЛИЗА

Сопоставление показателей эффективности (физико-химических, технологических, эколого-экономических), полученных по одинаковым методикам, для различных состояний объекта (химическая технология) определяет сдвиг.

В нашем исследовании *сдвиг* — ожидаемый результат (положительный (+1), нулевой (0) или отрицательный (−1)) в изменении технико-экономических показателей эффективности после перехода к использованию новой технологии взамен действующей. Статистическая обработка показателей сдвига позволяет оценить достоверность ожидаемых результатов до принятия окончательного управленческого решения о смене технологии.

Для обеспечения достоверности решений о целесообразности замены или модернизации существующей технологии модифицированный метод SWOT-анализа включает применение одного из критериев непараметрической статистики — *критерия знаков* (G-критерий), который традиционно применяют к качественной оценке сдвигов (Холлендер, Вулф, 1983).

Пусть случайная величина X_1 (показатели эффективности первой химической технологии) имеет распределение $F(x)$, а другая случайная величина X_2 (показатели эффективности второй химической технологии) имеет распределение $G(x)$, причем $G(x) = F(x + \Delta)$, где Δ — абстрактный параметр, характеризующий состояние изучаемого объекта.

Рассматриваются две выборки — $x_1, ..., x_n$ (выборка из $F(x)$, в нашем исследовании это результаты опроса экспертов о показателях эффективности первой технологии) и $y_1, ..., y_n$ (выборка из $G(x)$, в нашем исследовании это результаты опроса экспертов о показателях эффективности второй технологии) объемов n; $F(x)$ и $G(x)$ — неизвестные функции распределения.

Требуется проверить нулевую гипотезу: $\mathbf{H}_0$: $F(x) = G(x)$, т.е. $\Delta = 0$. В нашем исследовании это будет означать, что замена одной технологии на другую не дает значимых изменений в показателях эффективности. В качестве альтернативы мы выбрали гипотезу $\mathbf{H}_1$: $\Delta \neq 0$, что означает наличие значимых изменений в показателях эффективности при переходе на другую технологию.

Мы использовали G-критерий знаков для установления общего направления сдвига показателей эффективности. Он позволяет установить, в какую сторону в выборке в целом изменяются показатели при переходе от первой технологии ко второй: изменяются ли показатели в сторону улучшения, повышения или усиления или, наоборот, в сторону ухудшения, понижения или ослабления. Сдвиги, которые кажутся преобладающими, называют *типичными*, а сдвиги более редкого направления — *нетипичными*. Если показатели не повышаются и не понижаются, то такие сдвиги называются *нулевыми*, и в критерии знаков они исключаются из рассмотрения. При этом число сопоставляемых пар уменьшается на число таких нулевых сдвигов.

Суть критерия знаков состоит в том, что он определяет, не слишком ли много наблюдается *нетипичных* сдвигов, чтобы сдвиг в типичном направлении считать преобладающим. Чем меньше нетипичных сдвигов, тем вероятнее, что преобладание типичного сдвига будет достоверным.

Механизм применения критерия заключается в определении сдвигов по каждому показателю. При этом размер сдвига количественно не подсчитывается, ставится просто знак “+”, если наблюдается улучшение, или знак “−”, если — ухудшение. Данные вносят в таблицу. Если изменений не наблюдается, то в таблице пишут ноль. Нулевые реакции исключают из рассмотрения, при этом объем выборки уменьшится на число нулевых реакций (n_0): $n' = n - n_0$.

После определения преобладающих направлений изменений сдвиги в преобладающем направлении считают типичными. Число нетипичных сдвигов является экспериментальным значением

G-критерия ($G_{эксп}$). Критическое значение критерия $G_{кр}$ для данного n' и заданного уровня значимости α определяют по таблице. При сравнении $G_{эксп}$ и $G_{кр}$, если $G_{эксп} \leq G_{кр}$, $\mathbf{H}_0$ отвергается, т.е. сдвиг в типичную сторону можно считать статистически достоверным. В нашем исследовании это будет указывать на наличие статистически значимых изменений показателей эффективности при переходе на другую технологию. Если $G_{эксп} > G_{кр}$, нет оснований отвергать $\mathbf{H}_0$ и преобладание сдвигов в типичную сторону является случайным. В нашем исследовании это будет указывать на отсутствие статистически значимых изменений показателей эффективности при переходе на другую технологию.

Предложенный модифицированный метод SWOT-анализа с использованием G-критерия знаков включает следующие этапы.

Этап 1. Выбрать виды и сформулировать цель анализа эффективности химических технологий.

Этап 2. Разработать анкету для опроса (интервью) экспертов. Создать (сформировать) группу экспертов согласно квалификационным показателям.

Этап 3. Провести опрос экспертов и по его результатам сформировать модифицированную матрицу SWOT-анализа.

Особенность предложенного метода состоит в том, что рассматривается эффективность одновременно двух видов технологий, что обуславливает применение измененных традиционных матриц SWOT-анализа (табл. 1).

Таблица 1. Вид модифицированной матрицы SWOT-анализа для сравниваемых объектов

Сильные стороны объекта 1 . . .	Сильные стороны объекта 2 . . .
Слабые стороны объекта 1 . . .	Слабые стороны объекта 2 . . .
Возможности объекта 1 . . .	Возможности объекта 2 . . .
Угрозы для объекта 1 . . .	Угрозы для объекта 2 . . .

Из составленного перечня сильных и слабых сторон сравниваемых объектов (технологий) возможностей технологий и угроз внешней среды сформировать матрицу показателей эффективности объектов для статистического анализа.

Этап 4. На основании результатов опроса экспертов определить направление сдвигов для каждого показателя при смене одного объекта на другой (при переходе от одной технологии к другой):

– направление (положительное или отрицательное) изменений в показателях эффективности, которое считают типичным, т.е. наиболее частое;

– число нетипичных (наиболее редких) сдвигов, которое считают экспериментальным значением G-критерия ($G_{эксп}$).

G-критерий знаков, предназначенный для определения общего направления сдвига исследуемого признака, позволяет установить, в какую сторону в целом изменяются показатели при переходе от одного объекта к другому или при оценке результата воздействия.

Этап 5. Для статистической оценки показателей сдвигов рассмотреть исходную основную гипотезу $\mathbf{H}_0$: “Преобладание типичного направления сдвига является случайным” — и альтернативную ей гипотезу $\mathbf{H}_1$: “Преобладание типичного направления сдвига не является случайным”. Гипотеза $\mathbf{H}_1$ будет принята, если на основании сопоставления экспериментального значения критерия $G_{эксп}$ с критическим $G_{кр}$ основная гипотеза $\mathbf{H}_0$ будет отвергнута.

Этап 6. Сравнить экспериментальное значение критерия $G_{эксп}$ с критической величиной этого критерия $G_{кр}$, соответствующей заданной доверительной вероятности p. Если $G_{эксп} < G_{кр}$, то ги-

потеза $\mathbf{H}_0$ отвергается, т.е. сдвиг в типичную сторону можно считать достоверным при заданной доверительной вероятности p.

Этап 7. Сделать вывод о целесообразности замены исходной технологии на новую.

3. ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО НЕПАРАМЕТРИЧЕСКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА SWOT-АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫБОРА НАИЛУЧШЕЙ ТЕХНОЛОГИИ

Рассмотрим применение предложенного модифицированного непараметрическо-статистического метода SWOT-анализа для научно-обоснованного выбора эффективных технологий электрохимического нанесения покрытий, которые широко применяются на различных предприятиях.

Ранее традиционный метод SWOT-анализа применялся для сравнения эффективности двух технологий хромирования поверхностей (Винокуров и др., 2016; Vinokurov et al., 2016) — на основе электроосаждения хрома из растворов токсичной хромовой кислоты (Cr-6) (Ващенко, Солодкова, Кудрявцев, 2003) и из растворов экологически менее опасных соединений хрома более низкой валентности (Cr-3) (Азарко, Кузнецов, Шахамайер, 1997; Данилов, Проценко, Китык, 2014).

В соответствии с этапом 1 предложенного модифицированного метода сформулирована задача принятия научно-обоснованного решения о направлениях развития и модернизации технологий хромирования на основе уменьшения концентрации компонентов в технологических растворах (Fadina et al., 2013; Vinokurov et al., 2012), что снижает металлоемкость производства и уменьшает объем промывных вод в соответствии с принципами обеспечения ресурсосбережения и охраны ОС (Мешалкин, Товажнянский, Капустенко, 2011). Другое направление модернизации технологий гальванотехники состоит в применении новых составов растворов, обеспечивающих меньшую нагрузку на очистные сооружения и ОС. Таким образом, возможны два направления развития технологий: усовершенствование и модернизация имеющихся технологий или переход на новые технологии.

На этапе 2 авторы составили анкету для опроса экспертов в рамках проведения сравнительного SWOT-анализа. Анкета имеет вид, представленный в табл. 1.

При анализе сильных и слабых сторон (преимуществ и недостатков) технологического процесса хромирования экспертам предлагалось учесть следующие свойства рассматриваемых объектов: характеристика компонентов раствора (токсичность, стоимость); характеристика растворов; условия электроосаждения; характеристика процесса (рассеивающая способность, чувствительность к примесям); характеристика оборудования (оснастки); контроль параметров процесса (анализ раствора); характеристика покрытий.

Предлагалось рассмотреть факторы, использование которых создаст новые преимущества и позволит сократить затраты, расширить рынок и т.п., а основные препятствия и проблемы, возникающие во внешней среде предприятия, т.е. факторы, которые могут ухудшить положение предприятия, считать угрозами предприятия.

Для проведения анализа была сформирована экспертная группа из специалистов-практиков, к которым предъявлялись следующие требования: наличие высшего химико-технологического (технического) образования, опыт научных исследований и/или практической производственной деятельности в предметной области, наличие степени доктора (кандидата) химических (технических) наук, возраст — старше 35 лет. Общее число экспертов, отобранных для участия в опросе, составило девять человек, работающих в вузах (Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова), в Российской академии наук (Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН), на предприятиях (ОАО “Новомосковский авторемонтный завод”, ЗАО “Узловский машиностроительный завод”, АО “Алексинский завод тяжелой промышленной арматуры”, АО “Кимовский радиоэлектромеханический завод”, ОАО “Богородицкий завод технохимических изделий”).

На этапе 3 на основании результатов опроса экспертов проведены объединение и систематизация данных, дальнейший комплексный анализ качественных суждений о двух технологиях и по-

строена модифицированная матрица SWOT-анализа, объединяющая мнения экспертов. Фрагмент полученной модифицированной матрицы приведен в табл. 2.

Таблица 2. Фрагмент "Возможности технологических процессов хромирования из растворов хромовой кислоты (Cr-6) и из растворов солей хрома (III) (Cr-3)" модифицированной матрицы SWOT-анализа для сравниваемых объектов

Возможности процесса (Cr-6)	Возможности процесса (Cr-3)
Возможность снижения концентрации хромовой кислоты в растворе. Возможность использования мембранного электролиза или ионного обмена для извлечения избытка катионов металлов. Возможность создания замкнутого цикла водопотребления. Возможность рекуперации хромовой кислоты из ванн улавливания. Возможность конструирования технологического оборудования, предотвращающего эмиссию соединений Cr(VI) в рабочую воздушную зону и сточные воды. Возможность автоматизации анализа и поддержания концентрации компонентов в заданных пределах	Возможность интенсификации процесса за счет повышения плотности тока. Полное или частичное устранение недостатков электролита позволит сократить затраты на нанесение покрытия. Сокращение затрат на природоохранные мероприятия. Ожидание лояльности природоохранных, экологических и т.п. организаций и служб (в сравнении с использованием технологии на основе Cr(VI)). Снижение затрат на охрану труда персонала

Ранее составленные матрицы SWOT-анализа (Винокуров и др., 2016) свидетельствуют о том, что каждая технология (Cr-6 или Cr-3) имеет свои сильные и слабые стороны — соответственно достоинства и недостатки, — что требует проведения сравнительного анализа их эффективности для принятия научно-обоснованного решения о направлениях модернизации гальванической технологии.

Системный анализ факторов внутренней среды показал, что сильными сторонами технологии (Cr-6) являются малокомпонентный состав исходного технологического раствора с высокой электропроводностью и малой чувствительностью к примесям, а также простота химического анализа и изменения состава раствора.

Для второй технологии (Cr-3) можно отметить несколько меньшее число сильных сторон, к которым относятся низкая токсичность компонентов раствора, а также меньшая концентрация ионов хрома в растворе, менее высокая рабочая температура раствора и более высокая производительность нанесения покрытий, чем в технологии (Cr-6).

Отмечая сильные стороны технологии (Cr-3), эксперты употребили такие нечеткие оценки (Мешалкин, 1995), как: "возможно", "для отдельных растворов", "в отдельных случаях", что особенно характерно для оценки свойств покрытий.

Наиболее существенные показатели эффективности для технологии (Cr-3): выполнение требований природоохранных организаций (в сравнении с использованием технологии на основе Cr(VI), сокращение затрат на природоохранные мероприятия и охрану труда персонала, а также возможность интенсификации электрохимического процесса за счет большего КПД электрохимической реакции).

К слабым сторонам технологии (Cr-6) в первую очередь относится токсичность и агрессивность основного компонента раствора, значительные затраты на обеспечение требований охраны труда и экологического законодательства, также слабой стороной этой технологии является невысокая скорость осаждения покрытий и относительно высокая температура раствора.

К слабым сторонам, т.е. к существенным недостаткам технологии (Cr-3), можно отнести ограниченность толщины качественных покрытий, сложную химию соединений хрома (III), высокую стоимость основных компонентов раствора, его многокомпонентность, низкую электропроводность и, следовательно, неэффективное расходование энергоресурсов при электролизе.

Цвет покрытий при использовании технологии (Cr-3), как правило, отличается от цвета покрытий, полученных с использованием технологии (Cr-6), что не всегда устраивает потребителя. Технология (Cr-3) чувствительна к примесям катионов, анионов и органических веществ, что не так характерно для технологии (Cr-6). Сложность технологии (Cr-3) требует высокой квалификации персонала и затрат на ее постоянное повышение.

При рассмотрении возможностей и угроз внешней среды (Винокуров и др., 2016) можно отметить следующее. Для технологии (Cr-6)“Угрозы внешней среды” обусловлены возможным снижением объемов выпуска токсичного компонента, ужесточением природоохранного законодательства и требований по охране труда, а также появлением на рынке инновационных технологий с меньшей стоимостью.

Для технологии (Cr-3)“Внешние угрозы” вызваны зависимостью экспортной стоимости солей Cr(III) и технологическим консерватизмом.

На основе анализа и обобщения полученных в работе (Винокуров и др., 2016) данных составлена итоговая таблица (табл. 3). В ней приведены суммарные числа факторов, отнесенных к сильным, слабым сторонам и возможностям исследуемых технологий, а также угрозам со стороны внешней среды для каждой. По результатам сравнения двух чисел в каждой категории определена преимущественная технология. Большее число сильных сторон и возможностей и меньшее число слабых сторон и угроз дает возможность считать одну из технологий предпочтительной. При сравнении сильных и слабых сторон предпочтения более убедительные, так как разница в значениях составляет 6–7 единиц (18 против 11 и 20 против 26). Различия в возможностях и угрозах не столь существенны.

Таблица 3. Итоговая таблица сравнения двух технологий на основе модифицированного SWOT-анализа

Технология Cr-6	Технология Cr-3	Преимущественная технология
Число факторов, отнесенных к сильным сторонам технологии		Cr-6
18	11	
Число факторов, отнесенных к слабым сторонам технологии		Cr-6
20	26	
Число факторов, отнесенных к возможностям технологии		Cr-6
6	5	
Число факторов, отнесенных к угрозам технологии		Cr-3
6	4	

Анализ итоговой таблицы модифицированного SWOT-анализа в табл. 3 позволяет сформулировать следующие предварительные выводы. Технология с использованием (Cr-6) остается основной технологией получения хромовых покрытий. Являясь базовой технологией, она обеспечивает устойчивую позицию предприятия на рынке. Показателем эффективности в данном случае может выступать материалоемкость технологии (Cr-6). Чем дольше период возможной эксплуатации технологического ресурса (раствора), тем этот показатель лучше.

С этих позиций стабильность растворов в технологии (Cr-6) как сильная сторона технологии создает именно такой ресурс — возможность длительной эксплуатации раствора и как следствие — сокращение затрат на реагенты.

Таким образом, можно предположить, что применение экспериментальной технологии (Cr-3) не дает предприятию существенных конкурентных преимуществ, и, возможно, более эффективным решением является модернизация классической технологии (Cr-6).

На этапе 4 для дальнейших исследований из элементов исходной матрицы SWOT-анализа (Винокуров и др., 2016) сформированы группы показателей технико-экономической эффективности технологии: физико-химических, технологических, эколого-экономических. В каждой группе выделялись подгруппы, описание которых дано в соответствующих таблицах (табл. 4–6). Так, например, элемент матрицы SWOT-анализа “Наводороживание стальной основы” является физико-химическим показателем, а эмиссия компонентов раствора в атмосферу цеха и отравление окружающей территории — эколого-экономическим показателем. С учетом мнений экспертов сформирован перечень основных технико-экономических показателей для оценки эффективности технологий, куда вошли, например, такие показатели, как коррозионная стойкость покрытия, суммарная концентрация компонентов раствора, токсичность растворов. Для обеспечения достоверности решения о смене технологии хромирования согласно предложенному модифицирован-

ному методу SWOT-анализа необходимо установить сдвиги в изменении указанных показателей эффективности технологий после применения новой (Cr-3) технологии взамен старой (Cr-6) (существующей) и дать их оценку (положительный (+1), нулевой (0) или отрицательный (–1)).

Таблица 4. Оценка сдвига основных физико-химических показателей эффективности применения новой технологии хромирования на основе соединений Cr-3

Показатели эффективности технологии хромирования	Оценка сдвига показателей при применении технологии на основе Cr-3
1. Характеристика применяемых растворов	(+1) — 1; (0) — 1; (–1) — 3
1.1. Компонентный состав	–1
1.2. Суммарная концентрация всех компонентов	0
1.3. Возможность снижения концентрации соединений хрома	–1
1.4. Коррозионная агрессивность	+1
1.5. Электропроводность	–1
2. Характеристика физико-химических свойств покрытий	(+1) — 0; (0) — 3; (–1) — 1
2.1. Получение покрытий, обладающих набором необходимых свойств (высокие микротвердость, жаростойкость, износостойкость, химическая стойкость к большинству кислот, щелочей и солей)	0
2.2. Идентичность цвета	–1
2.3. Возможность улучшения характеристик покрытия при получении сплавов хрома	0
2.4. Наводороживание стальной основы	0

Типичным значением сдвигов в физико-химических показателях эффективности технологии является отрицательное, нетипичным — положительное. Число типичных сдвигов — 4, нетипичных — 1.

Таблица 5. Оценка сдвига основных технологических показателей эффективности технологии в результате применения новой технологии хромирования на основе соединений Cr-3

Технологические показатели эффективности технологии хромирования	Оценка сдвига показателей при применении технологии на основе Cr-3
1. Условия технологии электроосаждения покрытий	(+1) — 0; (0) — 0; (–1) — 1
1.1. Относительно высокая объемная плотность тока	–1
1.2. Высокая плотность тока	–1
1.3. Высокая или менее высокая температура	+1
2. Характеристика технологического процесса	(+1) — 2; (0) — 6; (–1) — 12
2.1. Расход 6 или 3 электронов на формирование одного атома покрытия	+1
2.2. Стабильность компонентного состава используемого раствора	–1
2.3. Простота поддержания стабильных параметров процесса	–1
2.4. Устойчивость к высоким концентрациям (до 5–10 г/л) примесей катионов	–1
2.5. Чувствительность к примесям анионов	0
Всего 20 показателей	
3. Характеристика технологического оборудования и оснастки	(+1) — 4; (0) — 0; (–1) — 1
3.1. Применение источников тока с низким выходным напряжением	–1
3.2. Организация отдельных коллекторов для хромовых стоков	+1
3.3. Создание отдельных воздуховодов для отсасывания воздуха от ванн хромирования	+1
Всего 5 показателей	
4. Контроль параметров технологического процесса, анализ раствора	(+1) — 0; (0) — 0; (–1) — 3
4.1. Простота анализа состава раствора	–1
4.2. Корректировка раствора	–1
4.3. Возможность автоматизации анализа и стабилизации концентрации компонентов в заданных пределах	–1
5. Другие показатели	(+1) — 0; (0) — 1; (–1) — 1

Типичным сдвигом в технологических показателях эффективности технологии является отрицательный, а нетипичным — положительный. Число типичных сдвигов — 19, нетипичных — 7.

Таблица 6. Оценка сдвига основных эколого-экономических показателей эффективности технологии в результате применения новой технологии хромирования на основе соединений Cr-3

Эколого-экономические показатели эффективности технологии хромирования	Оценка сдвига показателей при применении технологии на основе Cr-3
1. Характеристика компонентов раствора	(+1) — 1; (0) — 0; (–1) — 2
1.1. Токсичность компонентов раствора (оксид хрома (VI))	+1
1.2. Стоимость компонентов раствора	–1
1.3. Стоимость основного компонента растворов — солей Cr (III) — сильно зависит от внешних рынков	–1
2. Другие показатели	(+1) — 2; (0) — 2; (–1) — 1
2.1. Выход на рынок иностранных конкурентов с более низкими издержками	0
2.2. Применение новых технологий предприятиями родственного профиля	0
2.3. Вероятность залпового сброса раствора при невозможности восстановления его состава	–1
2.4. Применение специальных методов очистки сточных вод от соединений хрома (VI), затраты на обезвреживание стоков	+1
2.5. Эмиссия компонентов раствора в атмосферу цеха и отравление окружающей территории	+1

Число положительных и отрицательных сдвигов в эколого-экономических показателях в результате смены технологий одинаковое и составляет 3.

Анализ данных о сдвигах показателей эффективности двух технологий (см. табл. 4–6) показывает, что число ненулевых сдвигов составляет 38.

Типичное, т.е. преобладающее, направление изменений при смене технологии хромирования является отрицательным, и число таких сдвигов равно 26. Число нетипичных, т.е. положительных, сдвигов составляет 12, что соответствует $G_{эксп}$.

На этапе 5 формулируются две гипотезы.

Исходная и основная $\mathbf{H}_0$: “Преобладание отрицательных изменений (типичных) сдвигов в показателях технико-экономической эффективности использования технологии (Cr-3) вместо (Cr-6) является случайным”.

Альтернативная гипотеза $\mathbf{H}_1$: “Преобладание отрицательных изменений (типичных) сдвигов в последствиях технико-экономической эффективности использования технологии (Cr-3) вместо (Cr-6) является неслучайным”.

На этапе 6 сравнение гипотез $\mathbf{H}_0$ и $\mathbf{H}_1$ и их оценку проводят, как правило, для доверительной вероятности $p = 0{,}95$.

При сопоставлении значений $G_{эксп}$ и $G_{кр}$ для $n = 38$ и доверительной вероятности 0,95 видно, что $G_{эксп} < G_{кр}$ ($p = 0{,}95$), и, следовательно, $\mathbf{H}_0$ отвергается, а $\mathbf{H}_1$ принимается, т.е. сдвиг в типичную сторону можно считать достоверным при доверительной вероятности 0,95.

Таким образом, на этапе 7 в результате применения модифицированного непараметрическо-статистического метода SWOT-анализа можно сделать вывод о целесообразности модификации классической технологии хромирования (Cr-6), а не замены ее новой (Cr-3).

4. ВЫВОДЫ

На основании проведенной работы можно сделать следующие выводы.

1. Предложен модифицированный непараметрическо-статистический метод SWOT-анализа, позволяющий количественно оценить достоверность выводов об изменении технологий.

2. Предложенный метод может быть использован для решения задач об изменении технологий для разработки научно-обоснованных стратегий развития предприятий (производств).

3. Предложенный метод применен для оценки технико-экономической эффективности изменения технологий хромирования. Показано, что на современном этапе технология (Cr-6) остается наиболее эффективной технологией получения хромовых покрытий.

Применение технологии (Cr-3) не даст предприятию существенных конкурентных преимуществ, и, возможно, более эффективным является проведение мероприятий, связанных с модернизацией классической технологии (Cr-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Азарко О.Е., Кузнецов В.В., Шахамайер С.Р. (1997). Электроосаждение толстых твердых хромовых покрытий из электролитов на основе трехвалентного хрома // *Гальванотехника и обработка поверхности*. Т. V. № 4. С. 25–32.

Айвазян С.А., Афанасьев М.Ю., Руденко В.А. (2014). Исследование зависимости случайных составляющих стохастической производственной функции при оценке технической эффективности // *Прикладная эконометрика*. № 34 (2). С. 3–18.

Акмалов Р. (2013). SWOT-анализ в HR. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.executive.ru/management/practices/1841025-swot-analiz-v-hr, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: июль 2017 г.).

Андрианова И.Д. (2015). SWOT-анализ предприятия с использованием ранжирования параметров по совокупности показателей // *Современные тенденции развития науки и технологий*. № 8–9. С. 6—8.

Богомолова В.Г. (2004). SWOT-анализ: теория и практика применения // *Экономический анализ: теория и практика*. № 17. С. 57.

Брыкалов С.М., Юрлов Ф.Ф. (2016). Методика многокритериального выбора эффективных стратегий предприятия атомной отрасли при использовании SWOT-анализа // *Экономика: теория и практика*. № 2 (42). С. 76–84.

Ващенко С.В., Солодкова Л.Н., Кудрявцев В.Н. (2003). Высокопроизводительный электролит износостойкого хромирования // *Гальванотехника и обработка поверхности*. Т. 9. № 3. С. 31.

Винокуров Е.Г., Невмятуллина Х.А., Бурухина Т.Ф., Графушин Р.В., Бондарь В.В. (2016). SWOT-анализ технологии хромирования // *Компетентность*. № 4. С. 27–32.

Данилов Ф.И., Проценко В.С., Китык А.А. (2014). Оценка защитной способности хромовых гальванопокрытий, осажденных из сульфатного и метансульфонатного электролитов на основе Cr(III) // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. Т. 50. № 5. С. 553–560.

Кадышева Е. (2012). Методика проведения SWOT-анализа. Образцы матриц SWOT. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.businesstuning.ru/pm/80-swot-analiz-chto-eto-metodika-provedeniya-swot-analiza.html, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: июль 2017).

Клеева Л.Л. (2012). SWOT-анализ развития фундаментальной науки в России // *Компетентность*. № 2. С. 12–19.

Котлер Ф., Бергер Р., Бикхофф Н. (2012). Стратегический менеджмент по Котлеру: лучшие приемы и методы. М.: Альпина Паблишер.

Кочегуров В.А., Константинова Л.И., Гальченко В.Г. (2011). Инженерная эконометрика в задачах системного анализа // *Известия Томского политехнического университета*. Т. 319. № 2. С. 16–21.

Кривцов А.И. (2014). Концепции управления изменениями // *Фундаментальные исследования*. № 12 (3). С. 572–577.

Мешалкин В.П. (1995). Экспертные системы в химической технологии: основы теории, опыт разработки и применения. М.: Химия.

Мешалкин В.П. (2010). Ресурсоэнергоэффективные методы энергообеспечения и минимизации отходов нефтеперерабатывающих производств. Основы теории и наилучшие практические результаты. М., Генуя: Химия.

Мешалкин В.П., Катерищук М.Ю., Василенко Е.А. (2014). Методика формирования комплексной оценки эффективности реинжиниринга бизнес-процессов на промышленном предприятии // *Известия вузов*. Серия: Экономика. Финансы и управление производством. № 2 (20). С. 87–92.

Мешалкин В.П., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А. (2011). Основы теории ресурсоэффективных экологически безопасных технологий нефтепереработки. Харьков: НГУ “ХПИ”.

Михненко П.А. (2015). Динамическая модификация SWOT-анализа // *Экономический анализ: теория и практика*. № 18 (417). С. 60–68.

Мошев Е.Р., Ромашкин М.А., Мешалкин В.П., Прегаева Е.Г. (2016). Модели и эвристическо-вычислительные алгоритмы принятия инженерных решений по интегрированной логистической поддержке промышленных трубопроводных систем // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология*. № 3. С. 129–157.

Новиков В.А., Гришин А.А. (2012). SWOT-анализ функционирования процесса // *Компетентность*. № 4. С. 26–30.

Пранов Б.М. (2012). Методы многомерных статистических исследований в проблемах техносферной безопасности // *Технологии техносферной безопасности*. Вып. 6 (46). С. 1–8.

Пыжлаков Д.С. (2008). Сила и возможности. Концепция динамического SWOT-анализа // *Российское предпринимательство*. № 6 (1). С. 133–138.

Холлендер М., Вулф Д.А. (1983). Непараметрические методы статистики. Адлер Ю.П., Тюрин Ю.Н. (пер. с англ., ред.). М.: Финансы и статистика.

Юрлов Ф.Ф., Плеханова А.Ф., Бобкова Т.В. Колесов К.И., Болоничева Т.В., Галкин К.Б. (2013). Стратегическое планирование деятельности НПО и промышленных предприятий на основе портфельного и SWOT-анализа. Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.

Bhattacharjee G., Neogi S., Das S.K. (2014). Phenol-Formaldehyde Runaway Reaction: A Case Study // *International Journal of Industrial Chemistry*. Vol. 5. No. 2. P. 1–6.

Fadina S.V., Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Kolesnikov V.A. (2013). Total Concentration of Main Components in Solutions for Metal Electroplating as a Criterion for Classifying and Choosing Resource-Saving Compositions of Solutions // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. Vol. 47. No. 5. P. 593–599.

Jiang Y., Xie W., Zhuang B. (2017). The Civil-Military Integration Development of Equipment Construction Based on SWOT Quantitative Method. In: "Proceedings of the 29th Chinese Control and Decision Conference". CCDC2017/ 7979280 P. 4439–4443.

Liu Z., Wu W., Zhang Y., Zhang M. (2017). SWOT Quantitative Model of Livable Communities' Construction in China's Villages and Towns // *Journal of Interdisciplinary Mathematics*. No. 20 (4). P. 1127–1138.

Lupu A.G., Dumencu A., Atanasiu M.V. (2016). SWOT Analysis of the Renewable Energy Sources in Romania — Case Study: Solar Energy // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 147 (1), 012138.

Patnaik R. Poyyamoli G. (2015). Developing an Eco-Industrial Park in Pondicherry Region, India — a SWOT Analysis // *Journal of Environmental Planning and Management*. Vol. 58. Is. 6. P. 976–996.

Scolozzi R., Schirpke U., Morri E. (2014). Ecosystem Services-Based SWOT Analysis of Protected Areas for Conservation Strategies // *Journal of Environmental Management*. Vol. 146. P. 543–551.

Sun Z. (2012). Research on Enterprise Developmental Strategy Based on the swot Analysis // *Advances in Information Sciences and Service Sciences*. Vol. 4. Is. 11. P. 344–351.

Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Kolesnikov V.A., Fadina S.V. (2012). Concentration Criterion for Classifying Resource-Saving Compositions of Solutions for Metal Electroplating // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. Vol. 46. No. 5. P. 486–491.

Vinokurov E.G., Meshalkin V.P., Vasilenko E.A., Nevmyatullina H.A., Burukhina T.F., Bondar V.V. (2016). System Analysis of the Efficiency and Competitiveness of Chroming Technologies // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. Vol. 50. No. 5. P. 730–738.

REFERENCES (with English translation or transliteration)

Aivazian S.A., Afanasiev M. Yu., Rudenko V.A. (2014). Analysis of Dependence between the Random Components of a Stochastic Production Function for the Purpose of Technical Efficiency Estimation. *Applied Econometrics*, 34 (2), 3–18 (in Russian).

Akmalov R. (2013). SWOT-analysis for HR. Available at: http://www.e-xecutive.ru/management/practices/1841025-swot-analiz-v-hr (accessed: July 2017, in Russian).

Andrianova I.D. (2015). SWOT Analysis of the Company Using the Ranking of the Parameters According to the Overall. *Sovremenniye tendencii razvitiya nauki i tekhnologiy*, 8–9, 6–8 (in Russian).

Azarko O.E., Kuznetsov V.V., Shakhamayer S.R., Vinokurov E.G. (1997). Electrodeposition of Thick Hard Chromium Coatings from Bath on the Based of Trivalent Chromium. *Electroplating & Surface Treatment,* 5, 4, 25–32 (in Russian)

Bhattacharjee G., Neogi S., Das S.K. (2014). Phenol-Formaldehyde Runaway Reaction: A Case Study. *International Journal of Industrial Chemistry*, 5, 2. Article 13, 1–6.

Bogomolova V.G. (2004). SWOT Analysis: Theory and Practice of Application. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 17, 57 (in Russian)

Brykalov S.M., Yurlov F.F. (2016). Method of Multi-Criteria Selection of an Effective Strategy for Nuclear Industry Enterprise on the Basis of SWOT-Analysis. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2 (42), 76–84 (in Russian)

Danilov F.I., Protsenko V.S., Kityk A.A. (2014). Estimation of the Protective Ability of Chromium Coatings Deposited from Sulfate and Methanesulfonate Electrolytes Based on Cr(III). *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 50, 5, 672–678.

Fadina S.V., Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Kolesnikov V.A. (2013). Total Concentration of Main Components in Solutions for Metal Electroplating as a Criterion for Classifying and Choosing Resource-Saving Compositions of Solutions. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 47, 5, 593–599.

Hollander M., Wolfe D.A. (1983). Nonparametric Statistical Methods. Moscow: Finansy i statistika (in Russian).

Jiang Y., Xie W., Zhuang B. (2017). The Civil-Military Integration Development of Equipment Construction Based on SWOT Quantitative Method. In: "Proceedings of the 29th Chinese Control and Decision Conference". CCDC2017/ 7979280, 4439–4443.

Kadysheva E. (2012). The Method of the SWOT Analysis. Samples of SWOT Matrices. Available at: http://www.businesstuning.ru/pm/80-swot-analiz-chto-eto-metodika-provedeniya-swot-analiza.html (accessed: July 2017, in Russian).

Kleeva L.L. (2012). SWOT-Development Analysis of Fundamental Science in Russia. *Kompetentnost*, 2, 12–19 (in Russian).

Kochegurov V.A., Konstantinova L.I., Gal'chenko V.G. (2011). Engineering Econometrics in Problems of System Analysis. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 319, 2, 16–21 (in Russian).

Kotler P., Berger R., Bickhoff N. (2012). Strategic Management According to Kotler: The Best Techniques and Methods. Moscow: Alpina Pablisher (in Russian).

Krivtsov A.I. (2014). The Concept of Change Management. *Fundamental research*, 12 (3), 572–577 (in Russian).

Liu Z., Wu W., Zhang Y., Zhang M. (2017). SWOT Quantitative Model of Livable Communities' Construction in China's Villages and Towns. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 20 (4), 1127–1138.

Lupu A.G., Dumencu A., Atanasiu M.V. (2016). SWOT Analysis of the Renewable Energy Sources in Romania — Case Study: Solar Energy. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 147 (1), 012138.

Meshalkin V.P. (1995). Expert Systems in Chemical Technology: Fundamentals of Theory, Experience in Development and Application. Moscow: Khimiya (in Russian).

Meshalkin V.P. (2010). Resource-and Energy-Efficient Methods of Energy Supply and Minimization of Waste from Oil Refineries. Fundamentals of Theory and Best Practice. Moscow, Genuya: Khimiya (in Russian).

Meshalkin V.P., Katerishchuk M. Yu., Vasilenko E.A. (2014). Methods of Formation of Complex Estimation of Efficiency of Reengineering of Business Processes at the Industrial Enterprise. *Izvestia vyssih uchebnyh zavedenij. Seria "Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom"*, 2 (20), 87–92 (in Russian).

Meshalkin V.P., Tovazhnyanskiy L.L., Kapustenko P.A. (2011). Fundamentals of the Theory of Resource-Efficient and Ecologically Safe Technologies of Oil Refining. KHar'kov: NGU "KhPI" (in Russian).

Mikhnenko P.A. (2015). Dynamic Modification of a SWOT Analysis. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 18 (417), 60–68 (in Russian).

Moshev E.R., Romashkin M.A., Meshalkin V.P., Pregaeva E.G. (2016). Models and Heuristic Computational Algorithms for Making Engineering Decisions in the Field of Integrated Logistics Support of Industrial Piping Systems. *PNRPU Bulletin. Chemical Technology and Biotechnology.* Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya, 3, 129–157 (in Russian).

Novikov V.A., Grishin A.A. (2012). SWOT-Analysis of the Process Functioning. *Kompetentnost*, 4, 26–30 (in Russian).

Patnaik R., Poyyamoli G. (2015). Developing an Eco-Industrial Park in Pondicherry Region, India — a SWOT Analysis. *Journal of Environmental Planning and Management*, 58, 6, 976–996.

Pranov B.M. (2012). Multidimentional Statistical Methods in Problems of Technospheric Safety. *Technology of Technosphere Safety,* 6 (46), 1–8 (in Russian).

Pyzhlakov D.S. (2008). The Concept of Dynamic SWOT Analysis. *Russian Journal of Entrepreneurship,* 6 (1), 133–138.

Scolozzi R., Schirpke U., Morri E. (2014). Ecosystem Services-Based SWOT Analysis of Protected Areas for Conservation Strategies. *Journal of Environmental Management*, 146, 543–551.

Sun Z. (2012). Research on Enterprise Developmental Strategy Based on the SWOT Analysis. Advances in Information *Sciences and Service Sciences*, 4, 11, 344–351.

Vashchenko S.V., Solodkqva L.N., Kudryavtsev V.N. (2003). High-Performance Wear-Resistant Chromium Plating Bath. *Electroplating & Surface Treatment*, 9, 3, 31.

Vinokurov E.G., Meshalkin V.P., Vasilenko E.A., Nevmytullina Kh.A., Burukhina T.F., Bondar V.V. (2016). System Analysis of the Efficiency and Competitiveness of Chroming Technologies. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 50, 5, 730–738.

Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Kolesnikov V.A., Fadina S.V. (2012). Concentration Criterion for Classifying Resource-Saving Compositions of Solutions for Metal Electroplating. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 46, 5, 486–491.

Vinokurov E.G., Nevmyatullina Kh.A., Burukhina T.F. Grafushin R.V., Bondar V.V. (2016). SWOT-Analysis of Chromium Plating. *Kompetentnost'*, 4, 27–32 (in Rissian).

Yurlov F.F., Plekhanova A.F., Bobkova T.V. Kolesov K.I., Bolonicheva T.V., Galkin K.B. (2013). Strategic Planning of Scientific-Production Associations and Industrial Enterprises on the Basis of Portfolio and Swot Analysis. Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskiy gosudarstvenniy universiyey im. R.E. Alekseeva (in Russian).

Method of the Modified SWOT-Analysis of the Effectiveness of Technology Changes

E.G. Vinokurov [i, ii], V.P. Meshalkin [i], Kh.A. Nevmyatullina [i, ii,*], T.F. Burukhina [i], V.V. Bondar [ii], S.M. Khodchenko [i]

[i] *Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia*

[ii] *Russian Institute for Scientific and Technical Information (VINITI RAS), Moscow, Russia*

[*] *E-mail: vin-62@mail.ru*

Received 29.11.2017

This investigation was supported Ministry of Science and Education of Russian Federation, 10.4556.2017/6.7

Currently, the classical SWOT-analysis is widely used for assessing competitiveness and design a strategy for the development of the management object. The method provides only qualitative assessment of technical and economic efficiency. At the same time only one object (technology, industry, organization, division of the enterprise and other similar objects) is analyzed the effectiveness. The authors propose a new modified nonparametric-statistical method of SWOT-analysis to compare the effectiveness of two control objects. The stages of analysis are described: the choosing of a group of experts, the development of a questionnaire for their survey, the survey, the formation of a modified matrix of SWOT-analysis. The samples of modified SWOT-analysis matrices were developed both separately for each object and for the compared objects in the aggregate. To ensure the reliability of the results, the modified SWOT-analysis method is added with the criterion of nonparametric statistics, which is used to quantify the reliability of shifts — the criterion of signs (G-criterion). An algorithm for applying the criterion to test the hypothesis of the direction of the shift in the performance indicators in the change one object to another is presented. The proposed method was applied for the comparison of technical and economic efficiency of the two processes of chromium plating from solutions based on toxic chromic acid (Cr-6) and from baths based on less environmentally hazardous substances of trivalent chromium (Cr-3). It is shown that now the technology (Cr-6) is more effective technology for the production of chrome coatings then (Cr-3) technology. Perhaps more effective is to carry out modernization of the classical technology (Cr-6).

Keywords: SWOT-analysis, non-parametric statistics, sign criterion, technical economical efficiency, technologies, chemical engineering, electrodeposition, plating, chromium.

JEL Classification: C19, L60, M11, O32.

DOI: 10.31857/S042473880004046-9

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, 2019, том 55, № 1, с. 56–67

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Об организации долгосрочного прогнозирования фундаментальных и поисковых научных исследований

© 2019 г. Л.Э. Миндели*, С.Ф. Остапюк, В.П. Фетисов*****

Институт проблем развития науки РАН, Москва

** E-mail: L. Mindeli@issras.ru ** E-mail: S. Ostapyuk@issras.ru*
**** E-mail: VPFetisov@yandex.ru*

Поступила в редакцию 9.12.2018 г.

Основным условием решения амбициозной задачи — вхождение России в число пяти крупнейших экономик мира, — поставленной Президентом РФ, является консолидация и единство действий участников стратегического планирования, обеспечивающих развитие социально-экономической и научно-технологической сфер деятельности. Исходным пороговым документом, определяющим перспективу их развития, является прогноз социально-экономического и научно-технологического развития, прогноз развития науки, включая развитие фундаментальных исследований. Прогнозирование фундаментальных и поисковых исследований возложено на Российскую академию наук. Однако, как показал анализ, процедура прогнозирования этих видов деятельности, в отличие от социально-экономического и научно-технологического развития, в правовом плане не регламентирована. Устранение данного пробела и является предметом проведенного нами исследования. В работе сформулирован предмет и этапы процедуры долгосрочного прогнозирования в научно-технической сфере, проанализированы нормативно-правовые основания формирования агрегированной модели долгосрочного прогноза фундаментальных и поисковых научных исследований. Определены условия и укрупненные этапы регламента разработки такой агрегированной модели, сформулированы методологические особенности и требования данного регламента, предложения по развитию его экспертного инструментария и информационного сопровождения. На основании проведенного нами исследования предложено подготовить и принять постановление правительства о регламенте прогнозирования фундаментальных и поисковых исследований, наделив РАН статусом ответственного за прогнозирование фундаментальных и поисковых научных исследований. При этом подчеркивается, что процедура и модель разработки указанного прогноза соответствует общегосударственной модели прогнозирования, определенной постановлениями Правительства РФ о порядке прогнозирования социально-экономического и научно-технологического развития. В то же время модель учитывает различия в задачах прогнозирования развития фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований.

Ключевые слова: фундаментальные и поисковые научные исследования, социально-экономическое и научно-технологическое развитие, процедура и модель долгосрочного прогнозирования, стратегическое планирование, нормативно-правовые, методологическое и информационное обеспечения, институт и регламент прогнозирования.

Классификация JEL: E17, B4, I23.

DOI: 10.31857/S042473880004047-0

ВВЕДЕНИЕ

Российская академия наук является участником разработки документов стратегического планирования, подготавливаемых в соответствии с Федеральным законом "*О стратегическом планировании в Российской Федерации*"[1]. Такими документами являются: прогноз социально-экономического развития, прогноз научно-технологического развития и ряд иных. Основная задача Российской академии наук — представить прогноз развития науки и важнейших направлений фундаментальных и поисковых научных исследований на долгосрочную перспективу.

В настоящей статье представлены основные методологические и методические положения регламента долгосрочного прогнозирования фундаментальных и поисковых научных исследований.

[1] Федеральный закон "О стратегическом планировании в Российской Федерации" от 28 июля 2014 г. № 172-ФЗ.

В ней сформулированы предложения по развитию его экспертного инструментария и информационного сопровождения.

1. ИНСТИТУТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАК ОСНОВА ЕДИНСТВА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО И НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Необходимым условием реализации Федерального закона "*О стратегическом планировании в Российской Федерации*" является обеспечение единства (консолидации) действий органов государственной власти, научно-образовательного и предпринимательского сообщества, институтов гражданского общества в создании благоприятных условий для применения достижений науки и технологий в интересах социально-экономического развития России. Это условие в полной мере относится и к исполнению Указа Президента РФ "*О национальных целях и стратегических задачах развития России до 2024 года*"[2] в части ускорения технологического развития, вхождения России в число пяти крупнейших экономик мира и решения ряда иных, не менее амбициозных задач.

Стержневой основой обеспечения единства действий субъектов научно-технологического развития является единство понимания перспектив развития ключевых сфер деятельности: социально-экономической, научно-технологической, экономической и научной. Необходимым условием достижения такого единства действий является единая, утвержденная руководством страны регламентация процедур прогнозирования анализируемых сфер деятельности. Регламент прогнозирования развития отраслей экономической деятельности должен учитывать отраслевую специфику.

Основа единой регламентации процедур прогнозирования уже создана:

– Минэкономразвития России руководствуется порядком разработки, корректировки, осуществления мониторинга и контроля реализации прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на долгосрочный период[3];

– Правительство РФ подготовило и утвердило Правила разработки и корректировки прогноза научно-технологического развития Российской Федерации, которыми руководствуется Министерство образования и науки России[4];

– прогнозирование научно-технологического развития обеспечено методическими рекомендациями по подготовке исходных данных[5].

Министерство образования и науки Российской Федерации вместе с РАН — как участники прогнозирования социально-экономического развития — разрабатывают прогноз динамики основных показателей развития науки и технологий и направляют его Минэкономразвития РФ.

Участие РАН в разработке прогноза социально-экономического и научно-технологического развития государства, научно-технологического развития отраслей экономики и субъектов Российской Федерации закреплено федеральным законодательством. В соответствии с Федеральным законом о РАН[6] одной из целей деятельности РАН является прогнозирование основных направлений научного, научно-технологического и социально-экономического развития Российской Федерации. Законодатель охватил триаду: наука, социально-экономическое и научно-технологическое

[2] Указ Президента РФ "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации до 2024 года" от 7 мая 2018 г. № 204.

[3] Постановление Правительства РФ "О порядке разработки, корректировки, осуществления мониторинга и контроля реализации прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на долгосрочный период" от 11 ноября 2015 г. № 1218.

[4] Постановление Правительства РФ "Об утверждении правил разработки и корректировки прогноза научно-технологического развития Российской Федерации" от 16 июля 2015 г. № 699.

[5] Приказ Минобрнауки России "Об утверждении методических рекомендаций по подготовке исходных данных для разработки и корректировки прогноза научно-технологического развития РФ, а также по формированию его сценарных условий" от 13 ноября 2015 г. № 1335.

[6] Федеральный закон "О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ.

прогнозирование. Остается вопрос о прогнозировании развития фундаментальных исследований, есть ли необходимость его решать, и если да, то кто этим будет заниматься.

По формальному признаку формирование прогноза развития фундаментальных исследований можно возложить на Министерство науки и высшего образования России. В то же время оценить направления развития фундаментальных исследований и выделить приоритетные темы исследований может только научное сообщество во главе с РАН.

Нельзя забывать и о том, что основные задачи прогнозирования развития фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований имеют определенные различия:

– для фундаментальных исследований ("экспериментальная или теоретическая деятельность, направленная на получение новых знаний об основных закономерностях строения, функционирования и развития человека, общества, окружающей среды"[7]) прогноз связан с нахождением возможных областей и направлений расширения знаний об изучаемых явлениях; оценкой тактической и стратегической приоритетности развития сформулированных тем и направлений исследований; определением абсолютных и относительных пределов развития изучаемых процессов; оценкой объемов требуемых ресурсов, а также возможных сроков достижения поставленных целей и решения задач;

– для поисковых исследований ("исследования, направленные на получение новых знаний в целях их последующего практического применения (ориентированные научные исследования) и (или) на применение новых знаний ("прикладные научные исследования...", см. № 127-ФЗ) прогноз связан с нахождением новых альтернативных способов решения сформулированных социально-экономических, научно-технических и научно-технологических проблем; разработкой критериев оценки ожидаемых результатов исследований и разработок с точки зрения возможных социально-экономических последствий и результативности их проведения; определением оптимальной тактики и стратегии развития науки и техники и др.;

– для прикладных исследований и разработок ("применение новых знаний для достижения практических целей и решения конкретных задач", см. № 127-ФЗ) прогноз связан с оценкой возможности использования полученных знаний, конкретных принципов и законов при создании новых техники и технологии; формулировкой научно- и организационно-технических проблем, для решения которых будут созданы новые технология и техника;

– для опытно-конструкторских работ прогноз связан с обоснованием социально-экономической необходимости в создании новой техники; определением предельных технических возможностей и рисков ее создания, формулировкой технических заданий и требований к создаваемой технике; формированием параметрических рядов перспективных технических платформ и их возможных альтернатив; оценкой эффективности и рисков перспективных технических систем и их вероятных проектных альтернатив.

Отметим, что информационной основой прогнозирования поисковых и прикладных исследований являются результаты прогноза развития фундаментальных исследований.

2. НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ОСНОВАНИЯ

В уставах Российской академии наук, Российской академии образования, Российской академии художеств, Российской академии архитектуры и строительных наук предусмотрено участие в процессах прогнозирования по соответствующим направлениям наук[8]. К этому следует добавить, что законодательство возложило на РАН научно-методическое руководство научной и научно-тех-

[7] Федеральный закон "О науке и государственной научно-технической политике" от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ.

[8] Постановления Правительства РФ «Об утверждении устава федерального государственного бюджетного учреждения "Российская академия наук"» от 27 июня 2014 г. № 589; Постановление Правительства РФ «Об утверждении устава федерального государственного бюджетного учреждения "Российская академия художеств"» от 11 февраля 2016 г. № 95 (ред. от 29.06.2017); Постановление Правительства РФ «Об утверждении устава федерального государственного бюджетного учреждения "Российская академия образования"» от 14 марта 2014 г. № 187 (ред. от 14.10.2016); Постановление Правительства РФ "Об утверждении устава Российской академии архитектуры и строительных наук" от 28 мая 2014 г. № 488.

нической деятельностью научных организаций государственного сектора науки; организацию разработки программы фундаментальных научных исследований; экспертизу научно-технических программ и проектов; изучение и анализ достижений мировой и российской науки и выработку рекомендаций их использования, а также разработку предложений по приоритетным направлениям развития фундаментальных наук.

В соответствии с Федеральным законом "*О науке и государственной научно-технической политике*"[9], Федеральным законом "*О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации*"[10], Указом Президента Российской Федерации "*О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки*"[11] РАН является участником формирования и реализации Программы фундаментальных научных исследований на долгосрочный период[12]. Кроме того, РАН является участником формирования и реализации Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг.[13] В настоящее время начинается разработка проекта "*Программы фундаментальных и поисковых научных исследований до 2035 года*"[14].

Одним из основных принципов формирования указанных программ является разработка научно обоснованного прогноза развития науки и технологий в Российской Федерации, формирование научным сообществом на этой основе приоритетов фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований с учетом мировых тенденций развития науки.

Общее управление "Программой фундаментальных научных исследований на долгосрочный период (2013–2020 годы)" осуществляется координационным советом, созданным в соответствии с постановлением Правительства РФ[15]. На совет возложена подготовка предложений об определении приоритетных направлений фундаментальных научных исследований; координация разработки и реализации планов фундаментальных исследований участников программы; утверждение методических документов по вопросам реализации мероприятий программы, включая международную экспертизу и решение ряда иных задач. Совет возглавляют министр науки и высшего образования и президент РАН (сопредседатели программы). Практика работы совета и действующие методические документы в области прогнозирования могут быть использованы при разработке регламента формирования прогноза развития фундаментальных и поисковых научных исследований.

Российская академия наук создала сеть научных советов по направлениям наук, которые определяют основные направления развития фундаментальных исследований в соответствующей области.

В 2018 г. Российской академией наук создан Научно-координационный совет при Президиуме РАН по проблемам прогнозирования и стратегического планирования в Российской Федерации[16]. Совет занимается анализом состояния научных исследований для прогнозирования и стратегического планирования в стране и за рубежом. Он готовит предложения и рекомендации для развития наиболее актуальных и перспективных направлений исследований, имеющих критическое значе-

---

[9] Федеральный закон "О науке и государственной научно-технической политике" от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ.

[10] Федеральный закон "О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ.

[11] Указ Президента РФ "О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки" от 7 мая 2012 г. № 599.

[12] Распоряжение Правительства РФ "Об утверждении программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2013—2020 годы)" от 27 декабря 2012 г. № 2538-р.

[13] Распоряжение Правительства РФ "Об утверждении Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013—2020 годы" от 3 декабря 2012 г. № 2237-р (ред. от 31.10.2015).

[14] Выступление заместителя Председателя Правительства РФ Т.А. Голиковой. Стенографический отчет о заседании Совета при Президенте РФ по науке и образованию. 27 ноября 2018 г. (см. материалы сайта http://kremlin.ru/).

[15] Постановление Правительства РФ "Об утверждении положения о координационном совете программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2013—2020)" от 2 июля 2013 г. № 554 (в редакции постановлений Правительства РФ от 14.03.2014 № 190, от 01.10.2018 № 1168).

[16] Постановление Президиума РАН "Положение о Научно-координационном совете РАН по проблемам прогнозирования и стратегического планирования в Российской Федерации" от 18 сентября 2018 г. № 131.

ние для реализации общегосударственных интересов Российской Федерации. Он курирует комплексный анализ тенденций мирового научно-технического и технологического развития; определяет основные секторы экономики, в которых Российской Федерации необходимо обеспечить мировое лидерство или позиции, близкие к лидерским, а также прогнозирует основные направления научного, научно-технологического и социально-экономического развития Российской Федерации. Таким образом, Российская академия наук фактически имеет организационную структуру, занимающуюся прогнозированием фундаментальных и поисковых исследований.

На наш взгляд, вполне логично возложить формирование прогноза развития фундаментальных и поисковых научных исследований на Российскую академию наук.

3. УСЛОВИЯ И УКРУПНЕННЫЕ ЭТАПЫ ПРОЦЕДУРЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Решение об ответственности РАН за формирование прогноза потребует: законодательного закрепления за РАН статуса ответственного за прогнозирование фундаментальных и поисковых научных исследований; наделения РАН правом запроса информации о деятельности организаций, занимающихся фундаментальными исследованиями, независимо от их ведомственной принадлежности; выделения РАН бюджетных средств на проведение работ по прогнозированию.

Процедура разработки прогноза призвана соответствовать общегосударственной модели прогнозирования, определенной постановлениями Правительства РФ, и разделяться на три больших этапа.

На *первом этапе* ответственный за разработку прогноза совместно с участниками прогнозирования разрабатывает сценарные условия основных направлений прогноза[17] и его основные параметры на основании действующего на данный момент прогноза. При этом разработанные сценарные условия и основные параметры должны быть взаимоувязаны со сценарными условиями и параметрами действующих прогнозов социально-экономического и научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочный период.

На *втором этапе* ответственный за разработку прогноза совместно с заинтересованными участниками на основе сценарных условий и основных параметров прогноза, одобренных Правительством Российской Федерации, разрабатывает проект прогноза на заданный период.

На *третьем этапе* проект прогноза согласуется с заинтересованными участниками прогнозирования и утверждается Правительством РФ.

Внутри процедур разработки проекта прогноза можно содержательно выделить формулировку проблем, причин или условий, определяющих необходимость проведения соответствующих исследований; определение объекта и предмета исследования, целей и задач исследования. Даются определения основных понятий; формулировка рабочих гипотез; разработка сценарных условий прогноза. Проводится отбор субъектов исследования, потенциально способных разрабатывать прогнозы и их компромиссные варианты (Миндели, Черных, 2014; Научная и инновационная политика..., 2013; Иванов, 2012; Иванова, 2016).

4. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ТРЕБОВАНИЯ РЕГЛАМЕНТА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГНОЗА

Обобщение опыта формирования научной и инновационной политик в России и за рубежом и разработки социально-экономических, научно-технологических и научно-технических прогнозов (Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 “*О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации*” (пункт 21); Указ Президента РФ от 07.07.2011 № 899 (ред. от 16.12.2015) “*Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники*

[17] Сценарные условия основных направлений прогноза содержат наиболее вероятные внешние и внутренние условия и характеристики объекта прогнозирования в долгосрочном периоде; они направляются на рассмотрение в Правительство Российской Федерации.

в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации" (Миндели, Остапюк, Черных, 2017; Сидельников, Минаев, 2017; Белоусов, Фролов, 2008; Новиков, Чхартишвили, 2002; Остапюк, 2007; Соколов, 2007; Зубова et al., 2004; Макоско, Абросимов, 2018; Плетнёв, Лазаренко, 2003) позволяет сформулировать следующие методологические особенности и сценарные требования регламента формирования прогноза:

• РАН совместно с Минобрнауки РФ (Министерства науки и высшего образования) проводит разработку и актуализацию прогноза. При этом необходимо обеспечить организационно-методическую, информационную и программно-аналитическую поддержку всех участников разработки прогноза на всех этапах его формирования;

• прогноз предусматривает не столько предсказание будущих направлений развития фундаментальной науки, сколько возможность формирования адекватного тематического задела научных исследований для реализации этого будущего с учетом поставленных правительством страны целей, выбранных приоритетов ее социально-экономического и научно-технологического развития и реальных возможностей ресурсной поддержки российской науки. Прогноз следует рассматривать лишь как своего рода оценку возможностей вовремя увидеть точки будущего развития научно-технической сферы или разрыва инновационной цепочки, в которых фокусируется социальная, экономическая, научно-технологическая, политическая напряженность на данном этапе развития общества и найти способы снять (или сгладить) эту напряженность и облечь эти способы в надлежащие правовые формы[18];

• участники разработки прогноза должны быть обеспечены прогнозными данными, полученными в процессе поискового и целевого подходов к прогнозированию[19]. При этом технологию получения информации для формирования прогноза необходимо изменить не столько за счет жестких организационно-методических схем проведения профильных работ, сколько за счет отработанной технологии привлечения к ним экспертов, их своевременного и адекватного информационного обеспечения о новых достижениях, фактах и событиях в специализированных и смежных областях науки[20] за счет эффективного использования интегрированных информационно-аналитических систем раннего выявления и обоснования проблем научно-технического, социально-экономического и инновационного развития, выбора наиболее эффективных путей их решения, оценки последствий принимаемых решений. В качестве исходной информации целесообразно использовать комплекс документов, отражающих макроэкономические вызовы и сценарные условия долгосрочного социально-экономического развития России; нормативно-правовые и ведомственные документы и материалы, характеризующие проблемы и тенденции развития фундаментальной науки,

[18] Прогнозы в сфере фундаментальной науки должны представлять собой не столько совокупность мнений ученых о будущих темах научных исследований, сколько систему выработки общего видения будущего национального и глобального развития. Воплощением такого подхода является Институт Форсайта, который позволяет провести с участием экспертов и представителей различных заинтересованных слоев населения итеративное уточнение желаемых образов будущего (Миндели, Остапюк, Черных, 2017; Новиков, Чхартишвили, 2002; Остапюк, 2007; Соколов, 2007; Зубова и др., 2004; Макоско, Абросимов, 2018). При этом Институт Форсайта призван улавливать слабые прообразы будущего, которые сначала продуцируются лишь отдельными субъектами науки, экономики и общества. Отметим, что Форсайт в основном связан не с предсказанием будущего, а скорее с его формированием — что позволяет считать Форсайт специфическим инструментом управления технологическим развитием, опирающимся на создаваемую в его рамках инфраструктуру. Подчеркнем еще раз, что формирование будущего является одной из *основных функций фундаментальной науки*.

[19] Исходные данные, так или иначе влияющие на объект прогнозирования, получают, как правило, на основе проведения независимых комплексных исследований результатов выполнения федеральных, региональных и ведомственных программ и проектов. В информационные источники должны быть включены сведения о передовом опыте по научным и научно-технологическим прогнозам, в том числе выполненным за рубежом. В аппаратно-аналитическую поддержку процедур прогнозирования полезно включить программные средства обработки экспертных оценок (Плетнёв, Лазаренко, 2003; Литвак, 1996) больших массивов данных, касающихся предметной области прогноза, технологии слабого искусственного интеллекта (Макоско, Абросимов, 2018; Рассел, Норвиг, 2006; Душкин, 2018).

[20] Обеспечить в современных условиях требуемый уровень всесторонней и глубокой осведомленности экспертов возможно за счет объединения разрозненных источников информации в единую информационно-аналитическую систему, в состав которой войдут цифровые библиотеки, архивы, базы данных и знаний и будут созданы комфортные условия работы их пользователей. Важными элементами такой системы должны явиться механизмы обмена данными и знаниями между экспертами, отсева неактуальной информации для функциональной специализации экспертов, методы извлечения и анализа данных и знаний.

состояние, ограничения и перспективы долгосрочного развития материально-технического и кадрового обеспечения научно-технического комплекса;

• в каждом периоде прогноза следует обеспечить непрерывность процесса прогнозирования, позволяющего учесть цикличность динамики развития поколений техники и технологических укладов и скорректировать выбор приоритетных направлений научно-технического прогресса. При этом следует рассматривать процесс прогнозирования и его прогнозный фон как систему динамично изменяющихся взаимосвязей и соотношений. Внутри этой системы предполагается учитывать усиливающиеся во времени неопределенности будущих условий реализации прогноза при расширении горизонта его разработки[21], а также неравномерности осуществления научно-технического прогресса и необходимости концентрации ресурсов на выбранных приоритетных направлениях развития науки, техники, образования и критических технологий федерального уровня. При этом важно также учитывать цикличность развития мирового и национального хозяйств, векторов и приоритетов роста научного знания в индустриально развитых странах; национальных достижений в сфере фундаментальной и прикладной науки; внутренних потребностей и возможностей научно-технического комплекса и экономики страны в целом. Необходимо опираться на логику развития национальной фундаментальной науки и ее потенциальных возможностей в реализации программ и проектов стратегического развития России. Следует также учитывать эмерджентные свойства результатов прогноза[22]; рекурсивность процесса прогнозирования[23]; приоритеты развития технологических способов производства; направлений ускоренного развития секторов экономики, в которых ожидается технологический прорыв, в сравнении с секторами эволюционного совершенствования. Прогноз опирается на направления технологического развития производств, в которых растет востребованность результатов научных исследований и разработок, повышается конкурентоспособность продукции и технологий, экономической деятельности развитых стран, в которых темпы роста затрат на научные исследования и разработки превышают темпы экономи-

[21] Долгосрочные прогнозы характеризуют период упреждения с преобладанием качественных изменений анализируемых объектов и их внешней среды над количественными. Результаты такого прогнозирования предполагают проведение синтеза дисциплинарной структуры фундаментальных исследований с проблемной, определяемой стратегическими социально-экономическими задачами, стоящими перед страной. Для достижения ожидаемых результатов в решении множества национальных задач необходимо исследовать и обосновывать временные интервалы получения этих результатов и соотносить их с имеющимися и прогнозируемыми вызовами и угрозами. Одним из наиболее широко применяемых способов уменьшения неопределенности будущих условий реализации прогноза является его *привязка к сценариям развития экономики*, динамики конъюнктуры мировых рынков, к которым можно отнести результаты прогнозирования, кадровому, информационному и материально-техническому обеспечению науки.

[22] Свойство *эмерджентности результатов прогноза* возникает в процессе анализа различных направлений научных исследований группой экспертов и специалистов, обладающих различными знаниями в различных предметных областях, что в результате и приводит к синергии их мнений и повышению достоверности прогнозных оценок. Обеспечить эмерджентные свойства результатов прогноза возможно за счет организации сетевого характера построения системы информационного обеспечения экспертов, участвующих в процедуре формирования прогноза (Макоско, Абросимов, 2018; Плетнёв, Лазаренко, 2003). Современные средства Интернета вполне позволяют это сделать. При таком подходе процесс выработки коллективного мнения экспертов по предмету прогнозирования можно построить как процесс самоорганизации различных экспертных групп. В процессе самоорганизации эксперты смогут запросить друг у друга по определенному кругу интересующих их вопросов и, в зависимости от результатов общения и статуса экспертов, будут управлять процессом выработки коллективного мнения. Лица, принимающие решения, призваны обобщать мнения групп экспертов и управлять процессом принятия итоговых решений, вырабатывая коллективное мнение, по возможности максимально не зависимое от мнений конкретных экспертов или сообществ экспертов, но учитывающее их мнения как некие правильные исходные данные (Макоско, Абросимов, 2018; Плетнёв, Лазаренко, 2003; Душкин, 2018; Marcus, 2017).

[23] В процессе подготовки прогноза эксперты часто сталкиваются с неполнотой имеющихся данных и неточностью предоставленной им информации. Как следствие в прогнозных оценках экспертов появляются погрешности. Учет фактора неточности экспертных оценок следует рассматривать в качестве определяющего положения экспертного прогнозирования. Это означает, что процесс формирования прогноза имеет рекурсивный характер. Прогноз поэтому следует уточнять по мере прохождения им циклов прогнозирования (Макоско, Абросимов, 2018; Плетнёв, Лазаренко, 2003; Душкин, 2018). При таком подходе целесообразно сочетать методы обработки результатов коллективной экспертизы (Плетнёв, Лазаренко, 2003; Литвак, 1996) с современными методами глубинного обучения (Плетнёв, Лазаренко, 2003; Душкин, 2018). При этом мнения и заключения экспертов будут выступать в качестве обучающей выборки (Плетнёв, Лазаренко, 2003; Душкин, 2018). Представляется, что процедура прогнозирования в перспективе будет основана на использовании имеющейся экспертной информации и опираться на элементы глубинного обучения и гибридные системы искусственного интеллекта (Рассел, Норвиг, 2006; Душкин, 2018), а также вести поиск скрытых закономерностей развития направлений научных исследований. После этого результат прогноза будет снова возвращаться экспертам для его повторного всестороннего анализа и его дальнейшего уточнения.

ческого роста этих направлений. При этом следует учитывать наращивание процессов глобализации и кооперации в научно-технической сфере, номенклатуры научно-технического оборудования, требующей ускоренного обновления, направлений исследований, по которым намечается или увеличивается разрыв в научно-техническом уровне исследований и разработок развитых стран и стран третьего мира, а также интересов государства, регионов и организаций на краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный периоды при выборе путей и средств решения выявленных проблем научно-технического и технологического развития;

• совершенствовать качественную сторону прогноза[24] исходя не только из дисциплинарной структуры того или иного направления научных исследований, но с учетом проблемной структуры развития направлений научных исследований. Прогнозировать тематическое развитие отдельных направлений научных исследований следует с учетом сбалансированности результатов прогноза с действующими программами и мегапроектами; особенностей развития смежных научных областей; потребностей в результатах фундаментальных исследований, предопределенных вызовами общественному развитию[25]; а также того, что многие научные достижения будут представлять собою синтез цифрового и материального;

• оценить темпы изменения отдельных направлений научных исследований и их влияние на изменения структуры мировой экономики, изменение мировой политической конъюнктуры, изменение социально-экономического положения страны в мире. При этом важно проводить анализ социального контекста полученных научных достижений, его социального отражения, учитывать возможные изменения социально-ценностных аспектов общественной системы под влиянием научно-технического прогресса, усиливать значимость научно-технической и технологической составляющих в прогнозе социально-экономического развития страны при расширении временных горизонтов долгосрочного прогнозирования;

• обеспечить активное участие лиц, принимающих решения, в процессе: обсуждения альтернативных сценариев социально-экономического, научно-технического и инновационного развития зарубежных стран, которые лидируют по анализируемому направлению прогноза; анализа необходимых для разработки прогноза данных; обсуждения ожидаемых результатов прогноза;

• придать мониторингу, анализу и независимой экспертизе результатов прогноза определяющее значение при обосновании и выборе вариантов и приоритетов научно-технического, научно-технологического и социально-экономического развития страны;

• провести адекватную финансовую[26], организационно-методическую и информационную поддержку и актуализацию прогнозов[27] по трем сегментам его формирования (научные области, в которых российские исследования находятся на мировом или выше мирового уровня; научные области, которые есть только у России и нужны только ей; научные области, в которых Россия отстала от ведущих стран мира, но которые необходимо, как минимум, отслеживать, чтобы хотя бы понимать, как развивается мировая наука), оценить последствия и риски отставания России.

---

[24] Разработка качественного прогноза подразумевает: определение долгосрочных тенденций развития фундаментальной науки в академическом секторе и в вузах; выбор приоритетных направлений фундаментальных научных исследований с учетом сложившихся закономерностей научно-технического развития в стране и мире; наличие мер государственной поддержки науки, интеграции ее результатов в различные сектора экономики.

[25] Ожидается, что долгосрочные прогнозы описывают изменения во многих областях научных исследований, в том числе радикальные, которые могут привести к новациям в реальном секторе экономики. При этом не следует упускать из виду снижение важности традиционно сильных направлений исследований и возможную смену приоритетов мировой науки. Радикальность некоторых прогнозных заключений является, как правило, неотъемлемой частью качественных и адекватных современных прогнозов. В целях повышения качества содержательной стороны прогноза целесообразно анализировать отражения в них социального эффекта от каждого научного достижения. В связи с этим значение гуманитарных наук, призванных учитывать влияние внешней среды на достижения науки и ее влияние на развитие этой среды, может возрасти. Наука должна быть встроена в общественную систему с учетом нового этапа ее развития.

[26] На первом этапе финансирование прогнозных работ осуществляется за счет средств федерального бюджета, с возможным привлечением средств различных государственных структур и внебюджетных фондов. На последующих этапах круг организаций, финансирующих подготовку прогноза, следует расширить, при этом доля привлекаемых внебюджетных источников финансирования должна увеличиться.

[27] Наука по возможности обеспечивает работу кластерной (сетевой) модели организации труда ученых и вырабатывает у всех участников инновационной деятельности умение видеть общую стратегию развития.

5. ОБ ИНФОРМАЦИОННОМ СОПРОВОЖДЕНИИ ПРОГНОЗА

Для построения долгосрочных прогнозов и формирования программ научно-технологического развития особенно важными становятся решения проблемы *формирования достоверной информационной базы*, полученной в том числе по результатам анализа выше перечисленных источников (Биктимиров и др., 2015). В настоящее время информационная база чрезвычайно скудна, данные по государственным расходам на исследования и разработки разбиты по отдельным кодам бюджетной классификации у различных министерств и ведомств. Для их комплексного анализа только на федеральном уровне необходимо проводить серьезную аналитическую работу.

В целях повышения качества анализируемой информации в процессе разработки стратегических документов в научно-технической сфере Министерство образования и науки (Министерство науки и высшего образования) РФ запустило в 2013 г. проект организации информационной системы "*Карта российской науки*". Задача данного проекта состояла в оптимизации сбора информации о научной деятельности в стране. Согласно заявлению Совета по науке при Минобрнауки России от 31 января 2017 г. по итогам четырехлетнего опыта эксплуатации разработанного инструмента было установлено его неудовлетворительное качество работы. Совет призвал Минобрнауки России не использовать "*Карту российской науки*" для каких-либо целей, а применять при решении тех или иных задач перечень общепринятых баз данных по различным областям научно-технической деятельности[28].

В процессе формирования прогноза по каждому анализируемому научному направлению исследований в итоге требуется найти ответы на ряд вопросов, в том числе, по каким темам исследований можно получить наиболее значимые результаты как для страны в целом, так и для развития собственно науки. Важно понять, в каких областях научных исследований ожидаемые результаты могут быть востребованы в первую очередь; в каких из существующих или будущих технологий могут быть использованы ожидаемые результаты; какие ресурсы нужны для достижения ожидаемых результатов; есть ли реальная возможность получить требуемые ресурсы и в какие сроки. Ответить на перечисленные вопросы, естественно, могут *только эксперты*, имеющие представление не только о развитии анализируемого направления фундаментальной науки, но и о государственном управлении наукой, возможном взаимном влиянии ее достижений в разных областях деятельности, а также о том, какие из вероятных достижений могут максимально противостоять вызовам, стоящим перед Россией.

Сопоставление ответов различных экспертов на подобные вопросы позволит им решить, какие исследования целесообразно поддержать именно сейчас, чтобы иметь возможность воспользоваться их результатами в недалеком будущем. К работе экспертов в области долгосрочного прогнозирования развития фундаментальной науки в целом вполне может относиться следующая характеристика: "Чтобы иметь возможность оценить различные точки зрения и выработать собственную позицию, необходимо учитывать аксиоматику науки как таковой, то есть четко представлять себе, что собой представляет любая наука и каково ее отношение к изучаемой ею действительности" (Князев, 2016).

На обработке информации, полученной в результате опроса высококвалифицированных специалистов-экспертов, основаны интуитивные методы прогнозирования и принятия решений (Сидельников, Минаев, 2017; Макоско, Абросимов, 2018; Рассел, Норвиг, 2006; Душкин, 2018). Наиболее распространенным в практике прогнозных исследований является *метод коллективных экспертных оценок* с применением анкетных опросов (Сидельников, Минаев, 2017; Соколов, 2007; Макоско, Абросимов, 2018; Плетнёв, Лазаренко, 2003; Литвак, 1996). Весьма эффективным при долгосрочных прогнозах становится проведение коллективных экспертиз, продуманных в финансовом плане и поддержанных информационно-коммуникационными технологиями, методами обучения глубинных нейронных сетей и слабого искусственного интеллекта (Макоско, Абросимов, 2018; Душкин, 2018; Marcus, 2017).

[28] См. материалы Сайта Совета по науке при Министерстве образования и науки РФ. — URL: http://sovet-po-nauke.ru/info/31012017-declaration_goszadanie.

Сложившаяся в России процедура формирования долгосрочного прогноза тематики фундаментальных исследований основана на анализе, актуализации и дополнении аналогичных прогнозов передовых стран, признанных международным научным сообществом; на использовании мнений и оценок ведущих ученых в сочетании с определением целевых установок фундаментальных научных исследований; проведении предварительной экспертизы тем и проектов научных исследований и их конкурсном отборе. Синтез перечисленных элементов процедуры формирования долгосрочного прогноза тематики фундаментальных исследований позволяет включать в формируемые прогнозы и долгосрочные программы исследований наиболее перспективные проекты, в основе которых лежат передовые научные достижения и которые одновременно имеют серьезный потенциал для практического применения. Вместе с тем в реализации отдельных элементов этой системы существуют и недостатки, причем они усиливают друг друга и снижают эффективность всей системы прогнозирования. Многие из них являются результатом общих проблем научно-технологической сферы. Так, например, при отсутствии спроса на результаты научных исследований со стороны бизнеса научное сообщество часто предлагает устаревшие решения, игнорируя мировые тенденции технологического развития. Ситуация в научно-технологическом прогнозировании усугубляется еще и тем, что у нас в стране, по выражению А. Кудрина, "отсутствует механизм оперативного изменения стратегических документов верхнего уровня, хотя в быстроменяющемся современном мире умение адаптироваться к новым условиям является критически важным" (Кудрин, 2016). Пример тому — "*Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года*", утвержденная Правительством РФ в декабре 2011 г. и де-юре действующая до сих пор параллельно со "*Стратегией научно-технологического развития*".

Переход на научно-технологический путь развития по достаточно широкому спектру отраслевых задач, а следовательно, и технологий, невозможен без поддержания и постоянного наращивания научного задела в самом широком диапазоне. Поэтому долгосрочное прогнозирование развития российской фундаментальной науки представляет собой задачу исключительной важности, так как только развитая в качественном отношении научно-интеллектуальная среда формирует высокий инновационный потенциал, на базе которого затем могут возникать отечественные технологические прорывы. Становление и развитие национальной инновационной системы не только само по себе стимулирует вовлечение фундаментальной науки в инновационные процессы, но и создает все более разветвленную сеть каналов, по которым научные результаты трансформируются в эффективные инновации (Миндели, Остапюк, Фетисов, 2018).

В заключение отметим, что от разработки долгосрочного тематического развития фундаментальных научных исследований до реальной действенной его реализации — дистанция немалая. И нам еще предстоит ее пройти. Причем пройти в условиях весьма большой неопределенности, чреватой самыми разными проблемами и рисками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белоусов Д.Р., Фролов И.Э. (2008). Долгосрочный научно-технологический прогноз // *Форсайт*. № 3. С. 54–66.

Биктимиров М.Р., Глебский В.Л., Долгов Б.В., Поликарпов С.А. (2015). Использование информационных технологий и инфраструктур для агрегации научной информации. Опыт Канады, Нидерландов, Германии // *Моделирование и анализ информационных систем*. Т. 22. № 1. С. 114–126.

Душкин Р.В. (2018). Почему за гибридными ИИ-системами будущее // *Экономические стратегии*. № 6 (156). С. 84–93.

Зубова Л.Г., Миндели Л.Э., Мотова М.А., Остапюк С.Ф., Старостин С.П. (2004). Методические аспекты разработки прогноза научно-технологического развития на долгосрочную перспективу // *Информационный бюллетень*. № 6. С. 31–74. М.: ЦИСН.

Иванов В.В. (2012). Стратегические направления модернизации: инновации, наука, образование. М.: Наука.

Иванова Н.И. (отв. ред.). Отраслевые инструменты инновационной политики (2016). М.: ИМЭМО РАН.

Князев Ю. (2016). О роли экономики в жизни общества и значении науки в экономическом развитии // *Общество и экономика*. № 3. С. 16.

Кудрин А. (2016). Стратегические уроки. [Электронный ресурс] // Полит.Ру. 27 декабря. Режим доступа: http://polit.ru/article/2016/12/27/lessons/, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: декабрь 2018 г.).

Литвак Б.Г. (1996). Экспертные оценки и принятие решений. М.: Патент.

Макоско А.А., Абросимов В.К. (2018). О прогнозировании развития науки как задаче слабого искусственного интеллекта (концептуальный подход) // *Инновации*. № 9 (239). С. 13–19.

Миндели Л., Остапюк С., Фетисов В. (2018). Глобальные тенденции и вызовы, определяющие научно-технологическое развитие России // *Микроэкономика*. № 5. С. 7–14.

Миндели Л., Остапюк С., Черных С. (2017). Долгосрочное прогнозирование развития фундаментальной науки в России: методологические аспекты // *Общество и экономика*. № 10. С. 5–22.

Миндели Л., Черных С. (2014). Фундаментальная наука и экономический рост на основе инновационного развития // *Общество и экономика*. Т. 9. С. 66–70.

Научная и инновационная политика: Россия и Мир, 2011–2012 (2013). Н.И. Иванова, В.В. Иванов (ред.). М.: Наука.

Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. (2002). Активный прогноз. М.: ИПУ РАН.

Остапюк С.Ф. (2007). Государственная система прогнозирования (проблемы, задачи, принципы организации и функционирования). В: Бестужев-Лада И.В., Агеев А.И. и др. “Малая российская энциклопедия прогностики”. М.: Институт экономических стратегий. С. 251–255.

Плетнёв К.И., Лазаренко Н.Е. (2003). Экспертиза в научно-технической сфере: методология и организация. М.: Изд-во РАГС.

Рассел С., Норвиг П. (2006). Искусственный интеллект. Современный подход. М.: Вильямс.

Сидельников Ю.В., Минаев Э.С. (2017). Технология экспертного сценарного прогнозирования. М.: Изд-во МАИ.

Соколов А.В. (2007). Форсайт: взгляд в будущее // *Форсайт*. Т. 1. № 1. С. 8–15.

Marcus G. (2017). Deep Learning: A Critical Appraisal. [Электронный ресурс] // *Cornell University Library*. New York University. Режим доступа: http;//arxiv.org/1801.00631, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: сентябрь 2018 г.).

REFERENCES (with English translation or transliteration)

Belousov D.R., Frolov I.E. (2008). Long-Term Science and Technology. *Forsyth,* 3, 54–66 (in Russian).

Biktimirov M.R., Glebskii V.L., Dolgov B.V., Polikarpov S.A. (2015). Use of Information Technologies and Infrastructures for Scientific Information Aggregation. Experience in Canada, the Netherlands, Germany. *Modeling and Analysis of Information Systems*, 22, 1, 114–126 (in Russian).

Dushkin R.V. (2018). Why hybrid AI Systems of the Future. *Economic Strategy,* 6 (156), 84–93 (in Russian).

Ivanov V.V. (2012). Strategic Directions of Modernization: Innovation, Science, Education. M.: Nauka (in Russian).

Ivanova N.I. (2012). Industry Innovation Policy Tools. Moscow: IMEMO of RAS, 2016 (in Russian).

Knyazev Y. (2016). On the Role of Economics in Society and the Importance of Science in Economic Development. *The Society and Economy,* 3, 16 (in Russian).

Kudrin A. (2016). Strategic lessons. *Polit.ru*. Available at: http://polit.ru/article/2016/12/27/lessons/December 27 (accessed: December 2018, in Russian).

Litvak B.G. (1996). Expert Assessments and Decisions. Moscow: Patent (in Russian).

Makosko A.A., Abrosimov V.K. (2018). Prediction of the Development of Science as a Task the Weak Artificial Intelligence (Conceptual Approach). *Innovation,* 9 (239), 13–19 (in Russian).

Marcus G. (2017). Deep Learning: A Critical Appraisal. *Cornell University Library*. New York University. Available at: http;//arxiv.org/1801.00631 (accessed: December 2018).

Mindeli L., Chernykh S. (2014). Basic Science and Economic Growth on the Basis of Innovative Development. *The Society and Economy*, 9, 66–70 (in Russian).

Mindeli L., Ostapyuk S., Chernykh S. (2017). Long-Term Forecasting of the Development of Fundamental Science in Russia: Methodological Aspects. *The society and economy,* 10, 5–22 (in Russian).

Mindeli L., Ostapyuk S., Fetisov V. (2018). Global Trends and Challenges That Define the Scientific and Technological Development of Russia. *Microeconomics,* 5, 7–14 (in Russian).

Novikov, D.A., Chhartishvili A.G. (2002). Active Forecast. Moscow: IPU RAS (in Russian).

Ostapyuk S.F. (2007). State Forecasting System (Problems, Tasks, Principles of Organization and Operation). In: Bestuzhev-Lada I.V., Ageev A.I. et al. "*Small Russian encyclopedia of foresight activities*" Moscow: Institute of Economic Strategies, 251–255 (in Russian).

Pletnyov K.I., Lazarenko N.E. (2003). Expertise in Scientific and Technical Sphere: Methodology and Organization. Moscow: Publishing House RAGS (in Russian).

Russell S., Norvig P. (2006). Artificial Intelligence. A Modern Approach. Moscow: Williams (in Russian).

Science and Innovation Policy: Russia and the World, 2011–2012 (2013). Ivanova N.I., Ivanov V.V. (eds). Moscow: Nauka (in Russian).

Sidelnikov U.V., Minaev E.S. (2017). Technology Expert scenario forecasting. Moscow: MAI (in Russian).

Sokolov A.V. (2007). Forsyth: A Look into the Future. *Forsyth*, 1, 1, 8–15 (in Russian).

Zubova L.G., Mindeli L.E., Motova M.A., Ostapyuk S.F., Starostin S.P. (2004). Methodological Aspects of the Development of Forecasting Scientific and Technological Development over the Long Term. *Newsletter,* 6, 31–74 (in Russian). Moscow: ZISN.

On Long-Term Prediction of Fundamental and Exploratory Research

L.E. Mindeli*, S.F. Ostapyuk, V.P. Fetisov*****

Institute of Development of Science of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

* *E-mail: L. Mindeli @issras.ru* ** *E-mail: S. Ostapyuk@issras.ru*

*** *E-mail: V. Fetisov@ issras.ru*

Received 9.12.2018

A basic precondition for the solution of the ambitious task — Russia entering the club of five largest economies in the worlds, set by the President of the Russian Federation, — is consolidation and joint actions of the participants in the strategic planning, ensuring the development of socio-economic and scientific-technological spheres of activity. The original threshold document determining the prospects for their development is the prediction of socio-economic and scientific-technological development, forecast of the progress in science, including the basic research. Prediction of fundamental and exploratory research (pilot-study) is the responsibility of the Russian Academy of Sciences. However, as evidenced by the analysis, forecasting procedure of these activities, in contrast to the socio-economic and scientific-technological development, is not legally regulated. Ways to eliminate this gap is the subject of the study. The work outlines the subject and steps in the procedure of long-term forecasting in the scientific and technical spheres. The analysis of normative and legal basis of the formation of aggregated long-term forecast models for fundamental and exploratory research defined terms and stages of such rules' development for aggregate models, formulated the methodological features and requirements of these regulations, as well as the proposals for the development of its expertise tools and information support. The study laid the basis for preparing and taking the government decision on regulation of predicting fundamental and exploratory research providing RAS with the responsible status on predicting fundamental and pilot-studies. It is emphasized that the procedure and the development model specified matches the national forecasting model, certain decisions of the Government of the Russian Federation on the procedure of forecasting the socio-economic, scientific and technological development. At the same time, the model considers the differences in forecasting problems of development of fundamental and applied scientific types of research.

Keywords: fundamental and pilot-study, socio-economic and scientific-technological development, procedure and model of long-term forecasting, strategic planning, legislation, methodological and information provision, institute and rules of regulations.

JEL Classification: E17, B4, I23.

DOI: 10.31857/S042473880004047-0

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, 2019, том 55, № 1, с. 68–84

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Краткосрочное прогнозирование цены электроэнергии на российском рынке с использованием класса моделей SCARX

© 2019 г. Д.О. Афанасьев[i,*], Е.А. Федорова[ii,**]

[i] Аспирант департамента анализа данных, принятия решений и финансовых технологий, Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва

[ii] Финансовый университет при Правительстве РФ, НИУ ВШЭ, Москва

* E-mail: dmafanasyev@gmail.com ** E-mail: ecolena@mail.ru

Поступила в редакцию 17.09.2017 г.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-06-00237а).

В данном исследовании для двух ценовых зон российского оптового рынка электроэнергии выполнена апробация класса прогнозных моделей авторегрессии с сезонной компонентой и экзогенными факторами SCARX, включающей экстраполяцию долгосрочной тренд-сезонной компоненты и отдельное прогнозирование краткосрочной сезонно-стохастической составляющей. Для заданного широкого набора параметров сглаживания временных рядов цен проведено сравнение моделей SCARX на базе вейвлет-разложения (SCARX-W) и фильтра Ходрика — Прескотта (SCARX-HP) с обычной авторегрессионной моделью ARX и "наивным" подходом (основанным на предположении равенства цен в идентичные дни недели). Оценка эффективности рассматриваемых моделей проводилась с использованием средневзвешенных недельных и дневных ошибок, а также формальной статистической процедуры сравнения прогностических способностей моделей — теста Диболда–Мариано (*DM*). Численный эксперимент был выполнен на исторических данных о цене и плановом потреблении в зонах Европа — Урал и Сибирь российской электроэнергетической биржи. Тестовый период составил 104 недели, или 728 дней. В результате проведенного исследования показано, что на российском рынке модель SCARX-W позволяет получить более высокую точность прогноза по сравнению с SCARX-HP и ARX. При этом минимальная недельная ошибка, которую удалось достичь для ценовой зоны Европа–Урал, составила 4,932%, дневная ошибка — 4,997%. Для зоны Сибирь аналогичные показатели равны 9,144 и 10,051% соответственно. Эти же результаты подтверждаются формальным DM-тестом, выполненным отдельно для каждого часа суток. Для преодоления проблемы априорного выбора параметров сглаживания в работе предложено использовать различные методы комбинирования прогнозов.

Ключевые слова: прогнозирование цены электроэнергии, авторегрессия с сезонной компонентой, вейвлет-сглаживание, фильтр Ходрика–Прескотта, тест Диболда–Мариано.

Классификация JEL: C22, C53, L94, Q47.

DOI: 10.31857/S042473880003318-8

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние 25–30 лет прогнозирование цены электроэнергии, которая формируется на оптовом рынке, стало одной из наиболее актуальных и вместе с тем достаточно сложных задач, решаемых в рамках операционной деятельности генерирующих компаний и крупных потребителей (Eydeland, Wolyniec, 2012; Weron, 2014). Причиной этому послужил глобальный мировой тренд дерегулирования сектора электроэнергетики, который в первом десятилетии XX в. затронул и Россию. Планирование деятельности энергокомпаний в рыночных условиях ценообразования существенно усложнилось, а принимаемые финансовыми службами решения привели к более существенным последствиям (Carmon, Coulon, 2014).

В чем сложность прогнозирования цены электроэнергии? Прежде всего в особенностях свойств этого продукта, которые приводят к существенным отличиям динамики рынка электроэнергии от других товарных рынков. Для нее характерны (Casazza, Delea, 2003; Janczura et al., 2013; Carmon,

Coulon, 2014): невозможность формирования запасов, совпадение моментов производства и потребления, высокая волатильность цены, наличие выбросов в ценах, краткосрочная неэластичность спроса по цене, тенденция возврата цены к среднему значению, использование поставщиками различных технологий генерирования электроэнергии с существенно отличающимися размерами предельных издержек.

Учитывая актуальность обсуждаемой проблемы, неудивительно, что за последние 15–20 лет было предложено много различных математических инструментов и моделей для формирования прогноза. Одной из наиболее динамически развивающихся здесь областей является краткосрочное прогнозирование, которое ставит задачу сформировать понимание динамики цены на ближайшие 24 часа для так называемого *рынка* "*на сутки вперед*" (РСВ). Комплексный обзор последних достижений в этом направлении можно найти в работе (Weron, 2014). В ней же автор отмечает один из существенных пробелов в имеющейся на текущий момент литературе: мало внимания уделяется вопросам моделирования и прогнозирования долгосрочной тренд-сезонной компоненты в динамике цены на электроэнергию, особенно в контексте построения краткосрочного прогноза.

Действительно, с одной стороны, интуитивно понятно, что при работе с горизонтом в 24 часа важнее всего учитывать краткосрочную дневную и недельную сезонные компоненты, в то время как трендовой составляющей можно пренебречь, заменив ее на простое среднее за период от одного года и более в прошлом. С другой стороны, есть ли формальные или эмпирические данные для подтверждения таких рассуждений? В работе (Nowotarski, Weron, 2016) задаются этим вопросом и сравнивают предложенную ими модель SCARX (Seasonal Component AutoRegressive — авторегрессия с сезонной компонентой и экзогенными факторами) — комбинацию экстраполяции оценочной тренд-сезонной составляющей на базе модели случайного блуждания и прогноза остатка, полученного с помощью авторегрессии, — с традиционной моделью ARX. Авторы приходят к выводу, что учет долгосрочной компоненты, а также правильный выбор метода и параметров для ее оценки ведут к существенному повышению точности получаемых прогнозов.

Особенностью прогнозирования цены электроэнергии на РСВ России является относительная скромность числа академических исследований на данную тематику. В то же время на рынке существует ряд компаний, которые готовы оказывать информационно-консультационные услуги по формированию прогнозов цены, но при этом ожидаемо не раскрывают детали используемых алгоритмов и моделей. Среди них можно упомянуть компании "StatSoft Russia" (система "Energy–Forecast: Цены")[1], ООО "Форексис" (система "Energy4Cast")[2], ООО "ЭНКОСТ"[3] и пр. Исключение здесь составляет методология прогнозирования Математического бюро[4]. Его информация на официальном сайте этой компании основывается на публично доступной диссертационной работе одного из ее организаторов (Чучуева, 2012).

Учитывая вышесказанное, целью данного исследования является апробация и проверка оправданности применения предложенного (Nowotarski, Weron, 2016) класса моделей SCARX на российском рынке на сутки вперед. Его результаты не только расширят число общедоступных подходов к прогнозированию цены электроэнергии на рынке России, но и позволят более детально верифицировать результаты, полученные ранее упомянутыми исследователями. Для достижения указанной цели в работе решается ряд задач. Во-первых, выбираются бенчмарк-модели, с которыми будет выполняться сравнение точности прогноза SCARX ("наивная" модель (Nogales et al., 2002) и экономичная ARX-спецификация (Misiorek et al., 2006)). Во-вторых, кратко рассматривается математический формализм класса моделей SCARX и методов оценки долгосрочной тренд-циклической компоненты, применяемых в рамках SCARX. В-третьих, обосновывается выбор базовых мер ошибки, с помощью которых сравнивается качество полученных прогнозов, а также предлагается использовать формальную процедуру сравнения прогностических способностей — тест (Diebold, Mariano, 1995). В-четвертых, формируются наборы данных о цене электроэнергии на РСВ и про-

[1] http://statsoft.ru/solutions/ready_solutions/energy-forecast-prices.php.

[2] http://www.forecsys.com/ru/site/products/Energy4Cast/.

[3] http://encosts.ru/uslugi_kompanii/prognoz_ceny_elektroenergii.

[4] http://www.mbureau.ru/services/forecasting/saas.

гнозе потребления. Наконец, в-пятых, выполняется эмпирическое сравнение точности SCARX с более простыми — “наивной” и моделями ARX, а также сопоставляется аккуратность прогнозов, получаемых на базе SCARX с различными методами сглаживания временных рядов.

Отметим также еще два важных, на наш взгляд, момента. Во-первых, существует неоднозначное мнение, что модели прогнозирования, разработанные для европейских бирж (в частности Nord Pool), не применимы для российского рынка (Валь, Клепче, 2011). Поэтому апробация SCARX для рынка России позволит верифицировать и это утверждение, которое кажется спорным, как минимум, из-за статистической природы авторегрессионных моделей, которая не зависит от конкретных особенностей рынка. Во-вторых, в отличие от (Nowotarski, Weron 2016), впервые предложивших модель SCARX, мы рассматриваем более широкий набор производных показателей. В частности, кроме средневзвешенной недельной, была рассчитана средневзвешенная дневная ошибка; рассчитывалось число недель (дней), для которых модель SCARX оказалась точнее всех других моделей; число недель (дней), для которых SCARX оказалась точнее “наивной”; число недель (дней), для которых SCRAX оказалась точнее ARX; среднее отклонение от лучшей для каждой недели (дня) модели. Анализ всех этих показателей позволил более детально сравнить рассматриваемые модели и сделать ряд новых выводов, которые не были обозначены ранее в (Nowotarski, Weron 2016).

2. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Модели прогнозирования. Построение модели и прогнозирование цены электроэнергии выполнялось для каждого часа суток отдельно. Такой подход широко распространен в литературе (Weron, 2014) и позволяет упростить модель, исключив слагаемые, характеризующие обычные внутридневные сезонные колебания. Кроме того, в контексте задачи прогнозирования на сутки вперед такой подход позволяет вычислять прогноз не на 24 шага, а только на один, который имеет наиболее узкий доверительный интервал. Наконец, каждая модель позволяет учитывать существенно различную динамику цены в рамках каждого часа суток, что объясняется периодическими дневными колебаниями спроса, различными затратами генерирующих станций и операционными ограничениями.

В качестве бенчмарк-модели мы рассмотрели подход, предложенный в (Nogales et al., 2002; Conejo et al., 2005) и основанный на идентичности внутрисуточных профилей цены электроэнергии для соответствующих дней недели:

$$P_t = \begin{cases} P_{t-168}, & D_t = 1,6,7; \\ P_{t-24}, & D_t = 2,3,4,5, \end{cases}$$

где P_t — цена электроэнергии в момент времени t; D_t — номер дня недели.

Таким образом, если прогноз рассчитывается на понедельник, субботу или воскресенье, то цена полагается равной цене неделю назад. В остальных случаях используется цена вчерашнего дня. Данную модель будем называть “наивная”. В (Nogales et al., 2002) авторы отмечают, что зачастую плохо специфицированная и откалиброванная альтернативная модель оказывается хуже по параметру средней ошибки прогноза, чем “наивная” модель. Поэтому последняя может быть использована как эталонная модель для сравнения аккуратности прогнозирования, т.е. бенчмарка.

В качестве основной модели для построения прогноза цены электроэнергии на сутки вперед мы выбрали авторегрессионную спецификацию, предложенную ранее в (Misiorek et al., 2006) и применявшуюся в ряде недавних работ (см., например, (Maciejowska et al., 2016)):

$$P_t = \alpha_1 P_{t-24} + \alpha_2 P_{t-48} + \alpha_7 P_{t-168} + \alpha_8 PS_t + \beta_1 Z_t + \sum_{i=1,6,7} d_i D_t^i + \varepsilon_t,$$

где P_{t-24}, P_{t-48}, P_{t-168} — авторегрессионные составляющие, учитывающие влияние цен 1, 2 и 7 дней назад; PS_t — ценовой сигнал для участников рынка, который рассчитывается как минимальная цена за предыдущие сутки, т.е. $PS_t = \min_{t-24,t} P_t$, Z_t — прогноз потребления электроэнергии; D_t^i — фиктивные бинарные переменные для понедельника, субботы и воскресенья (i = 1, 6, 7), учитывающие

недельную сезонность цены (уменьшение цены в выходные дни из-за снижения спроса и рост цены в понедельник по сравнению с воскресеньем); ε_t — независимая и идентично распределенная ошибка модели с нулевым средним и конечной дисперсией σ^2, где α_1, α_6, α_7 — коэффициенты модели при соответствующих переменных.

Для стабилизации волатильности временных рядов цен и спроса при оценке параметров модели выполнялось логарифмическое преобразование. Кроме того, из временных рядов цен (для каждого часа суток) и ценовых сигналов предварительно удалялись средние значения. Оценка параметров модели выполнялась с помощью метода наименьших квадратов. Результирующий прогноз вычислялся в виде экспоненты от суммы среднего значения цены данного часа и прогноза, полученного из приведенной выше модели. Для ее обозначения будем далее использовать аббревиатуру ARX (AR — авторегрессия, X — учет, путем включения в модель, экзогенного фактора Z_t, равного прогнозу потребления; в литературе по моделированию добавление в аббревиатуру класса моделей буквы *X* традиционно обозначает дополнительное включение в спецификацию одного и более экзогенных факторов) влияния экзогенного фактора прогноза потребления).

В (Nowotarski, Weron, 2016) показано, что анализ долгосрочной сезонной компоненты при построении прогноза цены на электроэнергию может существенно улучшать качество получаемых результатов. Предлагаемая этими авторами схема далее будет обозначена как SCARX (SC — сезонная компонента) и состоит из следующих шагов.

1. Из временного ряда логарифмированных часовых цен электроэнергии P_t выделяется в аддитивной форме долгосрочная сезонная L_t и краткосрочная сезонная стохастическая S_t компоненты: $P_t = L_t + S_t$.

2. Для краткосрочной сезонной стохастической компоненты S_t для каждого часа суток строится прогноз на одно наблюдение вперед.

3. Для долгосрочной сезонной составляющей L_t строится прогноз на 24 часа вперед.

4. Полученные на шаге 2 и 3 прогнозы складываются для соответствующих часов суток и выполняется обратное логарифмическое преобразование (суть — экспонента), которое и дает финальный прогноз P_t.

Для формирования прогноза S_t предлагается использовать рассмотренную выше ARX-модель. Что касается L_t, то, принимая во внимание, что решается задача краткосрочного прогнозирования на сутки вперед, на таком временном интервале предлагается считать долгосрочную динамику неизменной, а прогнозные значения на 24 точки вперед равными ценам за последние сутки для соответствующих часов. Аналогичный подход был использован ранее в (Lisi, Nan, 2014). Формально используется модель случайного блуждания вида $L_t = L_{t-24} + \nu_t$, $\nu_t \sim N(0, \sigma^2)$.

Основной вопрос, который широко обсуждается в литературе (Hyndman, Athanasopoulos, 2013; Lisi, Nan, 2014; Weron, Zator, 2015), связан с первым шагом данного подхода; он состоит в выборе метода выделения L_t из исходного временного ряда цен. В следующем разделе будут рассмотрены некоторые процедуры, которые были использованы для решения данной задачи.

2.2. Долгосрочная сезонная компонента. Напомним некоторые из наиболее распространенных подходов, которые используются в работах, посвященных исследованию рынков электроэнергии к оценке трендовой составляющей L_t:

• регрессия на полиномы различной степени (De Jong, 2006);

• скользящее среднее (в том числе экспоненциально-взвешенное), или медиана (Nowotarski et al., 2013);

• регрессия на фиктивные переменные для каждого месяца в году (Haldrup et al., 2010);

• разложение Фурье, т.е. декомпозиция на сумму синусоидальных функций различной частоты (De Jong, 2006; Janczura et al., 2013);

• вейвлет-разложение, где в качестве базиса используются различные семейства вейвлетов — локализованных во времени, автомодальных (самоподобных) функций с нулевым средним (Nowotarski et al., 2013; Федорова, Афанасьев, 2015; Weron, Zator, 2015; Afanasyev, Fedorova, 2016);

• фильтр Ходрика–Прескотта (HP) (Hodrick, Prescott, 1997), основанный на решении оптимизационной задачи для заданного параметра сглаживания (Weron, Zator, 2015).

Последние два подхода получили широкое распространение в недавних исследованиях по экономике электроэнергетики благодаря их эффективности, продемонстрированной ранее, а также наличию готовой реализации во многих прикладных программных продуктах. Остановимся на них немного более подробно.

Вейвлет-декомпозиция заключается в разложении исходного временного ряда по ортогональному базису — смещенной и масштабированной версии некоторого вейвлета $\psi(x)$. Для дискретного диадного вейвлет-преобразования (ДВП) декомпозиция может быть записана в виде $\psi_{m,k}(x) = \delta\psi\left(2^{-m}x - k\right)$, где $\psi(x)$ — материнский вейвлет; $\delta = 1\big/\sqrt{2^m}$ — постоянный нормирующий множитель; k — параметр смещения; m — параметр масштаба, увеличение которого на единицу приводит к растяжению вейвлета в два раза.

Исходный временной ряд представляется в виде совокупности последовательных приближений грубой (аппроксимирующей или сглаженной) A_m и уточненной (детализирующей) D_m составляющих с их последующим уточнением методом итерации $P_t = A_m + D_m + D_{m-1} + D_{m-2} + \ldots + D_1$.

При этом базисный вейвлет для аппроксимирующей составляющей A_m называют отцовским, а для детализирующей D_m — материнским. Итерационная процедура быстрого вейвлет-преобразования получила название анализа от тонкого к грубому. На первом шаге для $m = 0$ разложение совпадает с самим сигналом. На втором шаге $m = 1$ сигнал преобразуется к виду $P_t = A_1 + D_1$, где A_1 — сглаженная версия P_t. На третьем шаге $m = 2$ — к виду $P_t = A_1 + D_1 = A_2 + D_2 + D_1$, где A_2 — сглаженная версия P_t, которая имеет больший характерный период изменения, чем A_1. Подобным образом процедура повторяется и далее. Варьируя значения m, можно получать различную степень сглаженности исходного сигнала, которая определяется как 2^m.

Руководствуясь результатами (Nowotarski et al., 2013; Nowotarski, Weron, 2016), в качестве базисного мы использовали вейвлет Добеши с порядком 24. Так как нет однозначного ответа на вопрос, какой уровень сглаживания необходимо использовать для того или иного временного ряда, то мы рассмотрели достаточно широкий диапазон значений $m = 6, \ldots, 13$, что примерно соответствует сглаживанию на масштабах от трех дней ($2^6 = 64$ часа ≈ 3 дня) до одного года ($2^{13} = 8192$ часа ≈ ≈ 341 день ≈ 1 год). Модель прогнозирования, использующую вейвлет-декомпозицию, будем далее обозначать SCARX-W_m.

HP-фильтр был предложен в работе (Hodrick, Prescott, 1997) для решения задачи разделения долгосрочного роста и бизнес-циклов в макроэкономическом контексте, а именно при исследовании динамики показателя ВВП. Данный фильтр не содержит никакой специфики, что позволяет его применять для задач в экономике электроэнергетики (Lisi, Nan, 2014; Weron, Zator, 2015). Оценка L_t для заданного временного ряда цен электроэнергии P_t, $t = 1, \ldots, T$ с помощью HP-фильтра получается решением следующей оптимизационной задачи:

$$\min_{L_t}\left\{\sum_{t=1}^{T}\left(P_t - L_t\right)^2 + \lambda\sum_{t=2}^{T-1}\left(\left(L_{t+1} - L_t\right) - \left(L_t - L_{t-1}\right)\right)^2\right\},$$

где λ — параметр, определяющий степень сглаживания временного ряда: чем больше значение λ, тем более сглаженный ряд L_t получается на выходе HP-фильтра. Следуя (Nowotarski, Weron, 2016), в данной работе мы рассмотрели значения $\lambda = 1\times10^8, 5\times10^8, \ldots, 1\times10^{11}, 5\times10^{11}$. Модель прогнозирования, использующую HP-фильтр, будем далее обозначать SCARX-HP_λ.

2.3. Сравнение моделей прогнозирования. Для получения большого числа прогнозных значений $\hat{P}_t$, на базе которых можно было бы выполнить сравнение моделей, мы применили вневыборочную кросс-валидацию с фиксированным скользящим окном длиной 360 дней, или 8640 часов. На первом шаге модель оценивалась внутри окна, которое берет начало в первом наблюдении, и прогноз рассчитывался на каждый час следующих за последним наблюдением суток. Далее калибровочное окно смещалось на один день вперед (т.е. 24 точки), и процедура повторялась на новом диапазоне точек временного ряда. Тестовый период, на котором прогнозы рассчитывались указанным способом, был выбран достаточно продолжительным и составил 104×7 = 728 дней, т.е. почти два года.

Оценка прогнозной способности каждой модели может быть выполнена путем расчета различных показателей ошибки прогнозирования. Наиболее широко распространенными являются такие меры, как средняя абсолютная ошибка (*MAE*)[5], средняя относительная ошибка (*MAPE*) и среднеквадратичная ошибка (*MSE*) (Weron, 2014). Однако в литературе о рынках электроэнергии зачастую применяются средневзвешенные дневные (*DMAE*) и средневзвешенные недельные (*WMAE*) абсолютные ошибки:

$$DMAE = \frac{MAE_{24}}{\bar{P}_{24}} = \frac{1}{24\bar{P}_{24}} \sum_{t=1}^{24} \left| P_t - \hat{P}_t \right| = \sum_{t=1}^{24} \frac{1}{\sum_{t=1}^{24} P_t} \left| P_t - \hat{P}_t \right|;$$

$$WMAE = \frac{MAE_{168}}{\bar{P}_{168}} = \frac{1}{168\bar{P}_{168}} \sum_{t=1}^{168} \left| P_t - \hat{P}_t \right| = \sum_{t=1}^{168} \frac{1}{\sum_{t=1}^{168} P_t} \left| P_t - \hat{P}_t \right|,$$

где $\bar{P}_{24} = \sum_{t=1}^{24} P_t / 24$ и $\bar{P}_{168} = \sum_{t=1}^{168} P_t / 168$, а в качестве цен используются данные в исходной, нелогарифмированной шкале. Основное преимущество этих мер заключается в том, что они хорошо интерпретируются и по сути аналогичны средней относительной ошибке, но одновременно — существенно более устойчивы к близким к нулю ценам, которые нередко встречаются на рынках электроэнергии. Кроме того, так как речь идет о краткосрочном прогнозировании, то основной интерес представляет величина ошибки прогноза за относительно короткие промежутки времени — сутки и неделю. Принимая во внимание это обстоятельство, мы в данной работе выполнили сравнение прогностических способностей моделей на базе показателей *DMAE* и *WMAE*.

Использование различных метрик ошибок прогноза, наподобие рассмотренных выше, является на текущий момент наиболее распространенным подходом при сравнении качества моделей прогнозирования. Однако в общем случае при тестировании на различных подвыборках данных получаемые значения для одной и той же модели могут варьировать достаточно сильно. Если же меры ошибки двух моделей отличаются незначительно, то это может быть следствием не реального различия качества, а всего лишь статистической погрешностью. Для формального сравнения (Diebold, Mariano, 1995) предложили процедуру тестирования, которая получила название *DM*-теста. Рассмотрим ее немного подробнее.

Пусть $\hat{P}_t^i$ — прогноз цены по модели $i = 1, 2$ для момента времени t; P_t — фактическая цена в этот же момент; ε_t^i — некоторая мера отличия прогнозного значения от реального. Введем зависящую от ε_t^i функцию потерь каждой модели $L(\varepsilon_t^i) = f(P_t, \hat{P}_t^i)$ и дифференциал потерь $d_t = L(\varepsilon_t^1) - L(\varepsilon_t^2)$. Как показали (Diebold, Mariano, 1995), если выполнена гипотеза $H_0: E(d_t) = 0$ (качество прогноза двух моделей одинаковое), то при условии слабой стационарности временного ряда d_t тестовая *DM*-статистика будет иметь стандартное нормальное распределение:

$$DM = \frac{\bar{d}_t}{\sqrt{(1/T)var(d_t)}} \sim N(0,1),$$

где $\bar{d}_t$ — выборочное среднее дифференциала потерь; $var(d_t)$ — оценка его дисперсии. Вычисление последней отличается для двух ситуаций: прогноз на один шаг вперед и прогноз на два и более шагов. Во втором случае необходимо учитывать тот факт, что ошибки различных моделей коррелированы между собой (как одновременно, так и серийно), а это, в свою очередь, требует корректировать оценки. Однако так как в нашем случае прогнозы рассчитывались для каждого часа отдельно и на один шаг вперед, то в качестве оценки дисперсии дифференциала потерь допустимо использовать обычную выборочную дисперсию (несмещенную версию). При этом важно отметить, что сравнение выполнялось не для прогнозов в целом на сутки вперед, а для каждого часа. Следуя (Nowotarski et al., 2014), была выбрана L_1 как функция потерь, т.е. функция вида $L(\varepsilon_t^i) = \left|\varepsilon_t^i\right| = \left|P_t - \hat{P}_t^i\right|$.

[5] Стоит отметить, что читателя не должно смущать определение “абсолютная ошибка”. Данные показатели представляют собой долю средней абсолютной ошибки в средней цене за соответствующий период, ввиду чего также могут быть интерпретированы как относительные меры и измерены в процентах. В этом смысле они аналогичны средней относительной ошибке.

Используя DM-тест, мы проверили две односторонние гипотезы с уровнем значимости $\alpha = 0{,}05$, или 5%. Первая утверждает, что потери при прогнозе средствами модели 1 меньше, чем модели 2, т.е. $E(d_t) < 0$, что эквивалентно выполнению условия $DM < p_N(100\alpha)$, где p_N — перцентиль стандартного нормального распределения. Смысл второй гипотезы противоположен. Так, вторая гипотеза утверждает, что модель 2 приводит к более качественным прогнозам и меньшим потерям по сравнению с моделью 1, что соответствует ситуации $E(d_t) > 0$, или $DM > p_N(100(1 - \alpha))$.

2.4. Данные. В исследовании мы протестировали рассмотренные выше модели прогнозирования на трех электроэнергетических рынках на сутки вперед: ценовые зоны Европа–Урал (EU) и Сибирь (SI) российской биржи АТС, а также крупнейшей европейской биржи Nord Pool (NP), объединяющей электроэнергетические рынки Норвегии, Швеции, Финляндии, Дании, Эстонии, Латвии и Литвы.

Для российских рынков использовались данные за период с 01.01.2014 по 23.12.2016. Цена электроэнергии была получена на официальном сайте "Системного оператора Единой энергетической системы" (СО ЕЭС), где она публикуется в открытом доступе (показатель "Цена РСВ")[6]. В данных для зоны EU присутствовало 28 пропусков, которые были заменены на цену соответствующего часа предыдущих суток. Аналогично были обработаны 24 пропуска для региона SI. Учитывая, что доля таких замен от общего числа наблюдений (всего 26112 точек) несущественная, подобная предобработка данных, по нашему мнению, не могла существенно повлиять на результаты сравнения. Что касается спроса, то для него мы использовали часовые прогнозные значения потребления, также доступные на сайте СО ЕЭС (показатель "Планируемое потребление")[7].

На рис. 1 и 2 показана динамика показателей для обеих ценовых зон в указанный период. Вертикальная линия разделяет первый калибровочный период (который смещался в процессе кросс-валидации на 24 точки вперед на каждом шаге) и период, на котором осуществлялось тестирование прогностических способностей рассматриваемых моделей.

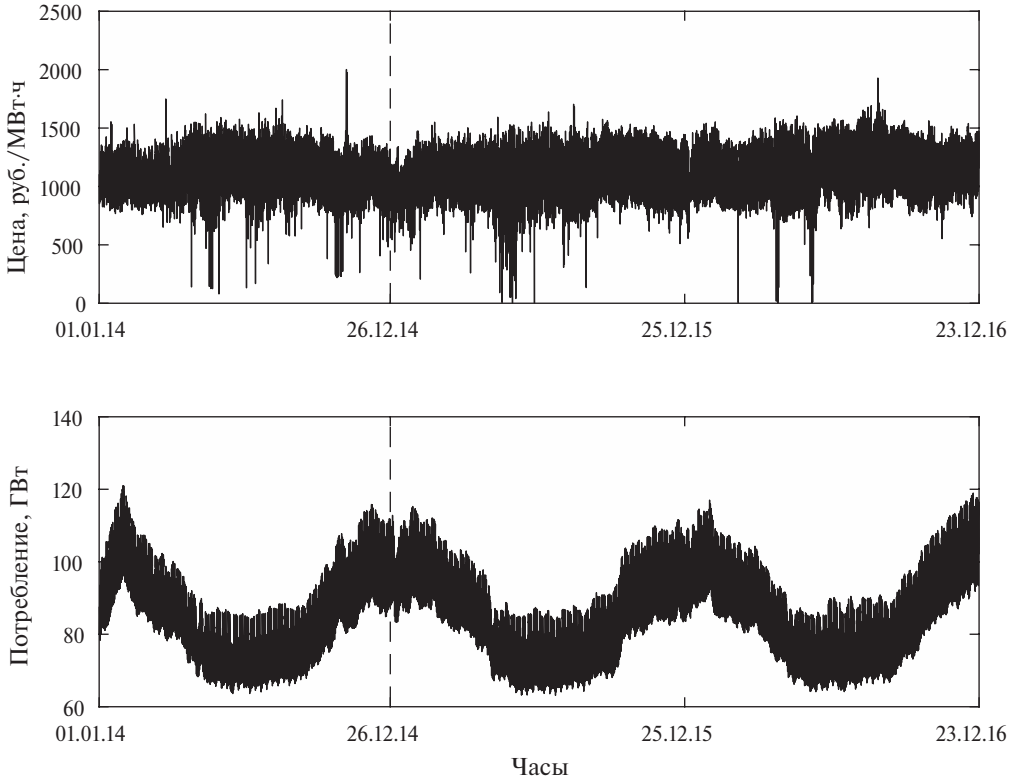


Рис. 1. Цена и плановое потребление электроэнергии для зоны Европа–Урал Российской биржи АТС

[6] См. отчет "Ценовые показатели" (http://br.so-ups.ru/Public/MainPageData/BR/IndicatorBR.aspx).

[7] См. отчет "Генерация и потребление" (http://br.so-ups.ru/Public/MainPageData/BR/GenConsum.aspx).

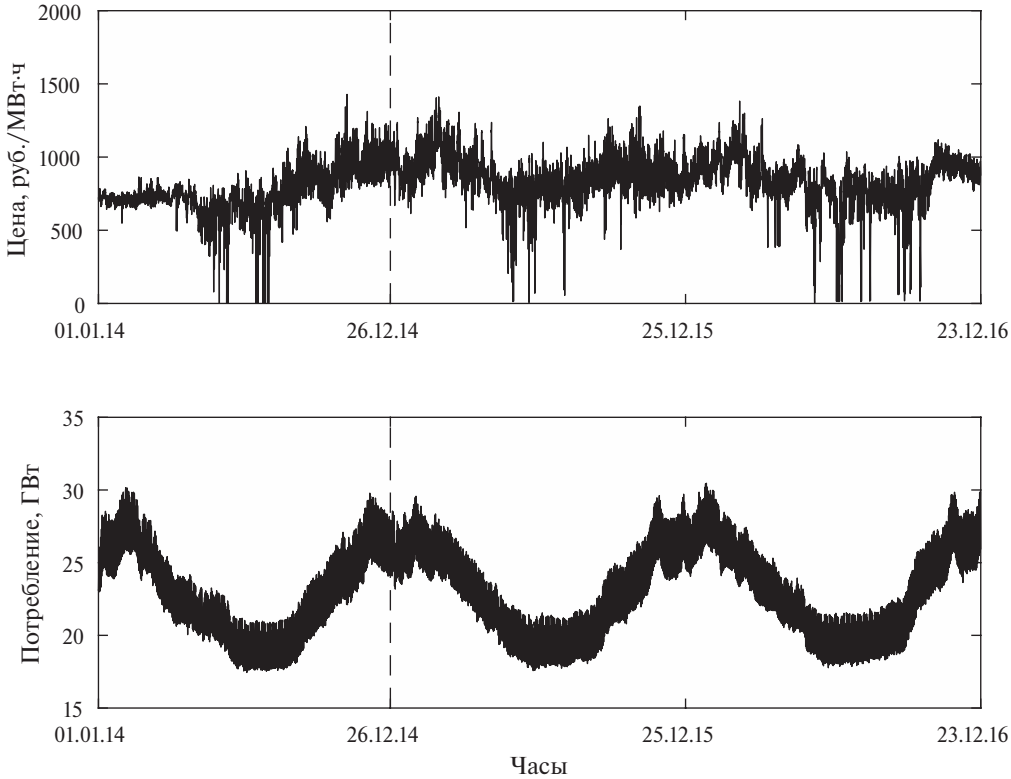


Рис. 2. Цена и плановое потребление электроэнергии для зоны Сибирь Российской биржи АТС

Для европейского рынка Nord Pool были использованы данные за период с 01.01.2013 по 24.12.2015. Данные по часовым системным ценам (показатель "SYS") и прогнозу потребления (сумма показателей "Consumption prognosis" для Норвегии, Швеции, Финляндии и Дании) были получены с официального сайта биржи[8]. На рис. 3 приведены временные ряды показателей в указанный период.

Отметим, что для данного рынка мы протестировали модели на том же периоде, что и (Nowotarski, Weron, 2016). Это дало возможность сопоставить и верифицировать результаты, полученные ранее этими исследователями. В то же время апробация на российских рынках описанного в предыдущем разделе подхода к прогнозированию цены электроэнергии выполняется впервые.

2.5. Результаты. Рассмотрим полученные в рамках эмпирического эксперимента результаты сравнения качества прогнозов, формируемых посредством "наивной", ARX, SCARX-W и SCARX-HP моделей.

Учитывая, что тестовый период был выбран равным 104 неделям (или 728 дням), для каждой модели мы получили соответствующее число значений *WMAE* и *DMAE*. Для дальнейшего анализа на их основе были рассчитаны следующие показатели.

1. $\overline{WMAE}$ ($\overline{DMAE}$) — арифметическое среднее всех значений *WMAE* (*DMAE*), выраженное в процентах (так как отдельное значение представляет собой долю *MAE* в средней цене за период).

2. N_{Best} — число недель (дней), для которых модель оказалась лучшей, т.е. показала минимальное значение *WMAE* (*DMAE*).

3. $N_{<Naive}$ — число недель (дней), для которых модель оказалась лучше, чем "наивная", т.е. показала меньшую *WMAE* (*DMAE*), чем "наивная" модель.

4. $N_{<\mathrm{ARX}}$ — число недель (дней), для которых модель оказалась лучше, чем ARX, т.е. показала меньшую *WMAE* (*DMAE*), чем ARX-модель.

[8] См. отчет "Historical Market Data" (http://nordpoolspot.com/historical-market-data/).

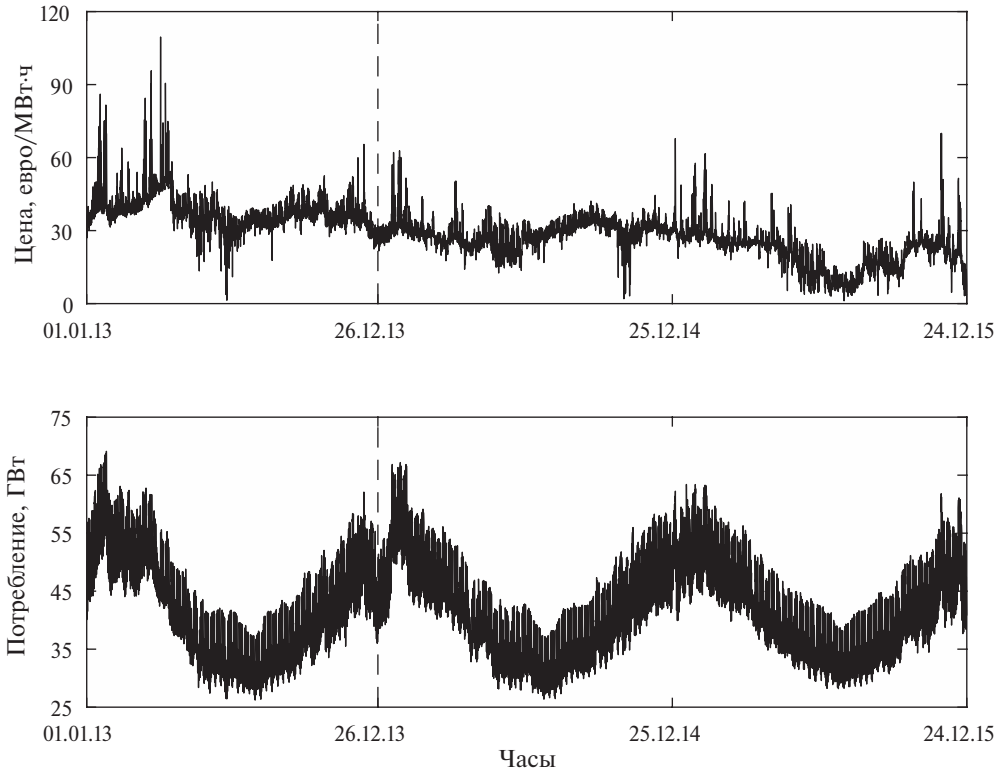


Рис. 3. Цена и плановое потребление электроэнергии Европейской биржи Nord Pool

5. $\overline{MAD}$ — среднее отклонение от лучшей для каждой недели (дня) модели, т.е.

$$\frac{1}{104}\sum_{i=1}^{104}\left(WMAE_i^k - \min_k WMAE_i^k\right)\left(\frac{1}{728}\sum_{i=1}^{728}\left(DMAE_i^k - \min_k DMAE_i^k\right)\right),$$

где i — номер недели (дня), а k — модель прогнозирования.

Полученные результаты сравнения по недельным и дневным метрикам ошибки в целом оказались идентичными, поэтому далее мы подробно рассмотрим только табл. 1, которая содержит показатели на базе *WMAE* (см. таблицу в Приложении). Ее анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. Модель ARX и все варианты SCARX на рынках EU и NP (за исключением SCARX-W_6) оказались лучше "наивной" модели в смысле минимизации ошибки прогноза ($\overline{WMAE}_{EU}^{Naive} = 5{,}796\%$, $\overline{WMAE}_{NP}^{Naive} = 9{,}661\%$). Этот же вывод подтверждается и при сравнении среднего отклонения от лучшей модели в рамках каждой недели $\overline{MAD}$. Также видно, что данные модели демонстрируют более высокую точность, чем "наивный" подход, для более чем половины недель тестового периода: наименьшее значение $N_{<Naive}$ составляет 76 для вейвлет-сглаживания (за исключением SCARX-W_6) и ARX, а также 72 — для HP-фильтра.

Для рынка SI ситуация несколько иная. Здесь модели ARX и все SCARX-W (за исключением SCARX-W_6) оказались также точнее "наивной" ($\overline{WMAE}_{SI}^{Naive} = 9{,}606\%$), в то время как ни одна SCARX-HP-модель не продемонстрировала более высокого качества. При этом число недель $N_{<Naive}$, на которых SCARX-HP оказывались лучше "наивной" модели, также достаточно внушительное (не менее половины, за исключением SCARX-W_6 и SCARX-$HP_{51\times10^{11}}$). Это свидетельствует о том, что, хотя зачастую данный тип моделей и был достаточно точным, в оставшиеся недели ошибка прогноза была большой, что в итоге привело к неудовлетворительным результатам. Стоит отметить, что для метрики *DMAE* модели SCARX-HP все-таки оказались точнее "наивной" и дали единственное расхождение с результатами, полученными на базе *WMAE*.

Таблица 1. Недельные показатели прогностических способностей “наивной”, ARX, SCARX-W и SCARX-HP моделей для трех рынков электроэнергии: ценовые зоны Европа–Урал и Сибирь российской биржи АТС, а также европейская биржа Nord Pool

Модель	АТС Европа—Урал (EU)					АТС Сибирь (SI)					Nord Pool (NP)				
	$\overline{WMAE}$	N_{Best}	$N_{<Naive}$	$N_{<ARX}$	$\overline{MAD}$	$\overline{WMAE}$	N_{Best}	$N_{<Naive}$	$N_{<ARX}$	$\overline{MAD}$	$\overline{WMAE}$	N_{Best}	$N_{<Naive}$	$N_{<ARX}$	$\overline{MAD}$
“Наивная”	5,796	13	—	28	1,164	9,606	33	—	47	1,751	9,661	24	—	43	2,462
ARX	5,099	13	76	—	0,467	9,394	9	57	—	1,539	8,499	10	61	—	1,300
SCARX-W_6	5,475	10	62	40	0,843	9,993	2	47	36	2,137	9,988	8	39	28	2,789
SCARX-W_7	5,262	7	76	43	0,630	9,464	5	52	51	1,608	8,598	16	60	53	1,399
SCARX-W_8	5,104	3	78	54	0,472	**9,144**	4	57	55	**1,288**	**8,389**	5	70	62	**1,190**
SCARX-W_9	**5,042**	0	79	51	**0,410**	**9,267**	3	57	58	**1,411**	**8,309**	5	66	67	**1,110**
SCARX-W_{10}	**4,975**	2	79	58	**0,343**	**9,219**	1	61	56	**1,363**	**8,332**	1	63	66	**1,133**
SCARX-W_{11}	**4,973**	2	79	57	**0,341**	**9,225**	3	56	54	**1,370**	**8,417**	3	62	58	**1,218**
SCARX-W_{12}	**4,963**	7	80	62	**0,331**	**9,410**	11	52	47	**1,555**	**8,452**	2	61	52	**1,253**
SCARX-W_{13}	**4,932**	22	81	62	**0,300**	**9,280**	12	56	57	**1,425**	**8,462**	1	61	48	**1,263**
SCARX-$HP_{1\times10^8}$	5,228	4	72	42	0,596	9,769	3	50	45	1,913	8,664	6	65	55	1,465
SCARX-$HP_{5\times10^8}$	5,205	1	75	43	0,574	9,780	2	52	49	1,925	8,696	2	66	54	1,497
SCARX-$HP_{1\times10^9}$	5,195	1	76	42	0,563	9,735	1	55	48	1,879	8,717	4	64	54	1,518
SCARX-$HP_{5\times10^9}$	5,168	2	77	48	0,536	9,685	4	56	53	1,830	8,758	3	65	52	1,559
SCARX-$HP_{1\times10^{10}}$	5,158	4	78	48	0,527	9,706	2	57	48	1,850	8,765	2	65	53	1,566
SCARX-$HP_{5\times10^{10}}$	5,139	2	75	48	0,507	9,774	3	54	50	1,918	8,764	0	60	50	1,565
SCARX-$HP_{1\times10^{11}}$	5,131	4	72	47	0,500	9,809	1	53	50	1,953	8,756	4	59	49	1,557
SCARX-$HP_{5\times10^{11}}$	5,116	7	73	48	0,484	9,930	5	45	45	2,074	8,727	8	61	49	1,528

Примечание. $\overline{WMAE}$ — усредненная по 104 неделям $WMAE$; приведена в процентах (доля MAE в средней цене за неделю). N_{Best} — число недель, для которых модель оказалась лучшей. $N_{<Naive}$ — число недель, для которых модель лучше “наивной”. $N_{<ARX}$ — число недель, для которых модель лучше, чем ARX. $\overline{MAD}$ — среднее отклонение от лучшей для каждой недели модели. Полужирным выделены $\overline{WMAE}$ и $\overline{MAD}$ для *S*CARX-моделей, которые оказались меньше, чем для ARX-модели. Подчеркиванием отмечены минимальные $\overline{WMAE}$ и $\overline{MAD}$; курсивом выделены $\overline{WMAE}$ и $\overline{MAD}$, значения которых превышают соответствующие показатели для “наивной” модели.

Интересно отметить, что аналогичный по сути вывод можно сделать и для “наивной” модели на рынках SI и NP, если сравнивать ее с результатами, полученными средствами модели ARX. Видно, что число недель $N_{<\mathrm{ARX}}$, когда первая приводит к более точным прогнозам, является достаточно большим: 47 для ценовой зоны Сибирь российского рынка и 43 для Европейской биржи Nord Pool. Но при этом точность прогноза “наивной” модели по-прежнему остается ниже, а следовательно, в оставшиеся недели она показывает существенный уровень ошибки.

2. SCARX-W-модели оказываются в среднем точнее, чем ARX-модели ($\overline{WMAE}_{\mathrm{EU}}^{\mathrm{ARX}} = 5{,}099\%$, $\overline{WMAE}_{\mathrm{SI}}^{\mathrm{ARX}} = 9{,}394\%$, $\overline{WMAE}_{\mathrm{NP}}^{\mathrm{ARX}} = 8{,}499\%$) для большинства значений параметра масштаба m: на рынках EU и SI в 5 из 8 случаев, для биржи NP — в шесть из восьми. Оптимальные значения m находятся преимущественно в диапазоне от 8 до 13, в то время как 6 из 7 на всех биржах показывают результаты хуже, чем ARX-модель. В целом это ожидаемо, так как последние соответствуют сглаживанию на периодах примерно три и шесть дней, что приводит к достаточно волатильной оценке долгосрочной тренд-сезонной составляющей. Кроме того, при таком уровне сглаживания в нее включается краткосрочная сезонная недельная компонента (с характерным периодом в семь дней), которая тем не менее не учитывается при формировании прогноза тренда на базе модели случайного блуждания.

Что касается моделей SCARX-HP, то, как видно из данных, представленных в табл. 1, на всех рынках они оказываются хуже, чем ARX, не зависимо от выбранного значения параметра сглаживания временного ряда. Более того, как было отмечено выше, на рынке SI данный класс моделей не выигрывает даже у простой “наивной” модели. Это позволяет утверждать, что применение HP-фильтра для выделения тренда в контексте краткосрочного прогнозирования цены электроэнергии неоправданно, в то время как вейвлет-декомпозиция зачастую приводит к повышению средней точности прогнозов.

3. Для ценовой зоны Европа–Урал российской биржи АТС лучшие результаты (в смысле минимизации средней ошибки) показала модель SCARX-W_{13}, для которой $\overline{WMAE} = 4{,}932\%$. Данная модель оказалась точнее “наивной” на 0,864% и в течение 81 недели была лучше нее. По сравнению с ARX аккуратность повысилась на 0,167%, а на 62 неделе ARX проигрывала SCARX-W_{13}.

В свою очередь, для зоны Сибирь наиболее точной оказалась модель SCARX-W_8 с ошибкой $\overline{WMAE} = 9{,}144\%$. Уменьшение ошибки прогноза относительно “наивной” и ARX моделей составило 0,462 и 0,250% соответственно. В течение 57 недель SCARX-W_8 была точнее “наивной” модели, и 55 недель — чем ARX.

Наконец, на европейском рынке Nord Pool минимальную ошибку $\overline{WMAE} = 8{,}309\%$ показывает SCARX-W_9. Здесь точность удалось повысить на 1,352% относительно “наивной” модели и на 0,190% — по сравнению с ARX. В течение 66 недель SCARX-W_9 опережала первую и в течение 67 недель — последнюю.

Стоит отметить, что не всегда наиболее точная в среднем модель оказывалась такой же точной чаще других в рамках отдельных недель тестового периода. Так, на рынке EU, где N_{Best} = 22 для самой аккуратной в среднем модели, это наблюдение справедливо, в то время как на SI и NP чаще всего наиболее точной оказывалась “наивная” модель (33 и 24 недели соответственно), а лучшие в среднем модели на отдельных неделях оказывались таковыми только в четырех для SI и пяти для NP случаев. Хотя это выглядит странно, но свидетельствует лишь о том, что другие модели, демонстрируя лучший результат на конкретных неделях, оказываются существенно менее точными на оставшихся периодах.

4. Эмпирические результаты показывают, что наибольшее повышение точности за счет использования моделей типа SCARX удается получить на тех рынках, где тренд выражен более отчетливо. Действительно, визуальный анализ рис. 1–3 показывает, что на бирже EU тренд практически отсутствует, в то время как для SI и NP он прослеживается гораздо более явно. В свою очередь, уменьшение ошибки (для лучшей SCARX-модели) на первой бирже EU оказалось наименьшим (0,167%), в то время как на двух других показало более высокие значения (0,250 и 0,190% соответственно).

По нашему мнению, наиболее существенное повышение точности прогнозов для модели SCARX достигается за счет компромисса между уровнем сглаживания для оценки тренда и волатильностью остатка: с одной стороны, сильное сглаживание приводит к менее вариативному и более прогнозируемому остатку, но с другой — тренд становится недостаточно персистентным, чтобы можно было применять модель случайного блуждания, и включает нерелевантные краткосрочные изменения.

Для формальной проверки результатов сравнения на базе средневзвешенных ошибок мы также выполнили DM-тест на статистически значимое различие качества прогнозов между моделью ARX и лучшей в каждом классе методов сглаживания модели SCARX. Для вейвлет-декомпозиции это — W_{13} на рынке EU, W_8 — на SI и W_9 — на NP. Для HP-фильтра — $HP_{5\times10^{11}}$, $HP_{5\times10^{9}}$ и $HP_{1\times10^{8}}$ соответственно. Как упоминалось ранее, тестирование производилось для каждого часа суток.

На рис. 4 показаны результаты DM-теста для каждого часа суток. Здесь если статистика теста (вертикальная непрерывная линия) превышает верхнее критическое значение (пунктирная линия в положительной области), то качество прогноза SCARX признается статистически лучше на уровне 5%, чем качество прогноза ARX. Если же статистика отрицательная и меньше нижнего критического значения (пунктирная линия в отрицательной области), то точность прогноза SCARX классифицируется как значимо более низкая на уровне 5%.

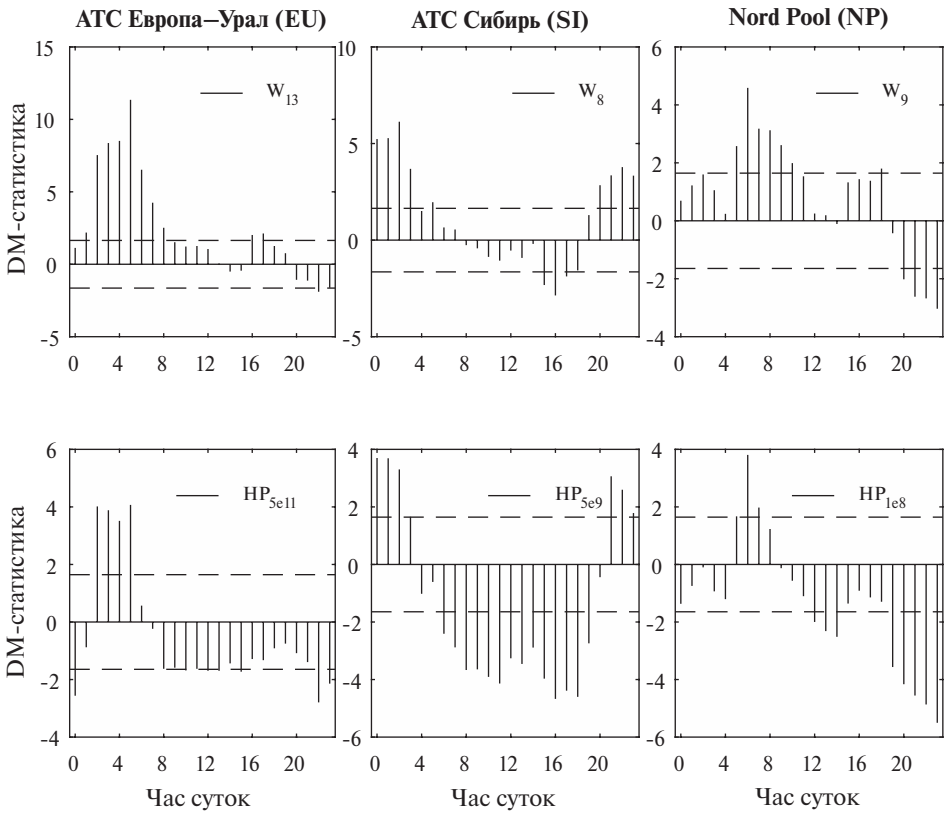


Рис. 4. Результаты DM-теста наиболее точных моделей SCARX-W и SCARX-HP (на каждом из рынков) в сравнении со спецификацией ARX для каждого часа суток

Табл. 2 содержит агрегированные показатели тестирования — число часов, для которых *SCARX* оказалась лучше и хуже ARX, а также их процент от общего числа торговых периодов в сутках. Анализ ее данных позволяет сделать вывод, что DM-тест в целом подтверждает полученные выше результаты сравнения моделей на базе *WMAE*. Во-первых, модель SCARX-W на каждом из рынков достаточно редко оказывается хуже ARX: максимальный процент часов (когда одна модель лучше другой) здесь оказался 17% (4 часа) для рынка NP, в то время как минимальный составляет 4% (1 час) для биржи EU. Во-вторых, SCARX-W опережает ARX по качеству прогноза минимально в 29% случаев (7 часов) на рынке NP, в то время как максимальное значение показателя составляет

42% (10 часов) на бирже EU. В-третьих, SCARX-HP демонстрирует результаты хуже SCARX-W на всех рассмотренных рынках, так как число часов N_{better} для модели на базе HP-фильтра в среднем меньше в 1,6 раза, чем для модели с вейвлет-сглаживанием, в то время как число часов N_{Worse} больше в 4,5 раза.

Таблица 2. Агрегированные результаты DM-тестов наиболее точных моделей SCARX-W и SCARX-HP (на каждом из рынков) против спецификации ARX

Парамент	АТС Европа—Урал (EU)		АТС Сибирь (SI)		Nord Pool (NP)	
	SCARX-W_{13}	SCARX-$HP_{5\times0}{}^{11}$	*SCARX-W_8*	SCARX-$HP_{5\times10}{}^{9}$	*SCARX-W_9*	SCARX-$HP_{1\times10}{}^{8}$
N_{better}	10 (42)	4 (17)	9 (38)	7 (29)	7 (29)	3 (13)
N_{worse}	1 (4)	7 (29)	3 (13)	14 (58)	4 (17)	8 (33)

Примечание. N_{better} — число часов, для которых модель SCARX прогнозирует значимо точнее, чем *ARX*; N_{worse} — число часов, для которых модель SCARX прогнозирует значимо хуже, чем *ARX*. В скобках приведены значения доли (в процентах от числа) торговых периодов в сутках (для исследуемых рынков — 24 часа).

Возвращаясь к вопросу о применении моделей, разработанных для европейских бирж, на российском рынке электроэнергии (Валь, Клепче, 2011), можно сделать вывод, что, как и ожидалось, для рассмотренных в исследовании спецификаций их использование вполне оправдано. Очевидно, что причиной этого является как статистическая природа авторегрессионных моделей, так и принципиальная идентичность стилизованных свойств временных рядов цен в зонах рынка России и биржи Nord Pool.

Наконец, хотелось бы отметить, что период и данные для рынка Nord Pool в нашем исследовании были выбраны такими же, как в работе (Nowotarski, Weron, 2016), где была впервые предложена и апробирована модель SCARX. В целом наши результаты в части *WMAE* совпали с результатами указанных авторов. Однако мы обнаружили одно интересное отличие. Так, если по нашим расчетам усредненная величина *WMAE* для “наивной” модели составила 9,661%, то в первоисточнике она равняется 12,663%. Ввиду этого рост точности моделей ARX и SCARX в соответствии с нашими результатами оказывается меньше на 3%, что в контексте получаемых оценок ошибок является достаточно существенным значением. Однако в любом случае более сложные спецификации моделей оказались точнее, чем “наивная” модель для биржи Nord Pool, как и для российских рынков.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе в контексте задачи краткосрочного прогнозирования цены выполнена апробация для российского оптового рынка электроэнергии (ценовые зоны Европа–Урал и Сибирь) класса моделей SCARX (Seasonal Component AutoRegressive), предложенного (Nowotarski, Weron, 2016). В отличие от более традиционной авторегрессионной спецификации *A*RX, не учитывающей долгосрочные изменения цены, модель SCARX представляет собой комбинацию экстраполяции тренд-сезонной компоненты (с использованием модели случайного блуждания) и прогноза остатка временного ряда (на базе авторегрессионной спецификации (Misiorek et al., 2006)). Для выделения трендовой составляющей использованы вейвлет-сглаживание и HP-фильтр. Проведено сравнение аккуратности прогнозов SCARX с ARX и “наивной” модели. Для этих целей использованы показатели средневзвешенной недельной и дневной ошибок, а также DM-тест.

Показано, что вариант модели SCARX с HP-фильтром приводит к менее точным результатам, чем ARX, в то время как использование вейвлет-сглаживания с корректно подобранным параметром масштаба позволяет повысить аккуратность прогнозов. Наиболее точной моделью для ценовой зоны Европа–Урал оказалась SCARX-W_{13}, показав среднюю недельную ошибку в 4,932% и дневную — в 4,997%. Для зоны Сибирь — модель SCARX-W_8 со средними ошибками 9,144 и 10,051% соответственно. С точки зрения результатов DM-теста, выполненного для каждого часа суток, в первой зоне лучшая модель оказалась статистически значимо более точной, чем ARX для 10 из 24 часов, а хуже — только для одного часа. Во второй зоне эти значения составили девять и три соответственно.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица. Дневные показатели прогностических способностей “наивной”, ARX-, SCARX-W- и SCARX-HP-моделей для трех рынков электроэнергии

Модель	АТС Европа — Урал (EU)					АТС Сибирь (SI)					Nord Pool (NP)				
	$\overline{DMAE}$	N_{Best}	$N_{<Naive}$	$N_{<\mathrm{ARX}}$	$\overline{MAD}$	$\overline{DMAE}$	N_{Best}	$N_{<Naive}$	$N_{<\mathrm{ARX}}$	$\overline{MAD}$	$\overline{DMAE}$	N_{Best}	$N_{<Naive}$	$N_{<\mathrm{ARX}}$	$\overline{MAD}$
“Наивная”	5,860	170	–	312	1,983	11,401	210	–	383	4,567	9,944	184	–	356	4,210
ARX	5,153	77	416	–	1,276	10,370	72	345	–	3,536	8,653	50	372	–	2,920
SCARX-W_6	5,551	79	373	306	1,674	10,821	45	289	320	3,987	*10,154*	83	285	278	*4,421*
SCARX-W_7	5,326	58	383	344	1,449	10,377	47	327	357	3,543	8,729	75	373	378	2,996
SCARX-W_8	5,166	20	390	356	1,289	**10,051**	11	356	377	**3,217**	**8,519**	33	381	379	**2,785**
SCARX-W_9	**5,102**	19	419	375	**1,225**	**10,121**	19	353	386	**3,287**	**8,436**	22	378	395	**2,703**
SCARX-W_{10}	**5,034**	18	418	381	**1,157**	**10,086**	14	364	388	**3,251**	**8,459**	10	387	390	**2,726**
SCARX-W_{11}	**5,029**	23	428	390	**1,152**	**10,093**	14	350	381	**3,259**	**8,547**	22	395	391	**2,814**
SCARX-W_{12}	**5,018**	29	434	393	**1,141**	**10,275**	49	340	350	**3,441**	**8,592**	31	379	365	**2,859**
SCARX-W_{13}	**4,997**	73	445	418	**1,120**	**10,236**	62	358	416	**3,402**	**8,642**	41	377	371	**2,908**
SCARX-$HP_{1\times10^8}$	5,286	39	408	363	1,409	10,612	30	347	354	3,778	8,776	47	374	368	3,043
SCARX-$HP_{5\times10^8}$	5,261	14	412	365	1,384	10,636	18	340	367	3,801	8,811	14	374	352	3,077
SCARX-$HP_{1\times10^9}$	5,250	17	403	356	1,373	10,597	11	340	376	3,763	8,834	29	369	338	3,101
SCARX-$HP_{5\times10^9}$	5,222	15	409	342	1,344	10,557	13	341	371	3,723	8,879	17	369	342	3,146
SCARX-$HP_{1\times10^{10}}$	5,212	18	408	349	1,334	10,579	22	345	367	3,745	8,885	12	368	347	3,152
SCARX-$HP_{5\times10^{10}}$	5,192	7	409	333	1,315	10,649	21	347	354	3,815	8,878	14	366	349	3,145
SCARX-$HP_{1\times10^{11}}$	5,184	13	410	335	1,307	10,683	15	337	349	3,849	8,869	20	367	355	3,136
SCARX-$HP_{5\times10^{11}}$	5,168	39	402	348	1,291	10,797	55	323	336	3,963	8,848	24	369	354	3,114

Примечание. Ценовые зоны: Европа—Урал и Сибирь российской биржи АТС, а также европейская биржа Nord Pool. $\overline{DMAE}$ — усредненная по 728 дням DMAE; приведена в процентах (доля *MAE* в средней цене за день); N_{Best} — число дней, для которых модель оказалась лучшей; $N_{<Naive}$ — число дней, для которых модель лучше, чем “наивная”; $N_{<\mathrm{ARX}}$ — число дней, для которых модель лучше, чем ARX; $\overline{MAD}$ — среднее отклонение от лучшей для каждого дня модели. Полужирным шрифтом выделены $\overline{DMAE}$ и $\overline{MAD}$ для SCARX-моделей, которые оказались меньше, чем для ARX-модели; подчеркиванием — минимальные $\overline{DMAE}$ и $\overline{MAD}$; курсивом — $\overline{DMAE}$ и $\overline{MAD}$, значения которых превышают соответствующие показатели для “наивной” модели.

Несмотря на положительные результаты тестирования модели SCARX на российском рынке электроэнергии, можно обозначить определенные проблемы с необходимостью априорного выбора того метода и уровня сглаживания, который приведет к наилучшим результатам. И даже более того — хотя модели SCARX-W и показали себя в среднем более точными, чем ARX, но в принципе не существует возможности по формальным признакам заранее определить объективную потребность в использовании SCARX (для повышения точности прогнозов относительно ARX) в зависимости от выраженности тренда.

Учитывая это, в будущих исследованиях авторы планируют рассмотреть некоторые распространенные методы комбинирования прогнозов, полученных с помощью различных вариантов SCARX (с различными типами и параметрами сглаживания). Среди них можно выделить простое усреднение, усреднение на базе метода наименьших квадратов (МНК), метод наименьшего абсолютного отклонения, метод МНК с положительными коэффициентами, метод ограниченного МНК (с условием на сумму коэффициентов), байесовское усреднение моделей и усреднение с обратно пропорциональными среднеквадратичной ошибке весами. Как показано в ряде предыдущих работ (см., например, (Nowotarski и др., 2014)), применение подобной техники приводит к уменьшению средней ошибки прогноза. В случае моделей SCARX это также потенциально позволит нивелировать риск априорного выбора параметров сглаживания при оценке тренд-сезонной составляющей цены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Валь П.В., Клепче Н.С. (2011). Краткосрочное прогнозирование цены на электроэнергию в условиях оптового рынка электроэнергии и мощности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/thesis/s9/s9_30.pdf, доступ свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: 09.2017).

Чучуева И.А. (2012). Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия. Кандидатская диссертация. М.: МГТУ им. Баумана.

Федорова Е.А., Афанасьев Д.О. (2015). Исследование взаимосвязи цены и спроса на российском рынке электроэнергии // *Известия РАН. Энергетика*. № 3. С. 3–17.

Afanasyev D., Fedorova E. (2016). The Long-Term Trends on the Electricity Markets: Comparison of Empirical Mode and Wavelet Decompositions // *Energy Economics*. No. 56. P. 432–442.

Carmon R., Coulon M. (2014). A Survey of Commodity Markets and Structural Models for Electricity Prices. In: "*Modeling, Pricing, and Hedging in Energy and Commodity Markets*". New York: Springer.

Casazza J., Delea F. (2003). Understanding Electric Power Systems: An Overview of the Technology and the Marketplace. Hoboken, New Jersey: Wiley.

Conejo A.J., Contreras J., Espinola R., Plazas M.A. (2005). Forecasting Electricity Prices for a Day-Ahead Pool-Based Electric Energy Market // *International Journal of Forecasting*. Vol. 21. No. 3. P. 435–462.

De Jong C. (2006). The Nature of Power Spikes: A Regime-Switch Approach // *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*. Vol. 10. No. 3. P. 35–47.

Diebold F.X., Mariano R.S. (1995). Comparing Predictive Accuracy // *Journal of Business and Economic Statistics*. Vol. 13. P. 253–263.

Eydeland A., Wolyniec K. (2012). Energy and Power Risk Management. Hoboken, New Jersey: Wiley.

Haldrup N., Nielsen F., Nielsen M. (2010). A Vector Autoregressive Model for Electricity Prices Subject to Long Memory and Regime Switching // *Energy Economics*. No. 32. P. 1044–1058.

Hodrick R., Prescott E. (1997). Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation // *Journal of Money, Credit and Banking*. Vol. 29. No. 1. P. 1–16.

Hyndman R., Athanasopoulos G. (2013). Forecasting: Principles and Practice. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://otexts.org/fpp/, доступ свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: 09.2017).

Janczura J., Trück S., Weron R., Wolff R. (2013). Identifying Spikes and Seasonal Components in Electricity Spot Price Data: A Guide to Robust Modeling // *Energy Economics*. No. 38. P. 96–110.

Lisi F., Nan F. (2014). Component Estimation for Electricity Prices: Procedures and Comparisons // *Energy Economics*. No. 44. P. 143–159.

Maciejowska K., Nowotarski J., Weron R. (2016). Probabilistic Forecasting of Electricity Spot Prices Using Factor Quantile Regression Averaging // *International Journal of Forecasting*. Vol. 32. No. 3. P. 957–965.

Maciejowska K., Weron R. (2016). Short- and Mid-Term Forecasting of Baseload Electricity Prices in the UK: The Impact of Intra-Day Price Relationships and Market Fundamentals // *IEEE Transactions on Power Systems*. Vol. 31. No. 2. P. 994–1005.

Misiorek A., Trück S., Weron R. (2006). Point and Interval Forecasting of Spot Electricity Prices: Linear vs. Non-Linear Time Series Models // *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*. Vol. 10. No. 3. P. 57–66.

Nogales F.J., Contreras J., Conejo A.J., Espinola R. (2002). Forecasting Next-Day Electricity Prices by Time Series Models // *IEEE Transactions on Power Systems*. No. 17. P. 342–348.

Nowotarski J., Raviv E., Trück S., Weron R. (2014). An Empirical Comparison of Alternative Schemes for Combining Electricity Spot Price Forecasts // *Energy Economics*. No. 46. P. 342–348.

Nowotarski J., Tomczyk J., Weron R. (2013). Robust Estimation and Forecasting of the Long-Term Seasonal Component of Electricity Spot Prices // *Energy Economics*. No. 39. P. 13–27.

Nowotarski J., Weron R. (2016). On the Importance of the Long-Term Seasonal Component in Day-Ahead Electricity Price Forecasting // *Energy Economics*. No. 57. P. 228–235.

Weron R. (2014). Electricity Price Forecasting: A Review of the State-of-the-Art with a Look into the Future // *International Journal of Forecasting*. No. 30. P. 1030–1081.

Weron R., Zator M. (2015). A Note on Using the Hodrick — Prescott Filter in Electricity Markets // *Energy Economics*. No. 48. P. 1–6.

REFERENCES (with English translation or transliteration)

Afanasyev D., Fedorova E. (2016). The Long-Term Trends on the Electricity Markets: Comparison of Empirical Mode and Wavelet Decompositions. *Energy Economics*, 56, 432–442.

Carmon R., Coulon M. (2014). A Survey of Commodity Markets and Structural Models for Electricity Prices. In: "*Modeling, Pricing, and Hedging in Energy and Commodity Markets*". New York: Springer.

Casazza J., Delea F. (2003). Understanding Electric Power Systems: An Overview of the Technology and the Marketplace. Hoboken: Wiley.

Chuchueva I.A. (2012). The Time Series Forecasting Model with Maximum Likeness Sample. Postgraduate thesis. Moscow: BMSTU.

Conejo A.J., Contreras J., Espinola R., Plazas M.A. (2005). Forecasting Electricity Prices for a Day-Ahead Pool-Based Electric Energy Market. *International Journal of Forecasting*, 21, 3, 435–462.

De Jong C. (2006). The Nature of Power Spikes: A Regime-Switch Approach. *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*, 10, 3, 35–47.

Diebold F.X., Mariano R.S. (1995). Comparing Predictive Accuracy. *Journal of Business and Economic Statistics*, 13, 253–263.

Eydeland A., Wolyniec K. (2012). Energy and Power Risk Management. New Jersey: Wiley.

Fedorova E., Afanasyev D. (2015). Study of the Dynamic Price-Demand Relationship for Russian Electricity Market. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering*, 3, 3–17 (in Russian).

Haldrup N., Nielsen F., Nielsen M. (2010). A Vector Autoregressive Model for Electricity Prices Subject to Long Memory and Regime Switching. *Energy Economics*, 32, 1044–1058.

Hodrick R., Prescott E. (1997). Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation. *Journal of Money, Credit and Banking*, 29, 1, 1–16.

Hyndman R., Athanasopoulos G. (2013). Forecasting: Principles and Practice. Available at: http://otexts.org/fpp (accessed: September 2017).

Janczura J., Trück S., Weron R., Wolff R. (2013). Identifying Spikes and Seasonal Components in Electricity Spot Price Data: A Guide to Robust Modeling. *Energy Economics*, 38, 96–110.

Lisi F., Nan F. (2014). Component Estimation for Electricity Prices: Procedures and Comparisons, *Energy Economics*, 44, 143–159.

Maciejowska K., Nowotarski J., Weron R. (2016). Probabilistic Forecasting of Electricity Spot Prices Using Factor Quantile Regression Averaging. *International Journal of Forecasting*, 32, 3, 957–965.

Maciejowska K., Weron R. (2016). Short- and Mid-Term Forecasting of Baseload Electricity Prices in the UK: The Impact of Intra-Day Price Relationships and Market Fundamentals. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31, 2, 994–1005.

Misiorek A., Trück S., Weron R. (2006). Point and Interval Forecasting of Spot Electricity Prices: Linear vs. Non-Linear Time Series Models. *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*, 10, 3, 57–66.

Nogales F.J., Contreras J., Conejo A.J., Espinola R. (2002). Forecasting Next-Day Electricity Prices by Time Series Models. *IEEE Transactions on Power Systems*, 17, 342–348.

Nowotarski J., Raviv E., Trück S., Weron R. (2014). An Empirical Comparison of Alternative Schemes for Combining Electricity Spot Price Forecasts. *Energy Economics*, 46, 342–348.

Nowotarski J., Tomczyk J., Weron R. (2013). Robust Estimation and Forecasting of the Long-Term Seasonal Component of Electricity Spot Prices. *Energy Economics*, 39, 13–27.

Nowotarski J., Weron R. (2016). On the Importance of the Long-Term Seasonal Component in Day-Ahead Electricity Price Forecasting. *Energy Economics*, 57, 228–235.

Val' P.V., Klepche N.S. (2011). Short-Term Electricity Prices Forecasting under Conditions of the Wholesale Electricity and Capacity Market. Available at: http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/thesis/s9/s9_30.pdf (accessed: September 2017, in Russian).

Weron R. (2014). Electricity Price Forecasting: A Review of the State-of-the-Art with a Look into the Future. *International Journal of Forecasting*, 30, 1030–1081.

Weron R., Zator M. (2015). A Note on Using the Hodrick — Prescott Filter in Electricity Markets. *Energy Economics*, 48, 1–6.

A Short-Term Electricity Price Forecasting on the Russian Market Using the SCARX Models Class

D.O. Afanasyev[i,*], E.A. Fedorova[ii,]**

[i] *Postgraduate student of the Data Analysis, Decision Making and Financial Technologies Department; Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia*

[ii] *Financial Management Department Financial University under the Government of the Russian Federation; Finance Department — Higher School of Economics, Moscow, Russia*

** E-mail: dmafanasyev@gmail.com ** E-mail: ecolena@mail.ru*

Received 17.09.2017

The presented study was funded by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) within research project No. 16-06-00237A.

This research is focused on the approbation of Seasonal Component AutoRegressive with exogenous factors (SCARX) forecasting models class on two price area of the Russian electricity market. The SCARX model consists of extrapolation of long-term trend-seasonal component and independent forecasting of short-term seasonal-stochastic component of electricity price. The SCARX based on wavelet decomposition (SCARX-W) and Hodrick–Prescott filter (SCARX-HP) for the wide range of time-series smoothing parameters are compared with the usual autoregression model ARX and naïve approach (based on assumption of the price similarity in the same weekday). The performance evaluation was carried out using weighted weekly and daily mean absolute errors, as well as the formal statistical procedure of the prediction ability comparison — Diebold–Mariano test (DM-test). The historical data of price and planed consumption in the Europe–Ural and Siberia price areas of the Russian electricity exchange were used for the numerical experiment, while testing period is 104 week or 728 days long. The study shows that in the Russian markets SCARX-W model exhibits more accurate forecast compare to SCARX-HP and ARX. The minimal weekly error achieved on Europe–Ural price area is 4,932%, daily error — 4,997%. The same indicators for Siberia price area are 9,144% and 10,051%, correspondingly. The same results are proved by the formal DM-test carried for each hour in trading day. In order to overcome the problem of a priori selection of smoothing parameters, it is proposed to use various methods of forecast combinations.

Keywords: electricity price forecasting, seasonal component autoregressive, wavelet-smoothng, Hodrick–Prescott filter, Diebold–Mariano test.

JEL Classification: C22, C53, L94, Q47.

DOI: 10.31857/S042473880003318-8

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, 2019, том 55, № 1, с. 85–100

ПРОБЛЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Система моделей горизонтального согласования плановых решений различными подразделениями компании

© 2019 г. В.И. Данилин

ЦЭМИ РАН, Москва

E-mail: danilinvi@mail.ru

Поступила в редакцию 19 октября 2018 г.

В разработке бизнес-плана принимают участие практически все подразделения компании, такие как отдел снабжения, производственный отдел или планово-экономический отдел, финансовый отдел, отдел сбыта и другие. Каждое подразделение разрабатывает свой раздел плана, исходя из своих специфических целей, которые не всегда совпадают с целями компании в целом. В связи с этим возникает проблема согласования этих решений с целями компании. Существуют разные подходы к решению проблемы согласования. Например вертикальное согласование, когда подразделения детально прорабатывают свои решения и в агрегированном виде передают их в дирекцию, где на этой основе принимается окончательный вариант плана компании и результаты передаются на уровень подразделений для доработки. В данной статье основное внимание уделяется разработке системы моделей горизонтального согласования плановых решений между подразделениями. Для решения этой проблемы предложена методология последовательности принятия решений подразделениями в виде итерационной процедуры на основе системы моделей. Система состоит из модели плана производства с учетом расширения мощностей, модели финансового плана (план прибыли и убытков, плановый баланс и план движения денежных средств), модели плана сбыта продукции компании и модели плана снабжения с учетом обратных связей между моделями. На примере показано, что через некоторое количество итераций подразделения получают согласованное плановое решение, соответствующее целям компании в целом.

Ключевые слова: функциональные подразделения, производственный и финансовый отделы, отдел снабжения и отдел сбыта, согласование решений, системы моделей, этапы (итерации) разработки плана.

Классификация JEL: D2, D24, L2, G32.

DOI: 10.31857/S042473880003985-2

1. ВВЕДЕНИЕ

В акционерной компании у разных групп участников разные цели. Например, для акционеров — это максимизация чистой прибыли на одну акцию (т.е. размер чистой прибыли на каждый вложенный в компанию рубль), для менеджеров — максимизация нераспределенной прибыли (чем больше эта величина, тем больше возможностей для принятия решений и больше оплата труда при прочих равных условиях), для сотрудников — максимизация фонда оплаты труда и т.д. Соответственно перед каждым подразделением управления компании стоят разные цели.

Проблемы формирования единого плана развития организации связаны с несколькими аспектами. В частности, можно отметить следующие. Каждый из управленческих иерархических уровней компании пользуется своей информацией и своим уровнем детализации исходных данных для проведения плановых расчетов. Например, степень временной детализации существенно расходится при решении плановых задач на верхнем уровне управления и в низовых службах. Различные подразделения и службы компании, даже одного иерархического уровня, преследуют свои хозяйственные интересы, они нацелены на достижение функциональных задач конкретной структурной единицы, а такие задачи могут расходиться друг с другом и с целями компании в целом.

Как правило, производственное (операционное) планирование и планирование финансов осуществляются в разных отделах компании, которые, принимая решения, ориентируются на постав-

ленные перед ними цели, которые соответствуют их интересам. В результате этого можно получать решения, которые могут оказаться лучшими с позиции подразделения, но плохими или недостаточно рациональными с позиции компании в целом. Поэтому, исходя из предложений подразделений, окончательное решение принимается на уровне компании специальным органом (например, советом директоров, дирекцией компании). По отдельным функциям планирования имеется большое число публикаций, однако систем моделей производственного и финансового планирования недостаточно (Данилин, 1975; Португал, Семенов, 1986; Плещинский, 2004; Карлберг, 2006; Шапиро, 2006; Плещинский и др., 2008). В этих работах системы строятся так, будто решения принимаются централизованно на уровне компании, а подразделения осуществляют только подготовку информации для принятия решений. Но в большинстве компаний каждое подразделение принимает решения в своей области и в пределах своих полномочий.

Другое направление — это создание системы моделей согласования решений на уровне отделов и дирекции (Багриновский, 1977; Ашимов и др., 1986). В этом случае отделы разрабатывают планы на основе дезагрегированной информации и по своим критериям, а возникшие узкие места (ресурсы загружены близко к 100%) и часть агрегированных экономических показателей передаются в центральный орган (дирекцию). По агрегированной модели с позиции целей компании дирекция определяет плановое решение, контрольные показатели которого передаются в отделы, и те пересчитывают свои планы. Происходит итерационное получение компромиссного решения (Данилин, 2015).

В статье предлагается третье направление в виде модификации системы моделей горизонтального согласования решений между подразделениями для получения компромиссного решения в процессе разработки текущего плана компании.

2. ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ СОГЛАСОВАНИЕ РЕШЕНИЙ

Рассмотрим случай, когда отделы в процессе разработки своих разделов плана проводят предварительное согласование решений, прежде чем передать их дирекции компании. Наиболее характерным примером такого взаимодействия является согласование между производственным (ПО) и финансовым отделами (ФО), наряду с отделами сбыта (ОСБ) и снабжения (ОСН).

Для производственного отдела при разработке производственной программы необходимо знать уровень инвестиций для приобретения дополнительных ресурсов, являющихся узкими местами. Эту информацию готовит финансовый отдел в ходе разработки сводного финансового плана.

Финансовый отдел должен знать объем реализации продукции для формирования финансового плана, который можно рассчитать, если известна плановая производственная программа, определяемая производственным отделом. Эта программа необходима отделам сбыта и снабжения, чтобы прикрепить поставщиков и потребителей к компании и рассчитать переменные затраты, связанные с их деятельностью. Эти данные нужны производственному отделу для определения валовой прибыли единицы изделия. Сильное влияние этих расходов на валовую прибыль может изменить структуру производственной программы. То есть существуют прямые и обратные связи между ПО, ФО, ОСБ и ОСН (рис. 1). Следовательно, без согласования плановых решений между отделами рационального бизнес-плана компании разработать невозможно и надо разработать систему моделей согласования решений отдельных подразделений между собой.

В таком подходе огромную роль играют менеджеры. Они вырабатывают в конкретных условиях формулировку каждой модели, т.е. набор условий и целей, которые надо включить, подготавливают и оценивают надежность исходной информации, анализируют результаты расчетов по моделям и принимают (каждый на своем уровне) решения, оценивают момент согласования решений разных уровней, т.е. определяют стационарную точку. Следовательно, речь идет о человеко-машинных системах принятия решений.

Модель каждого отдела должна включать прежде всего те показатели, которые характеризуют сущность функционального назначения отдела.

Сформулируем для каждого отдела специальную модель, а затем опишем процесс согласования.

Задачей производственного отдела является разработка производственной программы таким образом, чтобы максимально удовлетворить спрос на изделия компании и при этом максимизировать доход (объем реализации продукции) или прибыль. Как правило — это возможно только при увеличении мощностей и других ресурсов. Следовательно, для этого необходимы капитальные вложения, а их величину определяет финансовый отдел.

2.1. Модель производственного отдела. Для ПО используем классическую модель оптимизации производственной программы с учетом экстенсивного расширения ресурсов (Данилин, 1975; Мироносецкий, 1976).

Ограничения *по спросу*: $\underline{d}_j \le x_j \le d_j,\ j = 1, \ldots, J,$ где x_j — объем производства изделия j в натуральных единицах измерения; $\underline{d}_j$ — заказ на изделие j; d_j — спрос на изделие j.

Ограничения *по ресурсам*: $\sum_{j=1}^{J} a_{ij} x_j - b_i y_i \le A_i,\ i = 1, \ldots, I,$ где a_{ij} — норма затрат ресурса i на производство единицы изделия j, причем a_{ij} для i = 1, ..., n — это номера единиц оборудования, для $i = n + 1, \ldots, k$ — номера профессий работающих, для $i = k + 1, \ldots, I$ — номера сырья, материалов и покупных полуфабрикатов; b_i для i = 1, ..., n — это эффективные годовые фонды работы единицы оборудования, для $i = n + 1, \ldots, k$ — эффективные годовые фонды одного работающего, а для $i = k + 1, \ldots, I$ — $b_i = 1$; y_i — искомое количество приобретаемых дополнительных ресурсов (соответственно, оборудования, нанимаемых рабочих и материальных ресурсов); A_i — наличие i ресурсов в компании на начало планового периода.

Ограничения *на инвестиции*: $\sum_{i=1}^{I} p_i y_i \le \Delta D_1 + RE_1 + CIS_1,$ где p_i для i = 1, ..., n — это цена единицы оборудования, для $i = n + 1, \ldots, k$ — средняя заработная плата одного работающего и для $i = k + 1, \ldots, I$ — цена единицы сырья, материалов и покупных полуфабрикатов; ΔD_1 — приращение долга; RE_1 — нераспределенная прибыль в плановом году; CIS_1 — величина дополнительной эмиссии (выкупа) обыкновенных акций.

Ограничения *на объем реализованной продукции*: $\sum_{j=1}^{J} p_j x_j \ge TR_0,$ где p_j — цена изделия j, TR_0 — объем реализации отчетного года.

Ограничения *на переменные*:

$$x_j \ge 0;\ y_i \text{ — целые для } i = 1, \ldots, k;\ u \ge 0 \text{ для } i = k + 1, \ldots, I.$$

Критерий максимума валовой прибыли:

$$\sum_{j=1}^{J} \left(p_j - AVC_j \right) x_j \to \max,$$

где AVC_j — переменные затраты на единицу продукции j, $AVC_j = P_j + c_j + T_j$; c_j — заработная плата рабочих на единицу изделия, $c_j = \sum_{i=n+1}^{k} \left(F a_{ij} / B_i \right)$; $F = \sum_{i=n+1}^{k} \left[\left(A_i / b_i + y_i \right) p_i \right]$ — фонд заработной платы всех рабочих по всем специальностям, как уже работающих в компании, так и дополнительно нанятых; $B_i = b_i y_i + A_i$ — годовой фонд времени работы рабочих профессии i (человек/ч); деление фонда заработной платы на фонд времени работы всех рабочих определяет заработную плату за 1 час.

Если теперь умножить часовую оплату на норму времени специальности i на единицу изделия j (a_{ij}) и просуммировать по всем профессиям, получим величину заработной платы на единицу производства изделия c_j.

Теперь можно рассчитать переменные затраты единицы изделия j (AVC_j): $c_j + P_j$ — издержки на покупку и доставку сырья и материалов для производства единицы изделия j, поступающих из отдела снабжения, плюс транспортные расходы на единицу продукции компании по доставке ее потребителям (T_j).

Это общая модель расчета оптимальной производственной программы компании. Однако на разных этапах расчета плана отдельные ограничения могут отсутствовать. Так, на первом этапе производственный отдел может проверить гипотезу: сколько необходимо инвестиций для покупки дополнительных ресурсов, чтобы компания могла произвести объем продукции, равный спросу.

2.2. Модель финансового отдела. Задачей ФО является разработка сбалансированного финансового плана, в том числе и уровня возможных инвестиций в компанию. Одним из наиболее популярных подходов разработки финансового плана служит принцип изменения части показателей актива баланса и плана прибыли и убытков (доходов и расходов) пропорционально плановому темпу роста объема реализации, величина которого напрямую зависит от производственной программы, разрабатываемой производственным отделом (Брейли, Майер, 1977; Бригхем, Гапенски, 2005; Ван Хорн, Вахович, 2003; Ли, Финнерти, 2000).

Данная модель строится, исходя из предположения, что часть статей финансового плана растут в том же темпе, что и объем реализации (например, оборотный и внеоборотный капитал, затраты и другие статьи). Следовательно, финансовому отделу необходимо или получить темп роста объема реализации из других подразделений в готовом виде, или уметь самостоятельно рассчитывать приращение объема реализации в плановом году, который ему нужен для расчета финансового плана.

Финансовый отдел может воспользоваться одной из моделей устойчивого роста (Росс и др., 2000, с. 120), расчет по которой основывается на отчетных данных в предположении, что структурные соотношения основных финансовых показателей сохранятся и в плановом периоде.

Приведем в качестве примера одну из моделей устойчивого роста:

$$\text{Пририрост объема реализации (дохода)} = \frac{ROE_0\left(1-b_0\right)}{1-ROE_0\left(1-b_0\right)},$$

где ROE_0 — норма доходности собственного капитала; b_0 — норма дивидендного выхода. Исходя из сформулированного предположения, построим агрегированные модели планового баланса, плана прибыли и убытков (план доходов и расходов) и плана движения денежных средств. Эти модели финансового плана могут выглядеть следующим образом.

2.2.1. Модель агрегированного планового баланса

Уравнения баланса:

– *оборотных средств*: $GR_1 \times CA_0 = CA_1$, где CA_1 — оборотные средства в плановом году; $GR_1 = RV_1/RV_0$; RV_1 — объем реализации планового года; RV_0 — объем реализации отчетного года; GR_1 — темп роста объема реализации в плановом году; CA_0 — оборотные средства в отчетном году;

– *чистых основных средств*: $GR_1 \times PFA_0 = PFA_1$, где PFA_1 — чистые основные средства в плановом году; PFA_0 — чистые основные средства в отчетном году;

– *актива*: $AB_1 = CA_1 + PFA_1$,

– *долга*: $CD_1 \times AB_1 = D_1$, где CD_1 — коэффициент суммарной задолженности в плановом году; D_1 — величина долга в плановом году;

– *собственного капитала*: $AB_1 - D_1 = OC_1$, где OC_1 — величина собственного капитала в плановом году.

Общее уравнение баланса: $CA_1 + PFA_1 - D_1 - OC_1 = 0$.

2.2.2. Модель плана прибылей и убытков (доходов и расходов)

Уравнение *валовой (маржинальной) прибыли:* $MP_1 = GR_1 \times RV_0 - GR_1 \times VC_0$, где MP_1 — валовая (маржинальная) прибыль в плановом году; RV_0 — объем реализации отчетного года; GR_1 — темп роста объема реализации; VC_0 — переменные затраты в отчетном году.

Уравнение *операционной прибыли* $EBIT_1 = MP_1 - FC_0 - DEP_1$, где $EBIT_1$ — операционная прибыль (прибыль до уплаты процентов и налога) в плановом году; FC_0 — постоянные затраты (кроме амортизации) в отчетном году; DEP_1 — величина амортизации в плановом году:

$$DEP_1 = \left[\frac{PFA_1 - PFA_0}{1 - NDEP_1} + PFA_0 \right] NDEP_1,$$

PFA_1 — чистые основные средства в плановом году; PFA_0 — чистые основные средства в отчетном году; $NDEP_1$ — норма амортизационных отчислений в плановом году.

Уравнение *чистой прибыли* $NP_1 = (1 - TAX)(EBIT_1 - PR \times D_1)$, где NP_1 — чистая прибыль в плановом году; TAX — налог на прибыль; PR — ставка процента по долгу в плановом году; D_1 — величина долгосрочного долга в плановом году.

Уравнение *нераспределенной прибыли* $RE_1 = NP_1 \left(1 - NDIV_1\right)$, где RE_1 — нераспределенная прибыль в плановом году; $NDIV_1$ — норма дивидендного выхода в плановом году.

2.2.3. Модель плана движения денежных средств

Движение денежных средств от основной (производственной) деятельности в плановом году (CFP_1):

$$CFP_1 = NP_1 + DEP_1 - \left(CA_1 - CA_0\right).$$

Движение денежных средств от инвестиционной деятельности (INV_1) в плановом году:

$$INV_1 = -\frac{PFA_1 - PFA_0}{1 - NDEP_1}.$$

Движение денежных средств от финансовой деятельности в плановом году:

$$CIS_1 = CFP_1 + INV_1 + \left(D_1 - D_0\right) - DIV_1, \quad CFF_1 = \left(D_1 - D_0\right) + CIS_1 - DIV_1,$$

где CIS_1 — стоимость дополнительной эмиссии (выкупа) обыкновенных акций в плановом году; D_0 — пассив в отчетном году; DIV_1 — дивиденды, выплаченные в плановом году; CFF_1 — денежный поток от финансовой деятельности в плановом году.

Баланс притока и оттока денег: $CFP_1 + INV_1 + CFF_1 = 0$.

Денежные средства (MM), которые финансовый отдел может выделить для приобретения дополнительных ресурсов: $MM = RE_1 + \left(D_1 - D_0\right) + CIS_1$.

2.3. Модель отдела сбыта. Отдел сбыта решает задачу поставки продукции компании (наряду с другими задачами, например, предварительно формирует прогноз спроса на продукцию) на сегменты рынка таким образом, чтобы минимизировать транспортные расходы. Для этого отделу нужно знать виды и количество продукции, которую может в планируемом периоде произвести компания, т.е. знать производственную программу, разрабатываемую производственным отделом, и спрос на продукцию. Из этих условий и формируется модель сбыта (Вентцель, 1988; Шапиро, 2006; Зайцев, Варюхин, 2007).

Ограничения *на объем продажи изделий:*

$$\sum_{m=1}^{M} x_{jm} = \bar{x}_j, \quad j = 1, \ldots, J,$$

где x_{jm} — объем готовых изделий вида j, которые предприятие продает в сегменте рынка $m = 1,\ldots, M_j$; M_{ji} — число сегментов рынка, на которых есть спрос на продукт j; $\bar{x}_j$ — количество изделий j, вошедших в производственную программу производственного отдела (они передаются из модели производственного отдела).

Ограничения *на спрос по сегментам рынков*:

$$\sum_{j=1}^{J_m} x_{jm} \le d_{jm}, \quad m = 1, \ldots, M_j,$$

где d_{jm} — спрос на изделие j на сегменте рынка m.

Критерий *минимума транспортных расходов:*

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{m=1}^{M_j} t_{jm}x_{jm} \to \min,$$

где t_{jm} — транспортные расходы на перевозку единицы изделия j на сегменте рынка m.

Расчет транспортных расходов на перевозку единицы изделия j во все сегменты рынка передается в производственный отдел для пересчета совокупных переменных затрат единицы продукции:

$$\frac{\sum_{m=1}^{M_j} t_{im}x_{jm}}{\bar{x}_j}, \quad j = 1, \ldots, J.$$

2.4. Модель отдела снабжения. Задача отдела снабжения поставить сырье и материалы в количестве, необходимом для выполнения производственной программы, а также дополнительное оборудование, таким образом, чтобы минимизировать цену покупки и транспортные расходы по их доставке в компанию (Красс, Чупрынов, 2001; Шапиро, 2006; Плещинский, Пачковский, Михайлина, 2008). Для этого нужна производственная программа производственного отдела.

Ограничения *на возможности поставщиков:*

$$x_{il} \le S_{il}, \; i = k+1, \ldots, I; \; l = 1, \ldots, L,$$

где x_{il} — объем поставки материала i поставщиком l на программу компании; S_{il} — мощность поставщика l по поставке материала i.

Ограничения *на объем обязательных поставок:*

$$\sum_{l=1}^{L} x_{il} = M_i, \; i = k+1, \ldots, I,$$

где M_i — потребность в материале i на производственную программу компании (полученная из производственного отдела).

Критерий *минимизации затрат на покупку и транспортировку материалов:*

$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{i=k+1}^{I} t_{il}x_{il} \to \min,$$

где t_{il} — затраты на покупку и транспортировку единицы материала i от поставщика l.

Отдел снабжения рассчитывает переменные затраты, связанные с ценой покупки и транспортировки, на единицу изделия и передает эти данные в производственный отдел для расчета переменных затрат единицы изделия:

$$\left(\sum_{l=1}^{L}\sum_{i=k+1}^{I} t_{il}x_{il} \Big/ \sum_{l=1}^{L}\sum_{i=k+1}^{I} x_{il}\right)\sum_{l=1}^{L} x_{il}/\bar{x}_j.$$

3. ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ПЛАНА

3.1. Первый этап разработки плана (итерация 1). На этом этапе производственный отдел рассчитал производственную программу таким образом, чтобы удовлетворить спрос и заказы на продукцию компании. Это позволяет оценить потенциальные возможности компании в получении максимальной величины дохода и прибыли. Для этого в модели производственной программы отсутствовали ограничения на инвестиции, что позволило определить необходимое число единиц оборудования, которое надо докупить, количество рабочих, которых надо дополнительно нанять, и объем проката, которое надо дополнительно купить, а также определена величина инвестиций, которая необходима компании для этого.

На этом этапе финансовый отдел самостоятельно рассчитывает темп роста объема реализации в плановом году по модели устойчивого роста, который нужен ему для формирования финансового плана.

Финансовый план строится в предположении, что отдельные позиции баланса и плана прибылей и убытков растут с тем же темпом, что и объем реализации. В результате определяется величина инвестиций, которая передается в производственный отдел для расчета производственной программы в следующей итерации.

В это же время производственная программа из производственного отдела поступает в отделы сбыта и снабжения, которые на ее основе осуществляют прикрепление потребителей продукции и поставщиков сырья и материалов. После этого производственный отдел получает значения переменных затрат в виде транспортных расходов и расходов на приобретение сырья и материалов. По этим данным определяется уточненная величина валовой продукции на единицу изделия, которая на следующей итерации пересчета может повлиять на структуру производственной программы.

3.2. Второй этап разработки плана (итерация 2). Рассчитанная на первой итерации в финансовом отделе суммарная величина инвестиций передается в производственный отдел, который пересчитывает производственную программу с учетом ограничения на инвестиции. Объем реализации продукции, соответствующий новой производственной программе, поступает в финансовый отдел, и по нему строится новый финансовый план. Измененная программа спускается в отделы сбыта и снабжения.

Итерационный процесс продолжается до тех пор, пока в ограничениях по инвестициям потребности не сравняются с заданием или они станут приблизительно равными. После этого согласованные данные превращаются в окончательные планы отделов (производственного, финансового, снабжения и сбыта).

3.3. Пример. Рассмотрим пример такого согласования на основе модели, изложенной выше. Анализировать будем итоговые показатели по отделам.

3.3.1. Итерация 1

Производственный отдел. Исходная информация приведена в табл. 1.

Таблица 1

Виды ресурсов и изделия	Изделие			Фонд времени единицы ресурса, час.	Наличие ресурса, ч, т	Цена и заработная плата, тыс. руб.
	1П71	1Б81	1Б92			
Токарная группа оборудования	312,6	181,4	652	1850	38 700	6200
Расточная группа оборудования	110	33,9	320	1904	8730	6400
Фрезерная группа оборудования	137,5	51,5	304	1910	10 440	6600
Шлифовальщики	87,2	55,9	176	1850	11 340	720
Строгальщики	17,5	10,2	134	1945	3978	720
Сверлильщики	50,1	45,5	148	1905	3924	720
Прокат, т	350,8	110	487		30 000	6,2
Спрос, шт.	40	70	35			
Цены, тыс. руб.	5540	781	3267			
Переменные затраты единицы, тыс. руб.	2266	746	3222			
Валовая прибыль единицы, тыс. руб.	3274	35	45			

На этапе I производственный отдел может поставить перед собой задачу: определить необходимое количество дополнительного оборудования, дополнительных рабочих и материальных ресурсов (проката), которые позволят произвести объемы изделий равные спросу. При имеющихся ресурсах (столбец “Наличие...”) возможная производственная программа не полностью удовлетворяет спрос. Для этого запишем числовую модель расчета производственной программы с одновременным определением дополнительных ресурсов.

Ограничения по оборудованию:

$$312{,}6\,x_1 + 181{,}4\,x_2 + 652\,x_3 - 1850\,y_1 \le 38\,700,$$
$$110\,x_1 + 33{,}9\,x_2 + 320\,x_3 - 1904\,y_2 \le 8730,$$
$$137{,}5\,x_1 + 51{,}5\,x_2 + 304\,x_3 - 1910\,y_3 \le 10\,440.$$

Ограничения по рабочей силе:

$$87{,}2\,x_1 + 55{,}9\,x_2 + 176\,x_3 - 1850\,y_4 \le 11\,340,$$
$$17{,}5\,x_1 + 10{,}2\,x_2 + 134\,x_3 - 1945\,y_5 \le 3978,$$
$$50{,}1\,x_1 + 45{,}5\,x_2 + 148\,x_3 - 1905\,y_6 \le 3924.$$

Ограничения по материалам:

$$350{,}9\,x_1 + 280{,}2\,x_2 + 487\,x_3 - 1\,y_7 \le 20\,000.$$

Ограничения *по спросу*:

$$x_1 \le 40, \quad x_2 \le 70, \quad x_3 \le 35.$$

Ограничения *по инвестициям*:

$$3800\,y_1 + 4000\,y_2 + 4200\,y_3 + 120\,y_4 + 120\,y_5 + 120\,y_6 + 6{,}3\,y_7 \le \text{инвестиции (ФО)}.$$

Ограничения *на переменные*:

$$x_1, \ldots, x_3, y_1, \ldots, y_7 \ge 0; \quad x_1, \ldots, x_3, y_1, \ldots, y_6 \text{ — целые}.$$

Критерий *максимума объема реализации*:

$$5540\,x_1 + 781\,x_2 + 3267\,x_3 \to \max.$$

Расчеты по этой модели проводятся без ограничений на инвестиции, так как финансовый отдел пока еще не рассчитал возможные инвестиции в производство (результаты в табл. 2).

Таблица 2

Производственный отдел		
Дополнительное оборудование, шт.	Токарная	6
	Расточная	5
	Фрезерная	5
Дополнительное число рабочих, человек	Шлифовальные	2
	Строгальные	2
	Сверлильные	4
Материалы	Прокат, т	8777
Программа (изделия), шт.		
1П71	1Б81	1Б92
40	70	35
Объем реализации, тыс. руб.		390 615
Валовая прибыль, тыс. руб.		136 066
Валовая прибыль единицы изделия, тыс. руб.		
3274	40	67
Капитальные вложения, тыс. руб.	По производственной программе	162 377
	Из финансового плана	0

Производственный отдел: программа полностью удовлетворяет спрос на изделия компании, и она заработает 390 млн 615 тыс. руб. Для этого необходимо дополнительно приобрести оборудование (6, 5 и 5 единиц соответственно), нанять рабочих (2, 2 и 4 человека соответственно) и купить дополнительно 8 777 т проката. Это возможно если компания выделит капиталовложения на сумму 162 377 тыс. руб.

Кроме этого, модель рассчитывает новые величины переменных затрат на единицу изделия и соответствующую им совокупную величину переменных затрат. Этот пересчет связан с транспортными расходами на поставку продукции компании потребителям (модель отдела сбыта) и расходами на приобретение и доставку дополнительного количества проката (модель отдела снабжения). В табл. 3 приводится их сравнение.

Таблица 3

Изделия	1П71	1Б81	1Б92	На программу
Переменные затраты единицы до оптимизации	2557	466	1535	188 618
Переменные затраты единицы после оптимизации	2957	861	1928	246 013

В итоге производственный отдел передает в финансовый отдел величину объема реализации для расчета темпа роста (390 615) и суммарную величину переменных затрат (246 013) для расчета на следующем этапе нового значения валовой и операционной прибыли (документ “План доходов и расходов”).

Отдел сбыта. Получает от ПО программу производства изделий: 40 шт. изделия 1П71, 70 шт. изделия 1Б81 и 35 шт. изделия 1Б92, которые надо поставить потребителям с наименьшими транспортными затратами на четыре рынка (табл. 4). Запишем числовую модель отдела сбыта.

Таблица 4

Рынок	Спрос, шт.	Цена транспортировки, тыс. руб.
1	20	14
2	45	24
3	45	21
4	35	17

Ограничения на объем продажи изделий:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 40,$$
$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 70,$$
$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 35.$$

Ограничения на спрос по сегментам рынков:

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} = 20,$$
$$x_{12} + x_{22} + x_{32} = 45,$$
$$x_{13} + x_{23} + x_{33} = 45,$$
$$x_{14} + x_{24} + x_{34} = 35.$$

Критерий:

$$14\,x_{11} + 24\,x_{12} + 21\,x_{13} + 17\,x_{14} + 14\,x_{21} + 24\,x_{22} +$$
$$+ 21\,x_{23} + 17\,x_{24} + 14\,x_{31} + 24\,x_{32} + 21\,x_{33} + 17\,x_{34} \to \max,$$

где x_{11} — поставки изделия 1 на рынок 1; x_{12} — поставка изделия 1 на рынок 2 и т.д.

Решение транспортной задачи дает результаты, представленные в табл. 5. Согласно этим данным составляются маршруты поставки изделий на рынки. Средние транспортные затраты единицы каждого изделия отдел сбыта передает в производственный отдел для расчета средних переменных затрат.

Отдел снабжения получает от производственного отдела программу производства изделий и величину дополнительного потребления проката — 8777 (в примере рассматривается только поставки проката). В табл. 6 приводится расчет в дополнительной потребности проката на программу по изделиям по формуле 8777/(40 + 70 + 35) 40 и т.д. Возможности поставщиков и расходы на поставку проката приведены в табл. 7.

Таблица 5

Изделие	Рынок				Программа	Средние транспортные затраты на 1 ед.
	1	2	3	4		
1П71, шт.	1	39	0	0	40	23,8
1Б81, шт.	0	0	35	35	70	19,0
1Б92, шт.	19	6	10	0	35	17,7
Спрос, шт.	20	45	45	35		

Таблица 6

Показатель	Изделие		
	1П71	1Б81	1Б92
Программа	40	70	35
Потребность	2421	4237	2119

Таблица 7

Поставщик	1П71	1Б81	1Б92	Наличие
1	6,1	6,1	6,1	4000
2	6,3	6,3	6,3	5000

Запишем числовую модель отдела снабжения.

Ограничения на возможности поставщиков:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} \le 4000,$$
$$x_{21} + x_{22} + x_{23} \le 5000.$$

Ограничения на потребность в поставке проката:

$$x_{11} + x_{21} = 2421,$$
$$x_{12} + x_{22} = 4237,$$
$$x_{13} + x_{23} = 2119.$$

Критерий:

$$6{,}1\, x_{11} + 6{,}1\, x_{12} + 6{,}1\, x_{13} + 6{,}3\, x_{21} + 6{,}3\, x_{22} + 6{,}3\, x_{23} \to \min.$$

Результаты расчета приводятся в табл. 8 (полужирным шрифтом выделены рассчитанные величины).

Таблица 8

Показатель	Изделие			Поставки	Возможности
	1П71	1Б81	1Б92		
Поставщик 1	0	4000	0	4000	4000
Поставщик 2	2421	237	2119	4777	5000
Потребность	2421	4237	2119	8777	8777
Критерий: затраты				54495	
Переменные затраты на 1 ед.	376	376	376		

Отдел снабжения передает в производственный отдел средние переменные затраты на покупку и транспортировку 1 дополнительной тонны проката.

Расчет средних переменных затрат (*AVC*):

$$AVC_{1П71} = (54495/8777)\ 2421/40 = 376,$$
$$AVC_{1Б81} = (54495/8777)\ 4237/70 = 376,$$
$$AVC_{1Б92} = (54495/8777)\ 2119/35 = 376.$$

Финансовый отдел на итерации 1 получает от производственного отдела объем реализации для расчета темпа роста (390 615) и плановые переменные затраты на программу компании (246 013), необходимые для расчета плана доходов и расходов (финансовый план рассчитывается в агрегированном виде) (табл. 9, где индекс 0 соответствует отчетной информации, 1 — прогнозной информации на плановый год.

Таблица 9

Отчетный баланс	
Оборотный капитал (ОборКап$_0$)	102 038
Чистый внеоборотный капитал (ВнеОборКап$_0$)	78 491
Итого активы (Активы$_0$)	180 529
Величина обязательств (Обяз$_0$)	76 921
Собственный капитал (СобКап$_0$)	103 608
Итого обязательства + собственный капитал (ОбязСобКап$_0$)	180 529
Другая необходимая информация	
Плановый темп роста объема реализации (ТемпОбъемРеал$_1$)	390 615/261 636 = 1,49
Объем реализации продукции (ОбъемРеал$_0$)	261 636
Переменные затраты (ПерЗатр$_0$)	131 154
Постоянные затраты (ПостЗатрты$_0$)	104 654
Доля заемных средств в активе (ДоляДолг$_1$)	0,43
Норма выплаты дивидендов (НормДив$_1$)	0,29
Годовая ставка процентов (ГодСтавкаПроц$_1$)	0,10
Ставка налога на прибыль (СтавкаНалог$_1$)	0,20
Средняя норма амортизации (НормАморт$_1$)	0,10
Чистая прибыль (ЧистПриб$_0$)	14 652

Числовая модель финансового плана.

Плановый баланс:

$$\text{ОборКап}_1 = \text{ОборКап}_0 \times \text{ТемпОбъемРеал}_1 = 1\,102\,038 \times 1{,}49 = 152\,340,$$

$$\text{ВнеОборКап}_1 = \text{ВнеОборКап}_1 \times \text{ТемпОбъемРеал}_1 = 78491 \times 1{,}49 = 117\,185,$$

$$\text{Активы}_1 = \text{ОборКап}_1 + \text{ВнеОборКап}_1 = 113\,427 + 87251 = 269\,524,$$

$$\text{Обяз}_1 = \text{Активы}_1 \times \text{ДоляДолг}_1 = 200\,678 \times 0{,}43 = 115\,895,$$

$$\text{СобКап}_1 = \text{Активы}_1 - \text{Обяз}_1 = 200\,678 - 86\,291 = 153\,629,$$

$$\text{ОбязСобКап}_1 = \text{Обяз}_1 + \text{СобКап}_1 = 86\,291 + 114\,386 = 269\,524.$$

План доходов и расходов:

$$\text{ОбъемРеал}_1 = 390\,615,$$

$$\text{ПерЗатр}_1 = 246\,013,$$

$$\text{ПостЗатраты}_1 = \text{ПостЗатрты}_0 = 104\,654,$$

$$\text{Аморт}_1 = ((\text{ВнеОборКап}_1 - \text{ВнеОборКап}_0)/(1 - \text{НормАморт}_1) + \text{ВнеОборКап}_0) \times$$
$$\times \text{НормАморт}_1 = ((117\,185 - 78\,491)/(1 - 0{,}1) + 78491) \times 0{,}1 = 12\,148,$$

$$\text{ОперПриб}_1 = \text{ОбъемРеал}_1 - \text{ПерЗатр}_1 - \text{ПостЗатраты}_1 - \text{Аморт}_1 =$$
$$= 390\,615 - 246\,013 - 104\,654 - 12\,148 = 27\,800,$$

$$\text{Проценты}_1 = \text{Обяз}_1 \times \text{ГодСтавкаПроц}_1 = 115\,895 \times 0{,}10 = 11590,$$

$$\text{ПрибДоНалога}_1 = \text{ОперПриб}_1 - \text{Проценты}_1 = 27\,800 - 11\,590 = 16\,210,$$

$$\text{Налог}_1 = \text{ПрибДоНалога}_1 \times \text{СтавкаНалог}_1 = 16\,210 \times 0{,}20 = 3242,$$

$$\text{ЧистПриб}_1 = \text{ПрибДоНалога}_1 - \text{Налог}_1 = 16\,210 - 3\,242 = 12\,968,$$

$$\text{Див}_1 = \text{ЧистПриб}_1 \times \text{НормаДив}_1 = 12\,968 \times 0{,}29 = 3\,761,$$

$$\text{НераспрПриб}_1 = \text{ЧистПриб}_1 - \text{Див}_1 = 12\,968 - 3\,761 = 9\,207.$$

План движения денежных средств.

Денежный поток от производственной деятельности:

$$\text{ЧистПриб}_1 = 12\,968,$$

$$\text{Аморт}_1 = 12\,148,$$

$$\text{РостОборКап}_1 = -(\text{ОборКап}_1 - \text{ОборКап}_0) = -(152\,340 - 102\,038) = -50\,302,$$

$$\text{Итого} = \text{ЧистПриб}_1 + \text{Аморт}_1 + \text{РостОборКап}_1 = 12\,968 + 12\,148 - 50\,302 = -25\,185.$$

Денежный поток от инвестиционной деятельности:

$$\text{Инвест}_1 = -(\text{ВнеОборКап}_1 - \text{ВнеОборКап}_0)/(1 - \text{НормАморт}_1) =$$
$$= -(117\,185 - 78\,491)/(1 - 0{,}1) = -42\,993.$$

Денежный поток от финансовой деятельности:

$$\text{ПриращДолга}_1 = \text{Обяз}_1 - \text{Обяз}_0 = 115\,895 - 76\,921 = 38\,974,$$

$$\text{Див1} = -3\,761,$$

$$\text{Эмиссия (выкуп) акций} = -(\text{РостОборКап}_1 + \text{Инвест}_1 + \text{Див}_1) -$$
$$-(\text{ЧистПриб}_1 + \text{Аморт}_1 + \text{ПриращДолга}_1) = -(-25\,185 - 42\,993 + 38\,974 - 3\,762) = 32\,965.$$

Теперь можно подсчитать величину денежных средств, которые могут использоваться для покупки оборудования и сырья, а также найма дополнительной рабочей силы:

$$\text{ДенежСред}_1 = \text{НераспрПриб}_1 + \text{ПриращДолга}_1 + \text{ЭмиссияАкц}_1 =$$
$$= 9\,207 + 38\,974 + 32\,965 = 81\,146.$$

Амортизация также является притоком денег, но предназначена для замены выбывшего оборудования, а не для покупки нового, поэтому ее в денежные средства включать не будем.

Денежные средства в размере 81 146 руб. будут переданы в производственный отдел, который воспользуется этой суммой при расчете производственной программы на второй итерации. Следует отметить, что данное значение составляет всего 50% от рассчитанного производственным отделом на итерации 1 (81 146 /162 377).

3.3.2. Итерация 2

Производственный отдел пересчитывает программу с учетом выделенных ему финансовым отделом капиталовложений (81 146) и передает полученную величину объема реализации и сумму переменных затрат в финансовый отдел.

На этом этапе в модель, которая использовалась на итерации 1, добавляется ограничение на денежные средства, которые выделяет финансовый отдел (табл. 10):

$$6200\,y_1 + 6400\,y_2 + 6600\,y_3 + 720\,y_4 + 720\,y_5 + 720\,y_6 + 6{,}2\,y_7 \le 81\,146.$$

Структура программы изменилась в связи сокращением капиталовложений, которые может выделить финансовый отдел (81 146 против необходимых производственному отделу 162 377 тыс. руб.). Полностью удовлетворяется спрос только по первому изделию, а второе изделие производится на 2 единицы меньше спроса, третье — на 11 единиц меньше. Для выполнения этой про-

граммы необходимо докупить 8 станков, нанять 5 рабочих и закупить 4116 т проката. Однако объем реализации меньше, чем на итерации 1, и поэтому темп роста объема реализации 1,35 против 1,49.

Таблица 10

Оборудование, шт.	Токарная	1
	Расточная	3
	Фрезерная	4
Профессии, человек	Шлифовальные	1
	Строгальные	1
	Сверлильные	3
Материалы	Прокат, т.	4116
Программа (изделия)		
1П71	1Б81	1Б92
40	68	24
Объем реализации		353 116
Валовая прибыль		182 310
Переменные затраты единицы изделия		
2768	676	1743
Капвложения	Из ПрозПрограм$_1$	80 921
	Из ФинПлан$_1$	81 146

Отдел сбыта получил новую программу от ПО. В табл. 11 показано распределение поставок продукции по рынкам. Спрос по трем рынкам, кроме второго, удовлетворен полностью. Средние переменные затраты на транспортировку и общая величина транспортных расходов показана в табл. 12.

Таблица 11

Показатель	Рынок				Программа
	1	2	3	4	
1П71	1	32	5	2	40
1Б81	3	0	34	31	68
1Б92	16	0	6	2	24
Поставки	20	32	45	35	
Спрос	20	45	45	35	
Критерий: затраты	14	24	21	17	2588

Таблица 12

1П71	1Б81	1Б92
23,03	18,87	16,00

Средние затраты по первому и третьему изделию уменьшились, как и суммарные транспортные расходы, с 2900 до 2588 тыс. руб., так как сократился объем поставок изделий.

Отдел снабжения получил новую программу от ПО. В результате расчета прикрепления поставщиков к компании (табл. 13) оказалось, что переменные затраты и суммарные сократились.

Таблица 13

Показатель		1П71	1Б81	1Б92	Поставки	Наличие
Прокат	Поставщик 1	1247	2120	632	4000	4000
	Поставщик 2	0	0	116	116	5000
Поставки		1247	2120	748	4116	4116
Критерий: затраты					25 132	
Переменные затраты, ед.		190	190	190		

3.3.3. Итерации 3 и 4

В каждой следующей итерации объем реализации и соответственно темп роста объема реализации уменьшаются: 1,31 — итерация 3 и 1,29 — итерация 4. Следовательно, и величина денежных средств также падает: 48 805 тыс. руб. — итерация 3; 45 079 тыс. руб. — итерация 4.

3.3.4. Итерация 5

На итерации 5 достигается согласованное решение. Это окончательный согласованный по отделам план компании. Результаты решения **производственного отдела** приведены в табл. 14.

Таблица 14

Оборудование, шт.	Токарная	0
	Расточная	3
	Фрезерная	3
Профессии, человек	Шлифовальные	0
	Строгальные	0
	Сверлильные	3
Материалы	Прокат, т	632
Программа (изделия)		
1П71	1Б81	1Б92
40	70	18
Объем реализации		335 076
Валовая прибыль		172 545
Переменные затраты единицы изделия		
2627	540	1606
Капитальные вложения	$ПрозПрограм_1$	45 079
	$ФинПлан_1$	45 079

Производственный отдел определил структуру производственной программы: по изделию 1П71 — 40 ед. (спрос полностью удовлетворен), по изделию 1Б81 — 70 ед. (спрос полностью удовлетворен) и по изделию 1Б92 — 18 ед. (спрос удовлетворен на 51%). Для выполнения программы необходимо докупить 3 расточных и 3 фрезерных станка, нанять 3 сверлильщиков и докупить 632 т проката. Объем реализации будет равен 335 067 тыс. руб., и все выделенные финансовым отделом денежные средства будут использованы.

Финансовый отдел определил темп роста объема реализации в 1,28 и денежные инвестиции в размере 42 825 тыс. руб. Отклонение от используемой величины 45 079 тыс. руб. незначительное, что позволяет не ухудшить результат. На итерации 6 данный факт подтверждается: темп роста остается 1,28, а денежные средства — 42 825 тыс. руб., это означает, что для согласования плана потребовалось пять итераций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ашимов А.А., Бурков В.Н., Джапаров Б.А., Кондратьев В.В. (1986). Согласованное управление активными производственными системами. М.: Наука.

Багриновский К.А. (1977). Основы согласования плановых решений. М.: Наука.

Брейли М. (1977). Принципы корпоративных финансов. М: ЗАО “Олимп-Бизнес”.

Бригхем Ю., Гапенски Л.М. (2005). Финансовый менеджмент. СПб.: Экономическая школа.

Ван Хорн Джеймс К., Вахович Джон М. (2003). Основы финансового менеджмента. М.: Вильямс.

Вентцель Е.С. (1988). Исследования операций. М.: Наука.

Данилин В.И. (1975). Экономико-математические модели годового планирования на предприятии. М.: Наука.

Данилин В.И. (2006). Операционное и финансовое планирование в корпорации (методы и модели). М.: Наука.

Данилин В.И. (2015). Система моделей согласования решений между подразделениями и компанией в лице дирекции // *Экономика и математические методы*. Т. 51. № 4. С. 26–47.

Зайцев М.Г., Варюхин С.Е. (2007). Методы оптимизации управления и принятия решений: примеры, задачи, кейсы. М: Дело.

Карлберг К. (2006). Бизнес-анализ с помощью Microsoft Excel. М.: Вильямс.

Красс М.С., Чупрынов Б.П. (2001). Основы математики и ее приложения в математическом образовании. Раздел 2 "Основы оптимального управления". М.: Дело.

Ли Ченг Ф., Финнерти Джозеф И. (2000). Финансы корпораций: теория, методы и практика. М.: ИНФРА-М.

Мироносецкий Н.Б. (1976). Моделирование процессов создания и выпуска новой продукции. Новосибирск: Наука.

Плещинский А.С. (2004). Оптимизация межфирменных взаимодействий и внутрифирменных управленческих решений. М: Наука.

Плещинский А.С., Пачковский Э.М., Михайлина И.М. (2008). Согласованная оптимизация логистической и производственно-финансовой деятельности многостадийных предприятий (динамические модели). М.: ЦЭМИ РАН.

Португал В.М., Семёнов А.И. (1986). Модели планирования на предприятиях. М.: Наука.

Росс С., Вестерфилд Р., Джордан Б. (2000). Основы корпоративных финансов. М.: Лаборатория базовых знаний.

Шапиро Дж. (2006). Моделирование цепи поставок. СПб.: Питер.

REFERENCES (with English translation or transliteration)

Ashimov A.A., Burkov V.N., Dzhaparov B.A., Kondrat'ev V.V. (1986). Consistent Management of Active Production Systems. Moscow: Nauka (in Russian).

Bagrinovskiy K. (1977). Basis of the Harmonization of Planning Decisions. Moscow: Nauka (in Russian).

Brealey R., Meyers S. (1977). Principles of Corporate Finance. Moscow: Joint-Stock Company "Olimp-Business" (in Russian).

Brigham E., Gapenski L. (2005). Financial Management. Saint Petersburg: Economic School (in Russian).

Cheng F., Finnerty J. (2000). Corporate Finance: Theory, Methods and Practice. Moscow: INFRA-M (in Russian).

Crass M., Chuprynov B. (2001). Mathematics and Its Applications in Matematicheskom Education. Moscow: Business (in Russian).

Danilin V. (1975). The Economic-Mathematical Models for Annual Planning at the Enterprise. Moscow: Nauka (in Russian).

Danilin V. (2006). Operational and Financial Planning in Corporations (Methods and Models). Moscow: Nauka (in Russian).

Danilin V. (2015). System Models Agreed Solutions between Company and Flow Unit in the Face of the Directorate. *Economics and mathematical methods*, 51, 4, 26–47 (in Russian).

Horne J. van, Vachowicz J. (2003). Fundamentals of Financial Management. Moscow: Williams (in Russian).

Karlberg K. (2006). Business Analysis Using Microsoft Excel. Moscow: Williams (in Russian).

Mironoseckij N. (1976). Simulation of the Processes of Creating and Releasing New Products. Novosibirsk: Nauka (in Russian).

Pleshchynski A. (2004). Optimization of Inter-Firm Interactions and Internal Rivermen Management Decisions. Moscow: Nauka (in Russian).

Pleshchynski A., Pachkovskij E., Mihailina I. (2008). Coordinated Optimization of Logistics and Industrial-Financial Activities-Mnogostadij Enterprises (Dynamic Models). Moscow: CEMI RAS (in Russian).

Portugal V., Semyonov A. (1986). Planning Models. Moscow: Nauka (in Russian).

Ross C., Westerfield P., Jordan B. (2000). Fundamentals of Corporate Finance. Moscow: Laboratory of Basic Knowledge (in Russian).

Shapiro J. (2006). Modeling the Supply Chain. Saint Petersburg: Peter (in Russian).

Wentzel E. (1988). Operations Research. Moscow: Nauka (in Russian).

Zaitsev M., Varyuhin C. (2007). Methods of Optimization of Management and Decision Making: Examples, Tasks, Briefcases. Moscow: Delo (in Russian).

System Models Horizontal Harmonization of Planning Decisions by Various units of the Company

V.I. Danilin

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
E-mail: danilinvi@mail.ru

Received 19.10.2018

In developing a business plan, take part in almost all company departments, such as purchasing department, production department or the planning and Economic Department, Finance Department, Sales Department and others. Each unit develops its own section of the plan, on the basis of their specific objectives, which did not always coincide with the objectives of the company as a whole. This raises the problem of harmonizing these decisions with the company's goals. There are different approaches to solving the problem of harmonization. For example, vertical alignment, when units are in detail its decisions in aggregated form and pass them in the direction where on that basis accepted the final version of the plan of the company and the results are on the level of units for rework. This article focuses on the development of a system of models horizontal harmonization of planning decisions between units. To solve this problem, the methodology of the sequence of decision-making entities in the form of an iterative procedure based on system models. The system consists of a model production plan in view of the expansion of capacities, model financial plan (plan for profits and losses, planned balance and cash flow plan), the company's marketing plan model and model supply plan given the inverse relationships between models. The example shows that after a number of iterations units receive a consistent routine decision corresponding to the objectives of the company as a whole.

Keywords: functional units, production and financial divisions, the first division of supply and sales, negotiate solutions, system models, stages (iteration) the formulation of the plan.

JEL Classification: D2, D24, L2, G32.

DOI: 10.31857/S042473880003985-2

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, 2019, том 55, № 1, с. 101–115

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Агрегированные индексы мнений населения о качестве жизни в регионах России

© 2019 г. Ю.Н. Гаврилец*, М.В. Черненков, С.А. Никитин*****

ЦЭМИ РАН, Москва

** E-mail: yurkag@mail.ru ** E-mail: mcher51@mail.ru*
**** E-mail: nikitinnn@yandex.ru*

Поступила в редакцию 16.05.2018

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 17-18-01080).

В статье предлагаются методологические подходы к исследованию особенностей и различий в оценках населением условий жизни в регионах России. Делается попытка построить агрегированные индексы, которые характеризуют экономический потенциал роста, уровень общественной безопасности, социальную обеспокоенность и удовлетворенность населения в регионах России. Для этого используются данные специальных социологических опросов и официальной статистики по 47 субъектам РФ. Агрегированные индексы рассчитаны с использованием метода главных компонент. Исследуются статистические связи между полученными индексами, построена регрессионная модель, характеризующая зависимость удовлетворенности населения условиями жизни от уровня экономического потенциала, обеспокоенности и доверия органам правопорядка. Проводится сравнительный анализ возможностей экономического роста регионов, уровней удовлетворенности и обеспокоенности населения. Анализируется также динамика роста экономического потенциала в регионах РФ с учетом возможности его прогнозирования и применения прогнозов в социальном управлении.

Ключевые слова: регионы России, социологические исследования, качество жизни, социальная обеспокоенность, экономический потенциал, региональная безопасность, метод главных компонент, регрессионный анализ, условный прогноз.

Классификация JEL: C53.

DOI: 10.31857/S042473880004045-8

1. ВВЕДЕНИЕ

Успешное социально-экономическое развитие России предполагает целенаправленное и серьезное обоснование принимаемых решений на всех уровнях социально-политического и хозяйственного руководства. Совершенно ясно, что для этого необходимо наличие обратной связи, т.е. получение адекватной информации о положении дел на местах, результатах управления, в широком смысле этого слова. Общество, как и различные органы власти, должно знать ситуацию, в которой мы все находимся.

В нашей стране тема анализа различных сторон жизни общества не теряет своей актуальности, особенно в связи с действием негативных факторов, связанных с замедлением экономического роста, снижением реальных доходов населения, возникновением протестных настроений. Российские ученые уделяют немало внимания разработке теории, концептуальным подходам, а также конкретному анализу условий и качества жизни людей. Подчеркивается различие между объективными показателями официальной статистики и субъективными оценками жизни со стороны самого населения. Существенный вклад в методологию и практические рекомендации внесли известные российские исследователи (Айвазян, 2012; Заславская, 2004; Осипов, 2002; Римашевская и др., 2012). Из зарубежных исследователей жизни общества в связи с нашей проблематикой можно упомянуть (Дзоло, 2010; Луман, 2007; Маслоу, 1999).

Поскольку конечной целью функционирования нашей экономики является улучшение условий жизни людей, рост благосостояния и социальная стабильность, то соответствующая исполь-

зуемая информация об этом должна быть не только правдивой, но и иметь вид, понятный для лиц, принимающих решения.

К сожалению, сложность, разноплановость и многообразие жизни отражаются в огромном числе показателей разной природы, характера и способов получения. Это существенно затрудняет понимание происходящего и принятие правильных решений. Все это требует от научных дисциплин оптимального отражения реальных проблем в социально-экономических условиях жизни населения.

В современной научной литературе большое распространение получило использование различных индексов, аккумулирующих значения разных показателей и отражающих всю их совокупность (Айвазян и др., 2016; Балацкий, 2005; Волкова, 2010; Давыдов, 1995; Иванова, 2017). Внимание ученых к проблеме построения интегральных индексов было в значительной степени обусловлено стремлением экономистов и политиков научиться грамотно сравнивать жизнь людей в разных странах, чтобы можно было судить о том, где жизнь лучше, а где хуже. Благодаря работам в первую очередь (Сена, 2010; Десаи, 2002) и некоторых других в ООН стали использовать для сопоставления стран не только ВРП на душу, но и *индекс развития человеческого потенциала* (ИРЧП), отражающий продолжительность жизни, уровень грамотности, образование и реальные доходы. Наряду с этими индексами используются индексы качества жизни, бедности и т.п.

Естественно, что агрегирование разных показателей *должно соответствовать объективно существующей подсистеме* общественной системы, состояние которой и выражает данный индекс. Попытки объединения совершенно разнородных показателей из разных подсистем будут скорее всего малопродуктивными. Представляется также, что стремление найти некий единый и всеобъемлющий показатель качества жизни населения в стране, уровень всеобщего счастья и т.п. имеет показной характер и уводит в сторону от понимания и решения реальных проблем.

Данная статья является в некотором отношении продолжением работы (Гаврилец и др., 2016), поскольку в ней рассматриваются те же регионы России (субъекты РФ). Социологические показатели берутся из той же самой выборки, и фактически используется та же методология построения интегральных индексов. В статье рассматриваются следующие общественные подсистемы: *экономический потенциал роста, общественная безопасность и социально-психологические оценки* условий жизни в регионах. На основе официальных данных статистической отчетности Росстата и результатов социологических исследований, проведенных в 47 регионах России в 2016 г., предлагаются процедуры измерения уровней экономического потенциала развития, социальной стабильности и общественной безопасности. Проводится анализ взаимосвязи между интегральными характеристиками указанных подсистем и анализ различий регионов России.

Задачи, для решения которых может быть применена предлагаемая методология:

1) построение интегральных количественных характеристик состояния рассматриваемых подсистем (экономический потенциал роста, общественная безопасность и социально-психологические оценки) регионов России;

2) сравнение и ранжирование регионов по достигнутому уровню развития рассмотренных подсистем;

3) выявление роли факторов, формирующих интегральный показатель каждой подсистемы;

4) прогнозирование значений индексов для отдельных регионов (при наличии данных о динамике предшествующих периодов);

5) анализ взаимосвязей между индикаторами, а также между формирующими их показателями.

В настоящей работе для агрегирования нескольких социологических и статистических показателей используются статистические процедуры компонентного анализа. Этот метод позволяет найти наилучшее представление линейной свертки нескольких показателей в один. Такую свертку далее мы называем индексом. В результате будут построены и проанализированы различные индексы, характеризующие условия жизни и самочувствие населения, а также выявлены наиболее значимые взаимосвязи между индексами и внешними факторами.

Используемые данные. Информационной основой исследования являются данные двух видов: официальная статистика и результаты социологических опросов в регионах России в конце 2016 г. Опросы проводились методом интервьюирования по квотной выборке в городских и сельских населенных пунктах европейской части России (всего 47). В каждом регионе были опрошены от 400 до 600 человек. Обобщенные ответы респондентов на соответствующие вопросы анкеты по каждому региону далее принимались за отдельное наблюдение. Наряду с ними также использовались данные официальной статистической отчетности о некоторых показателях социально-экономического развития регионов, характеризующих экономический потенциал и состояние общественной безопасности.

В работе (Гаврилец и др., 2018) нами были обоснованы, построены и рассчитаны для регионов России индекс удовлетворенности населения условиями жизни, индекс обеспокоенности населения бытовыми проблемами и индекс лояльности населения к власти. Эти индексы представляют собой значения первых главных компонент с долей объясняющей дисперсии свыше 50%. Существенно, что полученные шкалы измерения индексов оказались интервальными, т.е. определяемыми с точностью до положительного линейного преобразования. Поэтому термины типа “температура обеспокоенности” или “градус социальной напряженности” приобретают вполне ясный и оправданный смысл. Эти индексы используются в данной статье для оценки корреляционных связей и построения регрессионных отношений.

Оценка населением удовлетворенности условиями жизни. Удовлетворенность условиями и качеством жизни является важным фактором социального самочувствия населения. В работе (Гаврилец др., 2018) были приведены результаты расчетов индекса удовлетворенности населения условиями жизни по обобщенным ответам на восемь вопросов анкеты: об удовлетворенности материальным положением, состоянием экономики, сельского хозяйства, ЖКХ, здравоохранения, образования, культуры, а также отношениями с мигрантами. Опрос был проведен в октябре 2016 г.

Рассчитанные значения первой главной компоненты считались количественным выражением удовлетворенности населения условиями жизни. В табл. 1 приведены десять регионов, лидирующих по индексу удовлетворенности, и десять регионов с самым низким индексом удовлетворенности. Также было показано, что полученная шкала измерения удовлетворенности является интервальной и позволяет сравнивать между собой регионы по этому параметру.

Таблица 1. Ранжированные значения индекса удовлетворенности населения условиями жизни (ИУН) по регионам европейской части России

Лидеры	ИУН	Ранг	Аутсайдеры	ИУН	Ранг
г. Санкт-Петербург	1,98	1	Новгородская область	–1,59	47
Белгородская область	1,93	2	Республика Калмыкия	–1,23	46
Республика Татарстан	1,89	3	Тверская область	–1,21	45
Московская область	1,29	4	Саратовская область	–1,20	44
Калужская область	0,97	5	Республика Карелия	–1,11	43
Воронежская область	0,96	6	Кировская область	–1,06	42
Краснодарский край	0,86	7	Республика Коми	–0,88	41
Курская область	0,78	8	Костромская область	–0,79	40
Мурманская область	0,78	9	Ростовская область	–0,77	39
Тульская область	0,76	10	Вологодская область	–0,69	38

2. ПОСТРОЕНИЕ ИНДЕКСА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНОВ

Для построения индекса экономического потенциала отбирались показатели, регулярно собираемые Росстатом в разрезе регионов. В ходе анализа большой группы показателей в конечном итоге были отобраны 11 показателей, на наш взгляд, в наибольшей мере характеризующих экономический потенциал роста в регионе.

Уровень экономического развития характеризуется показателем “Валовой региональный продукт на душу населения, рублей”.

Результаты инноваций в производственной сфере представлены показателями: “Удельный вес численности высококвалифицированных рабочих мест в общей численности занятых, процентов”; “Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом региональном продукте, процентов”; “Удельный вес организаций, осуществляющих технологические, организационные, маркетинговые инновации, в общем числе обследованных организаций, процентов”.

Инвестиционную составляющую индекса отражает “Коэффициент обновления основных фондов, рублей”.

В качестве *научной компоненты индекса* среди всех рассматриваемых характеристик отдан приоритет показателям: “Численность научного персонала, человек”; “Внутренние затраты на научные исследования, рублей”; “Число научных организаций, единиц”.

Интеллектуальную и образовательную компоненты индекса несут показатели: “Численность профессорско-преподавательского персонала, человек”; “Численность студентов, обучающихся по программам бакалавриата, специалитета, магистратуры в расчете на 10 000 населения, человек”; “Число образовательных организаций высшего образования, единиц”.

Понятно, что экономическому развитию способствует наличие ресурсных возможностей, как и условия формирования демографического потенциала (уровень здравоохранения и пр.), его особенности. Однако в данной работе эти характеристики не рассматриваются в силу их качественного отличия от выбранных показателей.

По указанным показателям (на данных за 2012–2015 гг.) в разрезе 47 регионов европейской части России сформирована информационная база для расчета индекса.

Интуитивно понимаемый показатель “Индекс экономического потенциала” предполагает, что с ростом формирующих его показателей растет и сам потенциал. Фактически здесь мы конкретизируем и несколько сужаем семантическую окрестность используемого в статье показателя.

Заметим, что содержательно индекс потенциала и рассмотренный выше индекс удовлетворенности различаются. Индекс удовлетворенности однозначно привязан к перечню вопросов социологической анкеты. Что касается потенциала, его определение зависит от исследователя и однозначно, по-видимому, не может быть задано.

По всем показателям была проведена серия расчетов: для каждого года с помощью метода главных компонент были получены индексы экономического потенциала, которые являются значениями первой главной компоненты F_t ($t = 2012, ..., 2015$) с долей объясненной дисперсии 0,57. Помимо этого, в предположении, что коэффициенты, соизмеряющие показатели в формировании потенциала, постоянные, была сформирована объединенная выборка, состоящая из отклонений значений показателей от среднего по каждому году. В результате объем полученной выборки увеличился в четыре раза. При этом объясняющая сила практически не уменьшилась (табл. 2).

Как видно из данных, представленных в табл. 2, первая главная компонента объясняет 57% дисперсии, что позволяет считать ее индексом потенциала роста.

Сравнение погодовых индексов и объединенного индекса F^* показало наличие сильной линейной связи между ними, а коэффициенты и нагрузки менялись несущественно (рис. 1). Это означает, что определяемый нами индекс экономического потенциала измеряется в интервальной шкале.

Интегральный индекс потенциала роста выражается через выбранные нами показатели следующим образом:

$$F^* = 0{,}054X_1 + 0{,}147X_2 + 0{,}145X_3 + 0{,}156X_4 + 0{,}147X_5 + 0{,}146X_6 + 0{,}153X_7 + \\ + 0{,}048X_8 + 0{,}118X_9 + 0{,}041X_{10} + 0{,}078X_{11}.$$

Заметим, что все коэффициенты положительные и указывают на роль каждого показателя в формировании потенциала роста. Переменные выражены в значениях нормированной шкалы

Таблица 2. Матрица факторных нагрузок экономического потенциала роста регионов

Характеристики экономического потенциала	Фактор		
	1	2	3
Инновационная активность организаций (X_1)	0,34	0,13	–0,84
Численность научного персонала (X_2)	0,92	0,11	0,16
Внутренние затраты на научные исследования (X_3)	0,91	0,12	0,16
Число научных организаций (X_4)	0,98	0,05	0,06
Численность профессорско-преподавательского персонала (X_5)	0,92	0,03	–0,08
Численность студентов (X_6)	0,91	–0,01	–0,08
Число образовательных организаций ВО (X_7)	0,95	–0,01	0,02
Коэффициент обновления основных фондов (X_8)	0,30	–0,63	–0,21
Удельный вес численности высококвалифицированных рабочих мест (X_9)	0,73	–0,02	0,33
Доля продукции высокотехнологичных отраслей (X_{10})	0,26	0,72	–0,21
ВРП на душу населения (X_{11})	0,49	–0,62	–0,15
Доля объясненной дисперсии	0,57	0,12	0,09

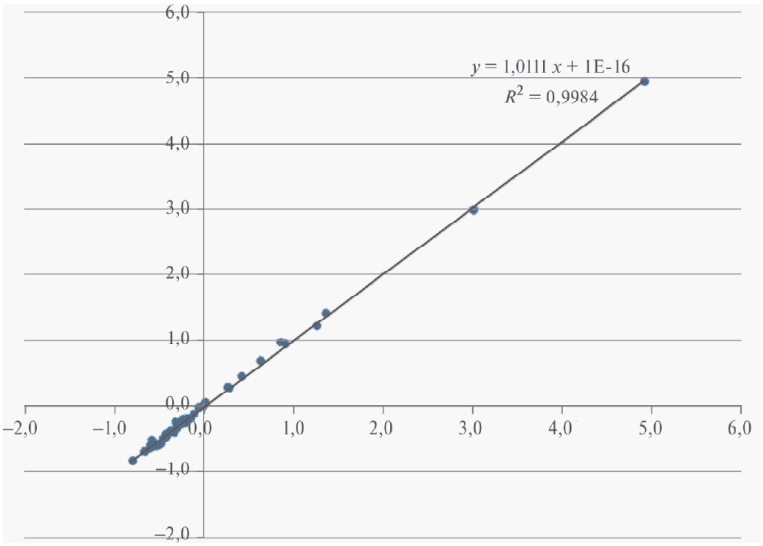


Рис. 1. Связь между шкалами значений экономического потенциала за 2015 г. (по горизонтали) и объединенной выборки за 2012–2015 гг. (по вертикали)

и отражают реальную силу влияния на потенциал. В соответствии с этим можно сказать, что основной вклад в потенциал роста имеют число научных (X_4), образовательных (X_7) организаций, численность научного персонала (X_2) и студентов (X_6). К сожалению, по сравнению с остальными показателями потенциала роль инновационной активности и отраслей высоких технологий в течение рассматриваемого периода минимальная.

Можно убедиться, что потенциал роста четко связан с масштабом региональной экономики (рис. 2). Особенно эта связь проявляется в том, что максимальное значение потенциала соответствует максимальному значению регионального выпуска. Можно также убедиться, что для регионов с ВРП меньше 1,5 млрд руб. сохраняется прежняя зависимость, хотя и с несколько меньшим показателем R^2.

Полученный интегральный индекс потенциала позволяет сравнивать регионы по значениям индекса в разные моменты времени. Значения индекса экономического потенциала для 47 регионов России приведены в Приложении в табл. П1. Данные в таблице показывают изменение индекса потенциала в течение четырех лет. Эти данные показывают, что динамика потенциала в регионах РФ серьезно различается.

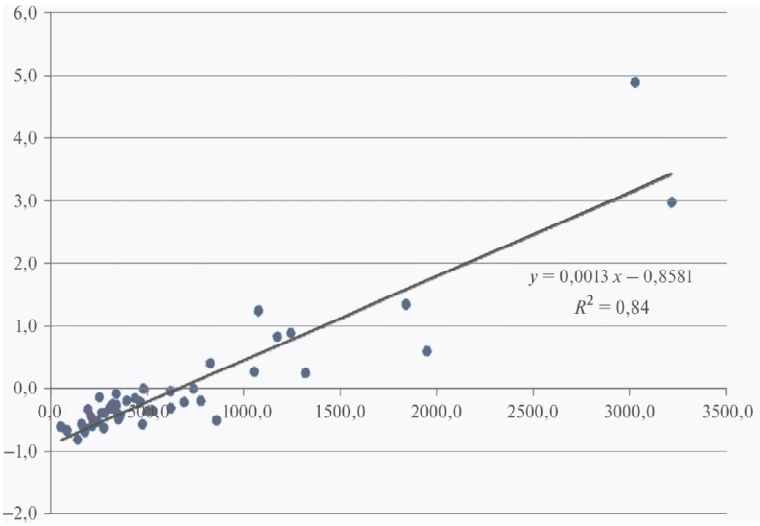


Рис. 2. Зависимость индекса экономического потенциала от ВРП (по данным за 2015 г.)

Для удобства анализа полученные значения главной компоненты по 47 регионам за четыре года были переведены в 10-балльную шкалу по формуле $X^* = 10(X - X_{min})/(X_{max} - X_{min})$. Нулевое значение было приписано минимальному значению компоненты (Псковская область в 2015 г.), а 10 баллов — максимальному значению (Санкт-Петербург в 2012 г.).

Проводимое нами исследование претендует только на методологию подхода, и в этой статье не предполагается проведения содержательного анализа экономической ситуации, вызывающей данный вид динамики (например, почему, в частности, в 2013 г. в Московской области и Татарстане наблюдался спад).

Полученные данные позволяют видеть различия в поведении регионов (рис. 3) Такие регионы, как Московская область, Татарстан, Калмыкия и некоторые другие, за три года показывают рост потенци-

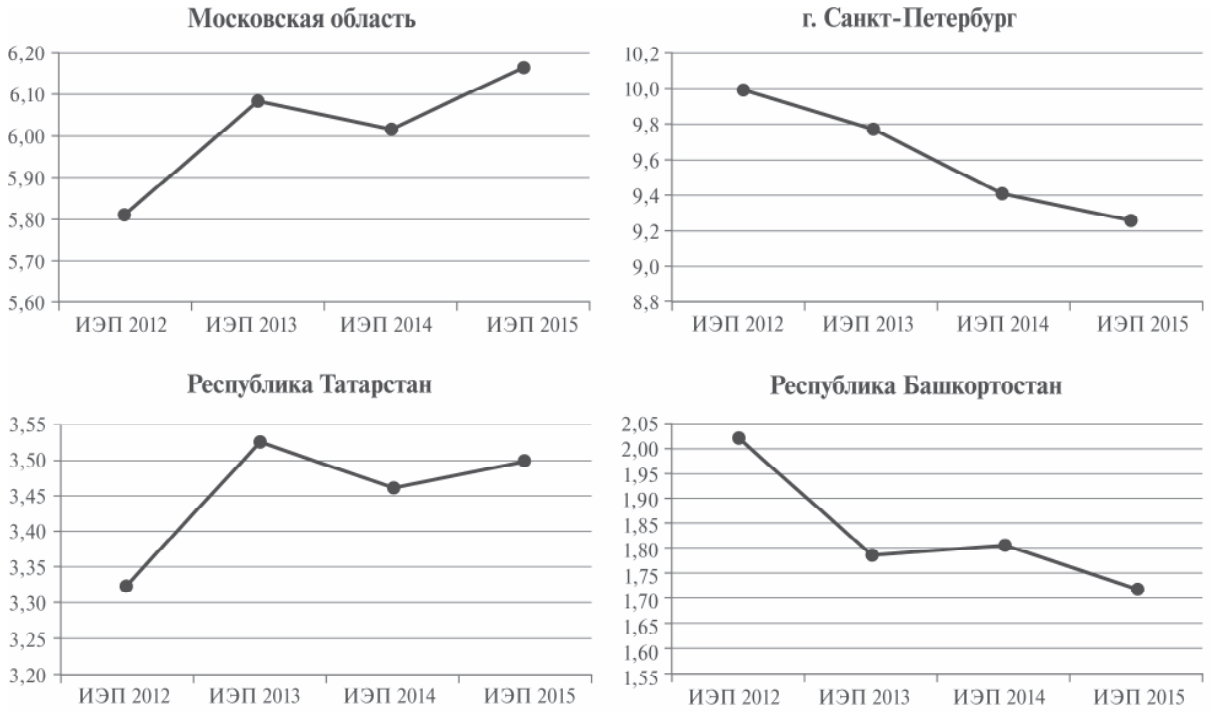


Рис. 3. Динамика изменения значений индекса экономического потенциала по отдельным регионам России

ала. Регионы типа г. Санкт-Петербурга, Ленинградской области, Башкирии и др. характеризуются падением потенциала. Также можно заметить, что часть регионов на протяжении всего рассматриваемого периода показывает устойчивый рост (Костромская, Рязанская, Астраханская обл., и др.) или падение (Башкирия, Удмуртия, Новгородская обл. и др.). В то же время некоторые субъекты РФ демонстрируют неустойчивый тренд динамики потенциала, что нуждается в дополнительном анализе.

Важно отметить, что полученные выводы основаны на выборке из 47 регионов и принятом авторами определении потенциала роста. Ниже будет показана связь индекса потенциала с другими интегральными индикаторами. В табл. 3 и 4 указаны десять регионов, для которых отмечается наибольшее изменение индекса (отрицательное или положительное соответственно).

Таблица 3. Регионы, по которым отмечено значительное снижение ИЭП

Регион	ИЭП				Снижение, 2012–2015 гг.
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	
Вологодская область	0,67	0,39	0,29	0,39	–0,28
Ивановская область	0,51	0,26	0,28	0,20	–0,31
Ленинградская область	0,91	0,71	0,58	0,50	–0,42
Республика Адыгея	0,49	0,57	0,20	0,22	–0,27
Республика Башкортостан	2,02	1,79	1,81	1,72	–0,30
Республика Коми	1,10	0,83	0,89	0,74	–0,35
Самарская область	2,97	3,01	2,81	2,76	–0,21
г. Санкт-Петербург	10,00	9,79	9,42	9,27	–0,73
Тверская область	0,87	0,71	0,44	0,60	–0,27
Республика Удмуртия	0,92	0,83	0,78	0,71	–0,20

Заметим, что за рассмотренный период экономический потенциал уменьшился для Санкт-Петербурга, Ленинградской области, Башкирии и др. В то же время он вырос для Липецкой, Кировской, Рязанской областей и др. (табл. 4). В остальных регионах существенного изменения потенциала не произошло.

Таблица 4. Регионы, по которым отмечен существенный рост ИЭП

Регион	ИЭП				Прирост 2012–2015 гг.
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	
Астраханская область	0,48	0,71	0,82	0,90	0,42
Кировская область	0,29	0,61	0,71	0,67	0,38
Костромская область	0,06	0,08	0,15	0,38	0,32
Липецкая область	0,44	0,93	0,90	0,95	0,51
Московская область	5,81	6,09	6,02	6,17	0,35
Мурманская область	0,75	0,87	0,84	1,00	0,25
Республика Калмыкия	0,03	0,27	0,31	0,34	0,30
Республика Мордовия	0,46	0,69	0,88	0,76	0,30
Рязанская область	0,67	0,81	0,85	0,90	0,23
Тульская область	1,06	0,86	1,08	1,32	0,26

Характеристика уровня региональной безопасности. В работе (Гаврилец и др., 2016) были построены индексы обеспокоенности и социальной стабильности по данным социологического опроса, проведенного в 2016 г. В настоящей работе используется прежний индекс обеспокоенности, а проблема общественной безопасности рассмотрена по-другому с целью увеличения ясности и статистической значимости получаемых индексов. Вместо одного показателя мы рассматриваем два: первый характеризует отношение населения к органам правопорядка, второй — социальную обеспокоенность населения наиболее опасными правонарушениями (терроризм, национальные конфликтыи др.).

3. ПОСТРОЕНИЕ ИНДЕКСОВ БЕЗОПАСНОСТИ

3.1. Индекс доверия органам правопорядка. Для построения индекса доверия органам правопорядка были использованы показатели, характеризующие субъективное отношение населения к деятельности органов внутренних дел (ОВД): доверие и удовлетворенность деятельностью, а также показатель, характеризующий удовлетворенность населения уровнем защищенности их конституционных прав. По данным социологического опроса были получены числа, характеризующие процент положительных и отрицательных ответов на вопросы об удовлетворенности и доверии. Исходные показатели для расчета индекса отношения к органам правопорядка получены как разность между процентами положительных и отрицательных ответов на соответствующие вопросы. В табл. 5 приведены значения факторных нагрузок этого индекса.

Таблица 5. Факторные нагрузки на показатели доверия органам правопорядка, 2016 г.

Показатель доверия	Фактор		
	1	2	3
Удовлетворенность защищенностью конституционных прав	0,84	–0,54	0,02
Доверие к ОВД	0,91	0,23	–0,33
Удовлетворенность деятельностью ОВД	0,91	0,27	0,32
Доля объясненной дисперсии	0,79	0,14	0,07

Были получены значения индекса для 47 регионов по первой главной компоненте, поскольку она объясняет более трех четвертей общей дисперсии. Эти значения далее используются для анализа взаимосвязей между всеми индексами.

Для построения индекса социальной обеспокоенности также использовались результаты социологического опроса 2016 г., в которых содержатся данные об уровне обеспокоенности населения (в процентах) по различным аспектам безопасности в регионе. Уровень обеспокоенности в каждом регионе характеризовался процентом опрошенных, указавших данную проблему как важную. В табл. 6 приведены значения факторных нагрузок для оценки безопасности. Индекс социальной обеспокоенности может быть принят в качестве первой главной компоненты, хотя его объясняющая сила меньше, чем в предыдущем случае (54% всей дисперсии).

Индекс социальной обеспокоенности линейно может быть выражен как $G = 0{,}35Y_1 + 0{,}24Y_2 + 0{,}38Y_3 + 0{,}38Y_4$.

Таблица 6. Факторные нагрузки на показатели социальной обеспокоенности, 2016 г.

Показатель социальной обеспокоенности	Фактор			
	1	2	3	4
Обеспокоенность высоким уровнем преступности (Y_1)	0,75	0,36	–0,49	0,25
Обеспокоенность недостаточной соцзащитой (Y_2)	0,51	–0,83	–0,23	–0,08
Обеспокоенность террористической угрозой (Y_3)	0,82	0,26	0,11	–0,49
Обеспокоенность национальными конфликтами (Y_4)	0,81	–0,09	0,49	0,32
Доля объясненной дисперсии	0,54	0,22	0,14	0,10

3.2. Индекс личной безопасности. Важным фактором удовлетворенности населения условиями жизни является состояние безопасности в регионе. Для построения индекса личной безопасности мы также используем метод главных компонент. В расчетах использовались показатели официальной статистической отчетности о числе зарегистрированных преступлений по видам: убийства, причинение вреда здоровью, изнасилования, грабежи, разбои, кражи, нормированные на численность населения в регионах.

Как показали расчеты (табл. 7), факторные нагрузки по показателям преступности для первой главной компоненты отрицательные, что позволяет нам называть ее значения индексом личной безопасности. Значения индексов, характеризующих ситуацию с безопасностью в регионах, приведены в Приложении в табл. П2.

Таблица 7. Факторные нагрузки показателей региональной безопасности, 2016 г.

Показатель региональной безопасности	Фактор					
	1	2	3	4	5	6
Убийства, на душу населения	–0,77	0,43	–0,24	–0,33	0,24	0,04
Причинение вреда, на душу населения	–0,78	0,46	–0,30	0,03	–0,29	–0,02
Изнасилования, на душу населения	–0,49	0,51	0,69	0,16	0,03	–0,04
Грабежи, на душу населения	–0,84	–0,41	–0,09	0,16	0,07	–0,30
Разбои, на душу населения	–0,65	–0,52	0,33	–0,43	–0,12	0,06
Кражи, на душу населения	–0,84	–0,31	–0,07	0,35	0,06	0,26
Доля объясненной дисперсии	0,54	0,20	0,12	0,08	0,03	0,03

Для оценки линейных связей между индексами, характеризующими ситуацию с безопасностью в регионах, по данным их значений по 47 регионам России с использованием пакета “Статистика” построим корреляционную матрицу (табл. 8). Как следует из данных таблицы, значимой корреляции между этими тремя индексами не выявлено, хотя знаки не противоречат содержательной логике.

Таблица 8. Матрица корреляций между индексами, характеризующими ситуацию с безопасностью в регионах, 2016 г.

Индекс	Индекс социальной обеспокоенности	Индекс личной безопасности	Индекс доверия ОВД
Индекс социальной обеспокоенности	1,00	0,06	0,15
Индекс личной безопасности	0,06	1,00	–0,31
Индекс доверия ОВД	0,15	–0,31	1,00

4. АНАЛИЗ ЛИНЕЙНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ИНДЕКСАМИ

Добавим к упомянутым индексам индекс удовлетворенности населения условиями жизни и индекс *бытовой обеспокоенности,* построенные в работе (Гаврилец и др., 2018) для тех же самых 47 регионов России, а также сформированный выше индекс экономического потенциала роста регионов. Корреляции между шестью интегральными индексами, показывающие линейные тренды региональных связей, приведены в табл. 9.

Таблица 9. Матрица корреляций между шестью интегральными индексами

Индекс	Индекс удовлетворенности	Индекс потенциала	Индекс обеспокоенности (бытовой)	Индекс личной безопасности	Индекс социальной обеспокоенности	Индекс доверия органам правопорядка
Индекс удовлетворенности	1	0,48	–0,61	0,43	0,22	0,48
Индекс потенциала	0,48	1	–0,5	0,07	0,6	–0,07
Индекс обеспокоенности (бытовой)	–0,61	–0,5	1	–0,35	0,21	0,01
Индекс личной безопасности	0,43	0,07	–0,35	1	–0,11	0,33
Индекс социальной обеспокоенности	0,22	0,6	0,21	–0,11	1	0,15
Индекс доверия органам правопорядка	0,48	–0,07	0,01	0,33	0,15	1

Данные, представленные в табл. 9, показывают значимую связь между общей удовлетворенностью населения условиями жизни, потенциалом экономического роста, социальной и бытовой обеспокоенностью и доверием к органам правопорядка, имеющую естественный смысл. Значимая и естественная связь выявляется между индексом бытовой обеспокоенности, индексом личной безопасности и индексом экономического потенциала. Также выявлена связь между индексом личной безопасности и отношением к органам правопорядка. В регионах с более высоким уровнем потенциала роста наблюдаются более высокие значения социальной обеспокоенности. Возможно,

население регионов с большим числом научных и образовательных организаций более остро реагирует на проблемы террористических угроз, национальных конфликтов и преступности в целом.

Для анализа влияния на индекс удовлетворенности интегральных индексов была построена соответствующая регрессионная модель. Выяснилось, что влияние индексов социальной обеспокоенности и личной безопасности оказалось незначимым. В регрессии, построенной без этих переменных, величина R^2 детерминации практически не изменилась, а интерпретация коэффициентов имеет естественный смысл (табл. 10).

Таблица 10. Характеристики регрессионной зависимости от четырех интегральных индексов

Интегральный индекс	Коэффициент регрессии	Стандартизованный коэффициент регрессии	*t*-статистика	*p*-значение
Индекс потенциала, 2016 г. (x_1)	0,24	0,27	2,66	0,01
Индекс обеспокоенности (бытовой) 2016 г. (x_2)	–0,48	–0,48	–4,72	0,00
Индекс доверия органам правопорядка, 2016 г. (x_3)	0,43	0,50	5,64	0,00
Константа	0,07		0,94	0,35

Примечание. Зависимая переменная: Y — индекс удовлетворенности, 2016 г.; $R = 0{,}81$; $R^2 = 0{,}66$; скорректированный $R^2 = 0{,}64$; $F(3{,}43) = 28{,}294$.

Обратим внимание, что все переменные в уравнении регрессии значимы, на что указывают соответствующие значения *t*-статистик и *p*-значения. Зависимость имеет вид $y = 0{,}24E_1 - 0{,}48E_2 + 0{,}43E_3 + 0{,}07$.

Проанализировав данные, представленные в табл. 10, можно уверенно утверждать, что в регионах РФ с большим значением потенциала роста наблюдается и большая удовлетворенность условиями жизни. Следует также отметить, что росту удовлетворенности способствует одобрение деятельности органов правопорядка. В то же время четко прослеживается отрицательное влияние на удовлетворенность индекса бытовой обеспокоенности населения.

В целом полученные коэффициенты множественной регрессии свидетельствуют о том, что используемые при расчетах и анализе данные (объективные — по экономическому потенциалу роста регионов, и социально-психологические — по данным опроса населения в 47 регионах) не противоречат друг другу, а, напротив, образуют некую естественную гармонию.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье принимается определенная методология построения и использования интегральных индексов. Во-первых, подчеркивается, что вводимые индексы должны быть четко привязаны к некоторой социальной подсистеме, описываемой набором взаимосвязанных показателей. Во-вторых, подобранная исходная группа первичных показателей определяет тип шкалы, в которой измеряется индекс. Поэтому необходимо четко представлять характер этой шкалы. В нашем случае можно считать все шкалы индексов интервальными.

Мы остаемся привержены известному методу главных компонент только в случае, когда доля дисперсии, приходящаяся на первую главную компоненту, превосходит 50%. Это позволяет нам для анализа связей между индексами использовать не только коэффициенты корреляции, но и рассматривать множественные регрессии со своими коэффициентами детерминации, как было показано выше.

Не проводя конкретного анализа социально-экономической ситуации в регионах, мы имеем возможность характеризовать эту ситуацию не десятками первичных показателей, а пятью. Одновременно компонентный анализ позволяет указывать наиболее важные первичные признаки, влияющие на удовлетворенность, социальную обеспокоенность, доверие к органам правопорядка и т.д.

Рассматривая индексы по отдельности, можно среди регионов выявлять явных лидеров и явных аутсайдеров. Полученные значения интегральных индексов дают возможность проводить классификацию регионов разными методами и получать наборы кластеров различной природы.

Анализ связей между индексами дает возможность проводить условные прогнозы согласно линейному тренду (по значимым корреляционным связям). Например, переходя от региона с низким значением индекса личной безопасности к региону с высоким уровнем, можно быть уверенным, что уровень обеспокоенности будет падать. Однако ограничиваться только корреляционными связями недостаточно. Так, личная безопасность имеет значительную корреляцию с удовлетворенностью, но не влияет на нее непосредственно. Более обоснованным условный прогноз становится, когда он опирается не на парные корреляции, а на коэффициенты множественной регрессии. Параметры регрессии, представленные в табл. 10, позволяют более или менее уверенно говорить (в среднем) о степени удовлетворенности населения региона, зная значения индексов потенциала роста, обеспокоенности и отношение к органам внутренних дел.

Индексы потенциала роста (Приложение, табл. П1) позволяют уже сегодня строить экстраполяционные прогнозы по четырем точкам, особенно для тех регионов, где изменения были достаточно плавными.

Для продолжения научных исследований данного направления необходимо иметь: данные за разные моменты времени, данные, характеризующие внешнюю среду рассматриваемых социальных подсистем, информацию о возможных управляющих воздействиях на процессы. Желательно иметь более однородную выборку при получении тех или иных интегральных характеристик.

В заключение подчеркнем, что разработанные в статье статистические модели могут быть предложены для применения в работе региональных ситуационных центров, являющихся элементами создаваемой в стране с*истемы распределенных ситуационных центров*, предназначенных в том числе для выработки рекомендаций *для решения задач регионального управления*.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1. Динамика индекса потенциала регионов, 2012–2015 гг.

Регион	ИЭП			
	2012	2013	2014	2015
Белгородская область	1,04	0,99	0,98	0,95
Брянская область	0,38	0,33	0,46	0,30
Владимирская область	0,66	0,59	0,67	0,61
Воронежская область	1,95	1,93	1,98	1,96
Ивановская область	0,51	0,26	0,28	0,20
Калужская область	1,21	1,33	1,26	1,20
Костромская область	0,06	0,08	0,15	0,38
Курская область	0,98	0,87	0,96	0,86
Липецкая область	0,44	0,93	0,90	0,95
Московская область	5,81	6,09	6,02	6,17
Орловская область	0,52	0,44	0,52	0,59
Рязанская область	0,67	0,81	0,85	0,90
Смоленская область	0,57	0,62	0,60	0,68
Тамбовская область	0,56	0,51	0,57	0,53
Тверская область	0,87	0,71	0,44	0,60
Тульская область	1,06	0,86	1,08	1,32
Ярославская область	0,89	0,80	0,85	1,04
Республика Карелия	0,41	0,34	0,38	0,34
Республика Коми	1,10	0,83	0,89	0,74
Архангельская область	0,87	0,74	0,80	0,80
Вологодская область	0,67	0,39	0,29	0,39

Окончание табл. П1

Регион	ИЭП			
	2012	2013	2014	2015
Калининградская область	0,79	0,87	0,73	0,78
Ленинградская область	0,91	0,71	0,58	0,50
Мурманская область	0,75	0,87	0,84	1,00
Новгородская область	0,54	0,38	0,37	0,44
Псковская область	0,09	0,14	0,27	0,00
г. Санкт-Петербург	10,00	9,79	9,42	9,27
Республика Адыгея	0,49	0,57	0,20	0,22
Республика Калмыкия	0,03	0,27	0,31	0,34
Краснодарский край	2,31	2,47	2,34	2,31
Астраханская область	0,48	0,71	0,82	0,90
Волгоградская область	1,33	1,32	1,44	1,30
Ростовская область	2,81	2,74	2,78	2,67
Республика Башкортостан	2,02	1,79	1,81	1,72
Республика Марий Эл	0,31	0,36	0,31	0,30
Республика Мордовия	0,46	0,69	0,88	0,76
Республика Татарстан	3,32	3,53	3,46	3,50
Республика Удмуртия	0,92	0,83	0,78	0,71
Республика Чувашия	0,95	1,01	0,92	1,10
Пермский край	1,71	1,65	1,58	1,75
Кировская область	0,29	0,61	0,71	0,67
Нижегородская область	3,15	3,09	3,30	3,34
Оренбургская область	0,83	1,01	0,99	0,98
Пензенская область	0,88	0,79	1,12	0,91
Самарская область	2,97	3,01	2,81	2,76
Саратовская область	1,27	1,32	1,33	1,26
Ульяновская область	0,99	0,87	0,82	0,82

Таблица П2. Значения индексов, характеризующих безопасность в регионах в 2016 г.

Регион	Индекс социальной обеспокоенности	Индекс личной безопасности	Индекс доверия к органам правопорядка
Белгородская область	0,68	1,76	3,15
Брянская область	0,61	0,43	–0,48
Владимирская область	0,00	–0,57	0,97
Воронежская область	–1,28	–0,33	–0,41
Ивановская область	0,45	–0,43	0,05
Калужская область	0,16	–0,84	0,62
Костромская область	0,47	0,58	–0,19
Курская область	0,22	1,08	1,38
Липецкая область	1,04	0,88	–1,01
Московская область	–0,96	–0,14	–0,29
Орловская область	1,06	0,95	0,95
Рязанская область	–0,11	1,33	0,16
Смоленская область	0,85	0,05	–0,10
Тамбовская область	1,23	1,50	–0,50
Тверская область	–0,22	–0,48	–0,61
Тульская область	0,50	0,88	2,54
Ярославская область	0,55	–0,88	–0,17
Республика Карелия	–0,20	–1,92	–0,52
Республика Коми	0,42	–2,21	–0,52

Окончание табл. П2

Регион	Индекс социальной обеспокоенности	Индекс личной безопасности	Индекс доверия к органам правопорядка
Архангельская область	0,29	–2,00	0,10
Вологодская область	0,79	–1,26	–0,98
Калининградская область	0,02	–0,12	–1,39
Ленинградская область	–0,42	–0,10	1,01
Мурманская область	–0,29	–0,21	0,55
Новгородская область	–0,99	–1,88	–0,87
Псковская область	–0,03	–0,31	1,00
г. Санкт-Петербург	–3,02	0,57	–0,48
Республика Адыгея	–0,46	1,28	1,14
Республика Калмыкия	–0,05	0,65	0,34
Краснодарский край	–3,26	0,68	–0,10
Астраханская область	–0,54	0,49	–0,73
Волгоградская область	–1,75	–0,20	–2,26
Ростовская область	–1,19	0,06	–0,58
Республика Башкортостан	0,42	–0,53	–0,76
Республика Марий Эл	0,39	0,30	–0,45
Республика Мордовия	1,62	1,31	0,26
Республика Татарстан	–0,92	0,09	1,92
Республика Удмуртия	–0,24	–1,13	0,25
Республика Чувашия	1,24	0,80	0,49
Пермский край	1,36	–1,53	–0,02
Кировская область	0,66	–0,28	–1,02
Нижегородская область	–0,38	0,01	–0,07
Оренбургская область	–0,80	–0,15	–0,20
Пензенская область	0,71	1,74	0,20
Самарская область	0,15	0,15	–0,22
Саратовская область	0,17	0,93	–1,70
Ульяновская область	1,07	–1,01	–0,43

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Айвазян С. (2012). Анализ качества и образа жизни населения. Эконометрический подход. М.: Наука.

Айвазян С., Афанасьев М., Кудров А. (2016). Метод кластеризации регионов РФ с учетом отраслевой структуры ВРП // *Прикладная эконометрика*. № 1. С. 26–27.

Балацкий Е.В. (2005). Факторы удовлетворенности жизнью: измерение и интегральные показатели // *Мониторинг общественного мнения*. № 4 (76). С. 44–48.

Волкова М. (2010). Сравнение объективистского и субъективистского подходов к измерению синтетических латентных категорий качества жизни населения: результаты эмпирического анализа российских данных // *Прикладная эконометрика*. № 3. С. 62–90.

Гаврилец Ю., Клименко К., Кудров А. (2016). Статистический анализ факторов социальной напряженности в России // *Экономика и математические методы*. № 1. С. 90–111.

Гаврилец Ю., Никитин С., Черненков М. (2018). Оценка населением качества жизни и социальная стабильность в регионах России. М.: Институт прикладной математики имени В.Г. Келдыша.

Давыдов А. (1995). Индекс социального неблагополучия // *Социологические исследования*. № 10. С. 118–128.

Дзоло Д. (2010). Демократия и сложность: реалистический подход. М.: Изд. дом Государственного университета Высшей школы экономики.

Заславская Т.И. (2004). Современное российской общество: социальный механизм трансформации. М.: Дело.

Иванова Е. (2017). Рейтинг регионов России по уровню качества жизни. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://basetop.ru/reyting-regionov-rossii-po-urovnyu-kachestvu-zhizni-2017/, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: июнь 2018 г.).

Лига М.Б. (2006). Качество жизни как основа социальной безопасности: монография. Константинов М.В. (ред.). М.: Гардарики.

Луман Н. (2007). Социальные системы. Очерк общей теории. Газиев И.Д. (пер. с нем.); Головин Н.А. (ред.). СПб.: Наука.

Маслоу А.Г. (1999). Мотивация и личность. СПб.: Евразия.

Осипов Г.В. (2002). Социология и социальное мифотворчество. М.: Норма — Инфра-М.

Римашевская М., Бочкарева В., Волкова Г., Корчагина Л. (2012). Региональные особенности уровня и качества жизни. Монография. М.: ИСЭПИ РАН, ООО "М–Студио".

Desai M. (2002). Marx's Revenge: The Resurgence of Capitalism and the Death of Statist Socialism. London: Verso.

Hagerty M.R., Cummins R.A., Ferriss A.L., Land K., Michalos A.C., Peterson M. et al. (2001). Quality of Life Indexes for National Policy. Davis: Graduate School of Management University of California.

Measuring Human Development Index: The Old, the New and the Elegant (2013). [Электронный ресурс] Indira Gandhi Institute of Development Research, Mumbai October 2013. Режим доступа: http://www.igidr.ac.in/pdf/publication/WP-2013–020.pdf, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: июнь 2018 г.).

Sen A. (2010). The Idea of Justice. London: Penguin Books Ltd.

REFERENCES (with English translation or transliteration)

Aivasyan S. (2012). Analysis of the Quality and Lifestyle of the Population. Econometric Approach. Moscow: Nauka (in Russian).

Aivasyan S., Afanasiev M., Kudrov A. (2016). Clustering Method of Regions of the Russian Federation Taking into Account the Sectoral Structure of GRP. *Applied Econometrics,* 1, 26–27 (in Russian).

Balatsky E. (2005). Factors of Life Satisfaction: Measurement and Evaluation. *Monitoring of Public Opinion*, 4, (76), 44–48 (in Russian).

Davydov A. (1995). Index of social disadvantage. *Sociological research,* 10, 118–128 (in Russian).

Desai M. (2002). Marx's Revenge: The Resurgence of Capitalism and the Death of Statist Socialism. London: Verso.

Dzolo D. (2010). Democracy and Complexity: A Realistic Approach. Moscow: NRU — HSE (in Russian).

Gavrilets Y., Klimenko K., Kudrov A. (2016). Statistical analysis of the social tension factors in Russia. *Economics and Mathematical Methods*, 1, 90–111 (in Russian).

Gavrilets Y., Nikitin S., Chernenkov M. (2018). Population's Assessment of the Life Quality and Social Stability in the Regions of Russia. Moscow: Applied Mathematics Institute (in Russian).

Hagerty M.R., Cummins R.A., Ferriss A.L., Land K., Michalos A.C., Peterson M. et al. (2001). Quality of Life Indexes for National Policy. Davis: Graduate School of Management University of California.

Ivanova E. (2017). Rating of Russian Regions by Level of the Life Quality. Available at: http://basetop.ru/reyting-regionov-rossii-po-urovnyu-kachestvu-zhizni-2017/ (accessed: June 2018, in Russian).

Liga M. (2006). Life Quality as a Basis of Social Security. Moscow: Gardariki (in Russian).

Luhmann N. (2007). Social Systems. Saint Petersburg: Nauka (in Russian).

Maslow A. (1999). Motivation and Personality. Saint Petersburg: Evrazija (in Russian).

Measuring Human Development Index: The Old, the New and the Elegant. Indira Gandhi Institute of Development Research, Mumbai October 2013. Available at: http://www.igidr.ac.in/pdf/publication/WP-2013–020.pdf (accessed: June 2018).

Osipov G. (2002). Sociology and Social Myth Creation. Moscow: Norma — Infra-M (in Russian).

Rimashevskaya M., Bochkareva V., Volkova G., Korchagina L. (2012). Regional Features of the Level and Quality of Life. Moscow: ISEPI RAN, "M-Studio" (in Russian).

Sen A. (2010). The Idea of Justice. London: Penguin Books Ltd.

Volkova M. (2010). Comparison of Objectivist and Subjectivist Approaches to Measuring Synthetic Latent Categories of the Life Quality: Results of Empirical Analysis of Russian Data. . *Applied Econometrics,* 3, 62–90 (in Russian).

Zaslavskaya T. (2004). Modern Russian Society. Social Mechanism of Transformation. Moscow: Delo (in Russian).

Aggregated Indices of Public Opinion on the Life Quality in Russian Regions

Yu.N. Gavrilets*, M.V. Chernenkov, S.A. Nikitin*****

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

** E-mail: yurkag@mail.ru ** E-mail: mcher51@mail.ru*
**** E-mail: nikitinnn@yandex.ru*

Received 16.05.2018

This study was supported by the Russian Science Foundation (project 17-18-01080).

The article offers methodological approaches to the study of features and differences in the population's assessments of living conditions in the regions of Russia. An attempt is made to build aggregated indices that characterize the economic growth potential, the aggregate opinion and estimates of the population of regions, the social concern of citizens and the level of public security. For this purpose, we use data from special sociological surveys and official statistics on 47 subjects of the Russian Federation. Aggregated indices are calculated using the principal component method. Statistical relationships between the constructed indices are investigated, a regression model is constructed that characterizes the dependence of the population's satisfaction on living conditions from the level of economic potential, concern and trust to law enforcement agencies. A comparative analysis of the possibilities of economic growth of regions, levels of satisfaction and concern of the population is carried out. The dynamics of economic potential growth in the regions of the Russian Federation is also analyzed, taking into account the possibility of forecasting and application in social management.

Keywords: regions of Russia, sociological research, quality of life, social concern, economic potential, regional security, main components method, regression analysis, conditional forecast.

JEL Classification: C53.

DOI: 10.31857/S042473880004045-8

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, 2019, том 55, № 1, с. 116–125

НАУЧНЫЕ ОБСУЖДЕНИЯ

Стандартный 13-месячный эталонный календарь Медлера — Менделеева — Морозова и его применение для индустриализации космического общества

© 2019 г. С.Л. Морозов

ЦЭМИ РАН, Москва

E-mail: elbimru@gmail.com

Поступила в редакцию 15 января 2019 г.

До сих пор не существует ни единого всемирного стандарта, ни единого глобального эталона календарного года. Космическое общество — шестая общественно-экономическая формация нашей Цивилизации. Имеется две, принципиально разные, диаметрально противоположные, точки зрения на космическую идеологию: 1) геоцентрическая (из Земли на Космос); 2) космоцентрическая, или астроцентрическая (из Космоса на Землю). Шестая общественно-экономическая формация (космическая) является космоцентрической, и этим она отличается от пяти предыдущих (чисто земных, геоцентрических) общественно-экономических формаций (первобытнообщинной, рабовладельческой, феодальной, капиталистической и социалистической (коммунистической)). Задача ее теоретического описания состоит в том, чтобы взглянуть из Космоса на Землю как на один из многих космических кораблей Цивилизации и воспринять Землю как обычную часть природы Космоса (космоцентризм). Ориентирами для космонавтов-астронавтов в Космосе будут 88 созвездий, а не боги Древнего Египта, Греции и Рима. В Космосе нет ни земного верха, ни низа, ни дня, ни ночи, ни сезонов года, ни равноденствий, ни солнцестояний, ни разновеликих месяцев года, нет фаз Луны. В Космосе, в частности, не имеет смысла ни один из существующих сегодня средневековых геоцентричных клерикальных земных *аналоговых эллиптических календарей* (их насчитывается около 40), имеющих в качестве названий месяцев древнеримских и древнегреческих богов и богинь. Для целей астронавигации и астродинамики в космосе они совершенно бесполезны. Поэтому NASA (США) для целей исключительно астронавигации и астродинамики с 13 января 2016 г. ввело 13-й зодиак — Змееносец (Ophiuchus-Serpentarius-Apheuhus) — в свою календарную систему и открыто об этом объявило. Космическое общество будет иметь стандартный 13-месячный эталонный *математический календарь года*, ориентированный на 88 главных созвездий Вселенной, занесенных в Каталог ярких звезд 1928 г., из которых 13 зодиакальных созвездий находятся на эклиптике Солнца. Этот календарь будет показывать *единое время* во всех космических кораблях Человечества во Вселенной, включая Землю — как один из таких космических кораблей. В статье изложены фундаментальные принципы математического, стандартного 13-месячного эталонного зодиакального календаря.

Ключевые слова: стандартный Медлера — Менделеева — Морозова календарь; стандартный 13-месячный эталонный календарь; сингулярная точка времени “1 января 2013 г. (2013-I-01 00:00:00.000000000)”; ошибка запаздывания (отставания) в коде учета времени ISO 8601; космическое общество — шестая общественно-экономическая формация Цивилизации; геоцентризм; космоцентризм; астроцентризм; единое время во всех космических кораблях Человечества во Вселенной.

Классификация JEL: C60, F55, F59.

DOI: 10.31857/S042473880003983-0

1. ГЕЛИАКАЛЬНЫЙ ГОД ЗВЕЗДЫ СИРИУС — ЭТАЛОННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ХРОНОМЕТР ЕГИПЕТСКИХ ЖРЕЦОВ

Годичный (годовой) цикл звезды Сириус имел особое значение в Древнем Египте. Жрецы заметили, что 295¼ суток звезда Сириус хорошо видна в Северном полушарии на широте Мемфиса, но затем 70 суток она видна только в Южном полушарии Земли. Ее очередное первое циклическое появление в Северном полушарии в лучах восходящего утреннего Солнца после 70 суток отсутствия оказалось исключительно стабильным. Этот годичный цикл звезды Сириус получил научное на-

звание гелиакального года звезды Сириус. Для сельского хозяйства Древнего Египта восхождение этой звезды имело исключительное значение, так как оно удивительно коррелировало как с разливом реки Нил, так и с началом тропического года Солнца.

Тропический год Солнца составляет промежуток времени, равный промежутку времени между двумя последовательными солнцестояниями на тропике (Рака или Козерога). Он вычисляется математически, исходя из базового, сопряженного с ним исторически гелиакального года звезды Сириус. Это был трехсезонный (каждый сезон продолжительностью четыре месяца) египетский календарь со следующими сезонами (периодами): 1) разлива реки Нил и посева ячменя и пшеницы, 2) уборки урожая, 3) засухи.

Звезда Сириус в течение 295¼ суток была хорошо видна в Северном полушарии. Затем на 70 суток она исчезала из поля зрения наблюдателей, перемещаясь из Северного полушария в Южное, и снова появлялась в лучах восходящего Солнца (т.е. гелиакально) в Северном полушарии, знаменуя таким образом новый годовой цикл.

Гелиакальный год звезды Сириус составлял ровно 365¼ суток (295¼ суток + 70 суток = = 365¼ суток = 365 ($^{32}/_{128}$) суток = 365,25 суток = 365 суток 6 часов).

Этот природный астрономический феномен был очень стабильным в течение нескольких тысячелетий. Это был уникальный по точности эталонный природный хронометр египетских жрецов, который давал им абсолютную власть над населением Египта. Жрецы, благодаря своим уникальным астрономическим знаниям, точно предсказывали дату начала разлива реки Нил и связанных с этим событием начало всех сельскохозяйственных работ.

Речь идет именно о гелиакальном годе Сириуса, продолжительность которого на протяжении многих тысячелетий была равной 365,25 суток (365 суток 6 часов) с точностью до ± (1÷1,5 секунды). По расчетам выдающегося австрийского астронома Теодора Оппольцера (1841–1886)[1], стандартный гелиакальный год Сириуса был равен:

в 4236 г. до н.э.— 365 суток 5 часов 59 минут 46 секунд,

в 2776 г. до н.э.— 365 суток 6 часов 00 минут 08 секунд,

в 1318 г. до н.э.— 365 суток 6 часов 00 минут 43 секунды,

в 139 г.н.э.— 365 суток 6 часов 01 минут 29 секунд.

В 46 г. до н.э. гелиакальный календарь звезды Сириус был перенесен из Египта в Рим легендарным Гаем Юлием Цезарем, где до него не было египетского 12-месячного трехсезонья звезды Сириус, но были четыре тропических 3-месячных сезона звезды Солнца.

Сезонный тропический год звезды Солнца (365 ($^{31}/_{128}$) = 365,2421875 суток) оказался на $^{1}/_{128}$ суток короче гелиакального года звезды Сириус, что обнаружили впервые в 325 году н.э. на Никейском соборе, когда расчетная дата весеннего равноденствия в календаре переместилась на трое суток (46 + 325 = 371/128 = 2,898 ≈3 суток) с 18 марта 46 г. до н.э. на 21 марта 325 г. н.э. При этом астрономическое равноденствие реально никуда не сдвигалось. Такой неточный для годового цикла звезды Солнца расчетный юлианский календарь звезды Сириус нуждается в солнечной коррекции:

$$(365\,^{32}/_{128}\text{ суток}) - {}^{1}/_{128}\text{ суток} = (365 + {}^{31}/_{128})\text{ суток} = 365{,}2421875\text{ суток}.$$

Поэтому после коррекции в цикле 128 лет солнечного тропического года получился 31 високосный год и 97 невисокосных лет (31 + 97 = 128 лет), вместо 32 високосных и 96 невисокосных в базовом расчетном юлианском календаре (32 + 96 = 128 лет) гелиакального года звезды Сириус. Таким образом, точность расчетного тропического календаря после коррекции регулируется вставными, високосными, годами с частотой $^{31}/_{128}$ = 0,2421875 суток, т.е. 5 часов 48 минут 45 секунд, или 20 925 секунд. Иными словами, ошибка расчетного тропического календаря по отношению к реальному тропическому астрономическому году после математической процедуры коррекции равна нулю. Коррекция имеет идеальный по точности *усредненный* характер. Это чисто математическая процедура в полной аналогии с теоретической математической фазой Луны у евреев в их лунно-солнечном календаре патриарха Гиллеля II, введенной им в 359 г. н.э.

[1] См. “Календарь в древнем Египте” — URL: http://www.medn.ru/statyi/Kalendarvdrevnemegipte.html.

Перечень всех 31 високосных лет (перечислены в табл. 1) в первом 128-летнем цикле (2012 + 128 = = 2140 год). В високосном году к Новому году будут отнесены 29 и 30-й день Козерога и 1-й день Водолея (правило 30 дней Козерога). Для этих 31 високосных лет будет использоваться один и тот же високосный календарь.

Таблица 1. Перечень 31 високосного года

[2016	2020	2024	2028	2032	2036	2040	2044	2048	2052]		
[2056	2060	2064	2068	2072	2076	2080	2084	2088	2092]		
[2096	~~**2100**~~	2104	2108	2112	2116)	2120	2124	2128	2132	2136	2140]

В табл. 2 рассчитаны все невисокосные годы (97 простых лет) в первом цикле (2012 + 128 = = 2140 год). На все эти 97 невисокосных (простых) лет будет использоваться один и тот же невисокосный календарь. В невисокосном году к новому году будут отнесены 2 дня — *29 Козерога* и *1 Водолея* (правило 29 дней Козерога).

Таблица 2. Перечень 97 невисокосных лет

(2013	2014	2015)	(2017	2018	2019)	(2021	2022	2023)	(2025	2026	2027)
(2029	2030	2031)	(2033	2034	2035)	(2037	2038	2039)	(2041	2042	2043)
(2045	2046	2047)	(2049	2050	2051)	(2053	2054	2055)	(2057	2058	2059)
(2061	2062	2063)	(2065	2066	2067)	(2069	2070	2071)	(2073	2074	2075)
(2077	2078	2079)	(2081	2082	2083)	(2085	2086	2087)	(2089	2090	2091)
(2093	2094	2095)	(2097	2098	2099)	(**2100,** 2101	2102	2103)	(2105	2106	2107)
(2109	2110	2111)	(2113	2114	2115)	(2117	2118	2119)	(2121	2122	2123)
(2125	2126	2127)	(2129	2130	2131)	(2133	2134	2135)	(2137	2138	2139)

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ АРХИТЕКТУРА ПОСТОЯННОЙ УНИВЕРСАЛЬНОЙ 13-МЕСЯЧНОЙ ЗОДИАКАЛЬНОЙ КАЛЕНДАРНОЙ МАТРИЦЫ

Идеальное ядро предлагаемой универсальной календарной матрицы состоит из 364 суток, 52 недель по 7 суток каждая (табл. 3). В каждом из 13 месяцев, которые имеют названия созвездий эклиптических зодиаков Солнца: I) Водолей, II) Рыбы, III) Овен, IV) Телец, V) Близнецы, VI) Рак, VII) Лев, VIII) Дева, IX) Весы, X) Скорпион, XI) Змееносец[2], XII) Стрелец, XIII) Козерог, — содержится ровно по 28 суток. Каждый из четырех кварталов содержит 91 день.

В обычном году имеются дополнительные 365-е сутки. В високосном году имеется дубль — дополнительные сутки — 366-е сутки. После каждого дополнительного 365-го дня в обычном году и после каждого дубликата дополнительного 366 дня в високосном году календарная матрица возвращается в исходное состояние — обратно, на начало года (синхронизация реального года с идеальным). Поэтому каждый новый год всегда постоянно начинается с 1-го дня Водолея, в воскресенье.

Мы рассматриваем календарь как обычный математический цифровой счетчик времени. Из табл. 4 следует, что дни недели в традиционных календарях (в нижнем ряду каждой клетки календарной матрицы) подвижны: на начало каждого обычного года они сдвигаются на один день недели вперед, а начало каждого високосного года — сдвигается сразу на два дня недели вперед при неизменности и постоянстве самих цифровых рядов относительно друг друга: верхнего универсального и нижнего текущего.

Во всех современных календарях все происходит наоборот: постоянной является сетка дней недели, а переменной величиной — сдвиг числовых рядов относительно друг друга — на один день в обычном году и на два дня — в високосном году.

[2] “Constellations and the Calendar”. 13th zodiac “Ophiuchus-Serpentarius”, January 13, 2016 (NASA). URL: http://spaceplace.nasa.gov/starfi nder2/en/ (Retrieval date: 20.12.2018).

Таблица 3. Универсальная постоянная 13-месячная календарная матрица (матрица: 13 месяцев, 52 недели по 7 суток, 8 выходных в месяц)

Дни недели	Месяцы												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
	Водолей	Рыбы	Овен	Телец	Близнецы	Рак	Лев	Дева	Весы	Скорпион	Змееносец	Стрелец	Козерог
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Змееносец	Ноябрь	Декабрь
Воскресенье	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Понедельник	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Вторник	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Среда	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Четверг	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Пятница	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Суббота	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Воскресенье	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Понедельник	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Вторник	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Среда	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Четверг	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Пятница	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Суббота	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Воскресенье	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Понедельник	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Вторник	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Среда	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Четверг	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Пятница	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Суббота	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Воскресенье	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Понедельник	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Вторник	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Среда	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Четверг	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Пятница	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Суббота	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28 (364)
Воскресенье													29 (365)
Понедельник													30 (366)

Примечание. 14-й день Льва — дата Николы Тесла (абсолютный центр математической календарной матрицы, середина года, середина июля (Лев)).

Источник: Морозов, 2013.

В астрономическом плане это преобразование полностью эквивалентно в относительных параметрах. Но экономический эффект от него оказывается противоположным. Следует выбирать что-то одно: либо переменные ряды цифр при постоянной сетке дней недели, либо постоянные ряды цифр при переменной сетке дней недели.

Предлагаемые нами постоянные ряды цифр дней календаря при переменной сетке дней недели (в нижней, текущей, шкале календарной матрицы) имеют важнейшие кардинальные преимущества в экономическом плане перед постоянной сеткой дней недели и переменными рядами цифр, принятыми сегодня повсеместно во всех календарях мира.

При постоянных рядах цифр в календарной матрице постоянного календаря и, соответственно, при переменной сетке дней недели в нижней текущей шкале постоянного календаря, — даты деловых встреч, расписания в школах и университетах, даты школьных каникул, сетевые графики,

производственные планы, длительностью более года, биржевые и банковские расчеты и т.д. будут оставаться идентичными из года в год и не потребуют, как это имеет место сейчас, никаких ежегодных перерасчетов.

Верхний универсальный (абсолютный) ряд цифр календарной матрицы в каждой клетке никогда не меняется. Он уникален и един для всех вариантов календарей. Ему взаимно однозначно соответствует свой постоянный уникальный день недели верхнего ряда календарной матрицы. Эти даты неизменны, абсолютны и постоянны — они математически едины. Это позволяет привести к единому математическому знаменателю любые конкретные календарные системы, которые размещаются во втором (нижнем) ряду каждой клетки календарной матрицы (табл. 4).

Таблица 4. Водолей

Воскресенье	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота
1 **Водолей UM 2019** Новый год (1 января VG) вторник	**2** (2 января) среда	**3** (3 января) четверг	**4** (4 января) пятница	**5** (5 января) суббота	**6** (6 января) воскресенье	**7** (7 января) понедельник
8 (8 января) вторник	**9** (9 января) среда	**10** (10 января) четверг	**11** (11 января) пятница	**12** (12 января) суббота	**13** (13 января) воскресенье	**14** (14 января) понедельник
15 (15 января) вторник	**16** (16 января) среда	**17** (17 января) четверг	**18** (18 января) пятница	**19** (19 января) суббота	**20** (20 января) воскресенье	**21** (21 января) понедельник
22 (22 января) вторник	**23** (23 января) среда	**24** (24 января) четверг	**25** (25 января) пятница	**26** (26 января) суббота	**27** (27 января) воскресенье	**28** (28 января) понедельник

Примечание. Верхний ряд цифр — универсальная постоянная абсолютная дата (UM, или УД), вместе с постоянной абсолютной сеткой дней недели. В скобках указана обычная текущая ватиканская григорианская дата (VG, или ГД), последняя строка ячейки — переменная текущая сетка дней недели.

Источники: Морозов, 2018б, 2018в.

Предлагаемый в этой статье стандартный 13-месячный эталонный календарь теоретически является самым точным в истории. Он также идеально подходит для обслуживания всех известных клерикальных систем. Его ошибка по отношению к среднему тропическому году равна нулю (“0”). Им удобно и предельно просто пользоваться. Он разбивает числовую ось истории на равномерные однотипные циклы — по 128 лет каждый — и содержит два ряда цифр: 1) верхний (постоянный) универсальный; 2) нижний (текущий) обычный григорианский. Запись даты производится двумя числами: 1) универсальным (УД, или UM); 2) в скобках — обычным, григорианским (ГД, или VG).

Пример 1. 1 Водолея 2020, воскресенье (УД) (1-й день января 2020, среда (ГД)).

Предлагаемый в этой статье стандартный 13-месячный эталонный календарь стабилен. Каждый Новый год всегда начинается с одной и той же даты и с одного и того же дня недели. Он позволяет иметь один и тот же универсальный день во всем мире (верхняя шкала цифр в каждой клетке календарной матрицы). Предлагаемый постоянный календарь дает неоспоримую экономическую выгоду, которая исчисляется триллионами долларов в глобальном масштабе. Это — экономия десятков тысяч тонн бумаги, красителей, типографских и транспортных расходов. Минимальный оценочный прогностический годовой экономический эффект (МОГЭЭ) от отказа от непроизводительных расходов при внедрении предлагаемого единого трафаретного стандартного 13-месячного календаря можно рассчитать по формуле:

$$\text{МОГЭЭ} = 5 \times 10^{-5} \times y = 5 \times 10^{-5} \times (1502{,}692\,x - 2\,964\,609{,}455) \text{ млрд долл.},$$

где y — расчетное значение мирового ВВП, x — год (линейная корреляционно-регрессионная модель). Коэффициент корреляции модели равен 0,953. Коэффициент детерминации равен 0,909[3]. Непроизводительные мировые затраты суммарно составляют приблизительно *0,5–1,0 трлн долл. [≈0,4–0,8% от мирового ВВП].*

[3] Кушнир И. “ВВП мира, 1970—2013”. См. материалы сайта http://www.be5.biz/makroekonomika/gdp/gdp_world.html.

Постоянный календарь идеален при использовании в медицине и пилотируемой космонавтике, при расчетах блокчейнов и операций мировых криптобирж, в астронавигации и астродинамике (Морозов, 2018а, 2018б).

Особую популярность предлагаемый 13-месячный календарь получит в связи с тем объективным обстоятельством, что в каждом месяце он содержит стабильно по 28 суток. Это обстоятельство делает его идеальным календарем для женщин, востребованным в практической медицине у половины населения всего земного шара, которое составляют примерно 5 млрд женщин.

На каждый цикл в 128 лет используется всего два типа (шаблона) календаря: високосный и невисокосный (простой), которые сами между собой отличаются только числом дней, относящихся к Новому году (три дня в високосном году — правило 30 дней Козерога и два дня в невисокосном году — правило 29 дней Козерога. Во всем остальном оба календаря абсолютно идентичны.

3. ПОСЕКУНДНАЯ ТАРИФИКАЦИЯ КАЛЕНДАРНЫХ РАСЧЕТОВ

В табл. 5 показано, что в астронавигационных расчетах часто используют оценку продолжительности экваториального (равноденствующего) астрономического года (промежуток времени между двумя последовательными равноденствиями: осенними или весенними) по Ньюкому (1900)[4]. Его значение превышает фактическую длительность тропического года на ≈ 1,08 ± 1,23 секунды в год. И даже эта ошибка повышает риски космических инцидентов при баллистических расчетах и космических скоростях.

Таблица 5. Посекундное соотношение расчетов продолжительности года в различных календарях в сравнении с длительностью тропического года звезды Солнце

Календарный год	Число суток	Секунд в году
Юлианский (гелиакальный год звезды Сириус)	$365{,}25 = 365¼ = 365\,^{100}/_{400} = 365\,^{32}/_{128}$	31 557 600
Григорианский	$365{,}2425 = 365\,^{97}/_{400}$	31 556 952
Невисокосный	365	31 536 000
Високосный	366	31 622 400
Астрономический (равноденствующий) средний год Солнца по Ньюкому (1900) (по точкам весеннего или осеннего равноденствия на экваторе)	$365{,}2422 = 365\,^{132}/_{545} = 365{,}2422018$	31 556 926,08 =31 556 926,23
Экспериментальное определение длительности среднего равноденствующего года Солнца (1900 г.)	365,24219878	31 556 925, 974592
Экспериментальное определение продолжительности среднего тропического года Солнца (2015 г.): 365 суток, 5 часов, 48 минут, 45 секунд (365,2421875 суток $= 365\,^{31}/_{128}$ суток) [1]	$365{,}2421875 = 365\,^{31}/_{128}$	31 556 925
Теоретический расчет длительности среднего тропического года Солнца (по точкам солнцестояния на тропике Рака или Козерога)	$365{,}2421875 = 365\,^{31}/_{128}$	31 556 925 сек = = 31 556 925 × 10^9 наносекунд

[1] См. “Tropical year” на сайте https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical_year.

4. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ АСПЕКТЫ ОПЕРАЦИЙ И ХРАНЕНИЯ МИРОВОГО ВРЕМЕНИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН

Для хранения данных криптовалютных токенов Bitcoin используется двоичная система счисления, выраженная 4-байтовым (32 бита — 32 двоичных цифры) беззнаковым (т.е. без знака “плюс” или “минус”) целым числом. При этом максимально представимая дата в таком значении заканчивается *6 января 2106 г.*

[4] Саймон Ньюком (устаревшее написание: Ньюкомб, англ. Simon Newcomb; 12 марта 1835, Уоллес, Новая Шотландия ÷ 11 июля 1909, Вашингтон) — американский астроном, математик и экономист канадского происхождения. Автор более 400 научных работ, один из ведущих астрономов конца XIX века. Почетный член многих научных обществ и академий, в том числе почетный член Петербургской академии наук.

Simon Newcomb (March 12, 1835 ÷ July 11, 1909) was a Canadian–American astronomer, applied mathematician and autodidactic polymath, who was Professor of Mathematics in the U.S. Navy and at Johns Hopkins. URL: http://www.astronet.ru/db/msg/1239515.

Для хранения данных о криптовалютных токенах Etherium используется 32-байтовое беззнаковое целое число (256 бит). Максимально представимая дата в таком значении в 2^224 раз больше, чем у биткойна:

```
>>>math.log((2**256)/(2**32))/math.log(2)
224.0
```

В качестве нулевой точки отсчета для блокчейнов и криптовалют сейчас используется григорианская дата 1 января 1970 г., *счет времени от нее* ведут посекундно. Средняя ошибка григорианского календаря составляет 27 секунд каждый год.

Пример 2. Дата 1 января 1971 г. составляет 31 536 000 секунд (см. табл. 5, невисокосный год — 365 суток).

Пример 3. Дата Sun Dec 9 15:32:40 MSK 2018 в секундах составляет 1 544 358 760 секунд и выражается в 32 битах как

```
'01011100000011010000101101101000'
>>> ''.join(['{0:08b}'.format(ord(b)) for b in struct.pack('>I', 1544358760)])
'01011100000011010000101101101000'
```

С 2107 г. потребуется объем уже в размере 33 бит информации.

Пример 4. Для представления следующей даты 2110-12-09T13:05:17.442971 с точностью до микросекунд потребует уже 64 бита информации:

```
>>> len('{0:032b}'.format(int(time.mktime(datatime.datetime.utcnow().replace(year=2110).timetuple()))))
33
>>> '{0:064b}'.format(int(time.mktime(datatime.datetime.utcnow().replace(year=2110).timetuple())))
'0000000000000000000000000000000100001001000011000011010111100011 1'
>>> datatime.datetime.utcnow().replace(year=2110).isoformat()
'2110-12-09T13:05:17.442971'
>>> '{0:064b}'.format(int(time.mktime(datatime.datetime.utcnow().replace(year=2110).timetuple())))
'0000000000000000000000000000000100001001000011000011010111101111 1'
```

Если применить для хранения данных “Timestamp” 8-байтное (64 бита, т.е. 64 двоичных цифры) беззнаковое целое число, то в таком случае максимально представимый диапазон времени включает не только один полный цикл на оси времени, размером в 128 лет, в наносекундах (10^9), а четыре таких цикла по 128 лет каждый, т.е. охватывает период в 512 лет:

```
>>> 31556925*128*(10**9)
4039286400000000000
>>> '{0:b}'.format(31556925*128*(10**9))
'111000000011100110110110010100011010100001000100000000000000000'
>>> len('{0:b}'.format(31556925*128*(10**9)))
62
>>> len('{0:b}'.format(31556925*128*(10**9)))
64
```

За 48 лет (с 1970 по 2018 г.) ошибка запаздывания (отставания) в машинном двоичном коде учета времени во всем мире, основанном на григорианском календаре, уже составила *1296 секунд*:

$$2018-1970 = 48 \text{ лет} \times 27 \text{ сек} = 1296 \text{ сек} = 21{,}5 \text{ ч} = 21 \text{ ч } 36 \text{ мин.}$$

Величина этой ошибки постоянно нарастает по всем расчетам в двоичном коде во всех компьютерных сетях по всему миру.

Вместо принятой сегодня стандартной нулевой точки отсчета, которая начинается с *1 января 1970 г.* по григорианскому календарю (имеющему среднюю ошибку в 27 секунд в год), мы предлагаем взять за новую точку отсчета мирового компьютерного времени (в наносекундах) безошибочную универсальную нулевую точку отсчета, которой является начало текущего 128-летнего цикла — с *1 января 2013 г.* (2013-I-01 00:00:00.000000000) — и абсолютное значение годового периода в размере 31 556 925 × 10^9 наносекунд. Это полностью соответствует данным нижней графы табл. 5 ($365^{31}/_{128}$ = 365,2421875 суток = 31 556 925 × 10^9 наносекунд).

Это и есть предлагаемый нами стандарт времени для новой (шестой) общественно-экономической формации космического общества (стандарт календаря Медлера — Менделеева — Морозова).

13-месячный календарь космического государства Асгардии[5], который начал функционировать с 1 января 2017 г., легко вписывается в предлагаемую стандартную 13-месячную эталонную матрицу с дифференциалом в четыре года. Это — принципиально новый алгоритм и новая базовая платформа для проведения любых безошибочных глобальных операций со временем в истории: его учета и хранения, начиная с гипотетического момента Большого взрыва.

Для отображения отрезка времени, расположенного перед нулевой точкой отсчета, используется знаковое (со знаком “+” или “–”) 128-битное или любое, еще большее, целое число, например, удовлетворяющее условиям решения задач теоретической физики, в том числе, датировки времени гипотетического Большого взрыва, охватывающее суммарно какое угодно наперед заданное число лет в наносекундах в любом направлении счета времени от сингулярной точки *1 января 2013 г.* (*2013-I-01 00:00:00.000000000*).

Как частный случай предложенную разработку можно использовать для создания любой криптовалюты (например, Солара космического государства Асгардии).

5. СУЩЕСТВУЮЩИЙ ГРИГОРИАНСКИЙ СТАНДАРТ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ФОРМАТА ДАТЫ И ВРЕМЕНИ — ISO 8601

Стандарт визуализации формата даты и времени (компьютерной метки времени) необходим во всех случаях, когда нужна максимально подробная расшифровка даты времени создания информации. Она всегда требуется в тех случаях, когда потребуется “вернуться назад”, т.е. однозначно получить обратное число секунд (например, для коррекции, для внесения изменений пользователем; обновления баз данных и пересчетов).

Распространенным сегодня решением универсальной визуализации даты и времени в григорианском календаре (который содержит теоретическую и практическую ошибку в расчетах в размере отставания от тропического года на 27 секунд в год) является стандарт ISO 8601 (год, месяц, день, час, минута, секунда (и доли секунды)) (дни недели в стандарте *ISO 8601* отсутствуют*; разделение на високосные и невисокосные годы тоже отсутствует*):

YYYY-MM-DD-T- hh: mm: ss;

YYYY-MM-DD-T- hh: mm: ss±hh: mm;

YYYY-MM-DD-T-hh: mm: ss.sss (ms — точность в миллисекундах).

В нем используется метка “Z” для времени по UTC (Coordinated Universal Time = Greenwich Mean Time/GMT) или ±hh: mm для других часовых поясов.

Date and time expressed according to ISO 8601 [refres
Date 2018-12-09
Date and time UTC 2018-12-09T11:45:29+00:00
2018-12-09T11:45:29Z

[5] Asgardia the Space Nation Decree. № 2. 09.03.1 (06.03.2017), Moscow (https://asgardia.space/assets/doc/Decree002.pdf).

6. ВАРИАНТ ЕДИНОГО НОВОГО СТАНДАРТА МЕТКИ ВРЕМЕНИ С УЧЕТОМ РАЗНИЦЫ МЕЖДУ ВИСОКОСНЫМИ И НЕВИСОКОСНЫМИ ГОДАМИ

L(NL)0004(2020)-XIII-30(29)23:59:59.999999999+05:30 (UTC),
(I) (II) (III) (IV) (V) (VI)

где

(I) — маркер: високосный / невисокосный (*Leap year/Not Leap*);

(II) — год: Асгардианский (Менделеева);

(III) — месяц зодиака, римскими цифрами от I до XIII;

(IV) — день месяца от 1 до 28, в XIII месяце: Extra Day (экстра-день –“365” сутки обычного года) 29, Extra Day Duplicate (дубликат экстра-дня — “366” сутки високосного года) 30;

(V) — время — часы: мин: сек — с точностью до наносекунд;

(VI) — часовой пояс: UTC или поправка на часовой пояс.

Введение нового стандарта визуализации формата даты и времени постоянного календаря Медлера — Менделеева — Морозова имеет следующие преимущества по отношению к существующему стандарту ISO 8601:

1) точность: ликвидируется ошибка запаздывания (отставания) в машинном двоичном коде учета времени во всем мире;

2) универсальность**:** с первого взгляда понятен момент времени с точностью до наносекунд;

3) постоянство**:** время однотипно прописывается раз и навсегда во всех космических объектах Вселенной;

4) глобальность**:** не конфликтует с национальными календарями;

5) конвертация**:** может выступать инструментом-конвертером между парами любых календарей благодаря точно прописанному математическому взаимоотношению с каждым из них.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Компактное отображение постоянного универсального 13-месячного календаря в виде одной математической таблицы-матрицы

День недели	Месяц: I–XIII				Экстра-дни года, обычного (ED) Високосного (EDD)
1	1	8	15	22	ED29 EDD30
2	2	9	16	23	
3	3	10	17	24	
4	4	11	18	25	
5	5	12	19	26	
6	6	13	20	27	
7	7	14	21	28	

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Морозов С.Л. (2013). Об одной новой календарной системе // *Экономика и математические методы*. Т. 49. № 4. С. 111–125.

Морозов С.Л. (2018а). Гомеостатический ковчег и эталонный постоянный календарь Д.И. Менделеева как главные средства в стратегии индустриализации космоса и создания космического общества. Монография. М.: ООО “Ваш формат”.

Морозов С.Л. (2018б). Менделеевский эталонный календарь России на 2019 год. Монография. М.: ООО “Ваш формат”.

Морозов С.Л. (2018в). Менделеевский эталонный календарь России на 2020 год. Монография. М.: ООО "Ваш формат".

Сухова С. (2018). Эталона года как не было, так и нет. Экономист объяснил Светлане Суховой, какой календарь нужен современному человечеству? // *Огонёк*. № 49 (5544). С. 26–27.

REFERENCES (with English translation or transliteration)

Morozov S.L. (2013). About One New Calendar System. *Economics and Mathematical Methods*, 49, 4, 111–125 (in Russian).

Morozov S.L. (2018a). The Homeostatic Ark and the Standard Permanent Calendar of D.I. Mendeleev as the Main Means in the Strategy of Industrialization of Space and Creation of Space Society [Gomeostaticheskij kovcheg i etalonnyj postoyannyj kalendarj D.I. Mendeleeva kak glavnye sredstva v strategii industrializatsii cosmosa I sozdaniya cosmicheskogo obshchestva]. Monographiya. Moscow: Vash Format (in Russian).

Morozov S.L. (2018b). The Mendeleevsky Standard Calendar of Russia for 2019. Monography. Moscow: Vash Format (in Russian).

Morozov S.L. (2018c). The Mendeleevsky Standard Calendar of Russia for 2020. Monography. Moscow: Vash Format (in Russian).

Sukhova S. (2018). The Standard of the Year Was Not, and Is Not. The Economist Explained Svetlana Sukhova, Which Calendar Needs of Modern Humanity? [Etalona goda kak ne bylo, tak I net. Economist objyasnil Svetlane Sukhovoj, kakoj kalendarj nuzhen sovremennomu chelovechestvu?]. *Ogonek,* 49 (5544), 26–27 (in Russian).

Standard 13-Month Reference Calendar Medler — Mendeleev — Morozov Standard in Space Society

S.L. Morozov

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
elbimru@gmail.com

Received 15.01.2019

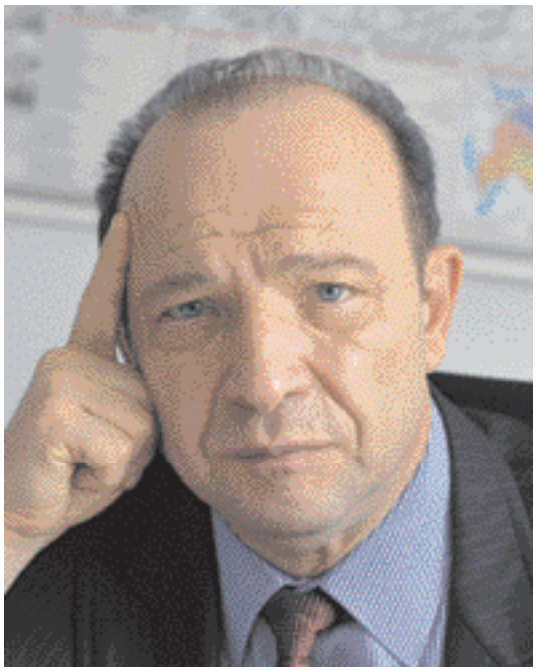
Space society is in the sixth socio-economic formation of Civilization. There are two fundamentally different points of view on Space ideology: 1) geocentric (from Earth to Space); 2) cosmocentric or astrocentric (from Space to Earth). The sixth socio-economic formation (Space) is cosmocentric and is different from the previous five, (purely terrestrial, geocentric) socio-economic formations (primitive community, slave, feudal, capitalist and socialist (communist)). The challenge is to look at the Earth from Space as one of the many spaceships of Civilization and perceive the Earth as a normal part of the nature of Space (cosmocentrizm). Landmarks for astronauts in space will be 88 constellations, not the gods of ancient Egypt, Greece and Rome. In Space there is no earthly top, no bottom, no day, no night, no seasons, no equinoxes, no solstices, no different-day months of the year, no phases of the moon. In Space, in particular, does not make any sense none of the approximately ≈ 40 existing today medieval geocentric clerical terrestrial analog elliptical calendars. For the names of the months they have the names of the ancient Roman and Greek gods and goddesses. For the purposes of astronavigation and astrodynamics in Space, they are completely useless. Therefore, NASA (USA) for the purposes of exclusively astronavigation and astrodynamics, introduced the 13th zodiac Serpentarius (Ophiuchus-Apheuhus) calendar system from January 13, 2016 and openly announced it. The Space society will have a standard 13-month reference mathematical calendar of the year, focused on 88 major constellations of the Universe listed in the Star catalog of 1928, of which 13 zodiac constellations are on the Ecliptic of the Sun. This calendar will show a single time in all the spaceships of Humanity in the Universe, including Earth as one such spaceship. The article presents the fundamental principles of the mathematical standard 13-month reference zodiac calendar.

Keywords: standard 13-month reference calendar of Medler — Mendeleev — Morozov; singular point of time "January 1, 2013 (2013-I-01 00:00:00.000000000)", lag error in the time code ISO 8601, Space society, sixth socio-economic structure, geocentrism, cosmocentrizm, astrocentrism, single time, space ships, Universe; the space society industrialization.

JEL Classification: C60, F55, F59.

DOI: 10.31857/S042473880003983-0

В.Л. Квинту – 70



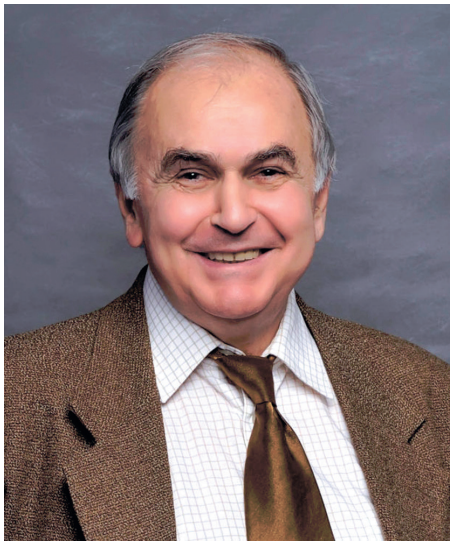
21 февраля 2019 г. мы отмечаем юбилей выдающегося ученого, заслужившего международного признания, основоположника современной школы стратегирования, доктора экономических наук, профессора, иностранного члена РАН, заслуженного работника высшей школы РФ, лауреата премии имени М.В. Ломоносова Первой степени Владимира Львовича Квинта.

Результатом многолетней научной, педагогической и общественной деятельности В.Л. Квинта является широко используемая в теории и практике методология разработки и реализации национальных, региональных, отраслевых и корпоративных стратегий. Признание научных результатов его деятельности отмечено рядом университетов мира, в которых он избран почетным доктором и профессором. Участие Владимира Львовича в разработке многочисленных национальных, отраслевых и региональных стратегий было отмечено национальными наградами многих стран мира, в том числе российскими – орденом Почета, орденом Дружбы.

Многолетнее сотрудничество в редакционном совете нашего журнала В.Л. Квинта позволило изданию расширить горизонты научных исследований публикуемых работ.

Коллектив ЦЭМИ и редакционная коллегия журнала сердечно поздравляют Владимира Львовича с замечательным юбилеем и желают ему крепкого здоровья, новых творческих вершин, воплощения интересных проектов и долгих лет жизни.

С.А. Айвазян



12 марта после тяжелой продолжительной болезни на 85 году жизни скончался **Сергей Арутюнович Айвазян** – руководитель отделения эконометрики и прикладной статистики ЦЭМИ РАН, заслуженный деятель науки России, академик Национальной академии наук Республики Армения, доктор физико-математических наук, профессор.

В конце 1960-х годов С.А. Айвазян создал в ЦЭМИ РАН лабораторию прикладных методов теории вероятностей и математической статистики. В 1969 г. им основан постоянно действующий семинар "Многомерный статистический анализ и вероятностное моделирование реальных процессов", оказавший значительное влияние на формирование и развитие его научной школы по прикладной статистике и эконометрике.

С.А. Айвазян – автор более 350 научных работ, включая монографии и учебники, многие из которых изданы за рубежом. Им получены результаты мирового уровня при исследовании механизмов распределительных отношений в обществе и оценке качества жизни населения. За эти работы Сергей Арутюнович награжден отечественными и международными научными премиями Совета министров СССР (1986 г.); Национального статистического конгресса Франции (1986 г.); Европейской экономертической ассоциации (1988 г.); премии научного международного фонда "За выдающийся вклад в развитие экономической науки" (2007 г.); орденом "За вклад в просвещение" (2009 г.); медалью к ордену "За заслуги перед Отечеством 2 степени" (2014 г.), премией им. Л.В. Канторовича (2017 г.).

Значительное внимание С.А. Айвазян уделял подготовке научных кадров, являясь заведующим кафедрой эконометрики и математических методов экономики Московской школы экономики МГУ им. М.В. Ломоносова, профессором Московской финансово-промышленной академии, профессором Государственного университета – Высшей школы экономики, приглашенным профессором Экономико-математического института университета Дижона (Франция, 1980), Лондонского Холлоувэй королевского университета (1996–1998), Университета Женевы (2007–2012), председателем диссертационного совета Д 002.013.02 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата физико-математических наук при ЦЭМИ РАН.

С.А. Айвазян был главным редактором журнала "Прикладная эконометрика", членом редакционных советов журнала "Экономика и математические методы", журнала "Теория вероятностей и ее применения", журнала "Концепции"; организатором девяти международных школ-семинаров "Многомерный статистический анализ и эконометрика" и девяти международных конференций "Применение многомерного статистического анализа в экономике и оценке качества".

Память об этом выдающемся ученом и замечательном человеке сохраниться с нами навсегда.

Памяти Ю.А. Петрова

Ушел из жизни выдающийся ученый, патриот нашей страны, замечательный человек — Юрий Александрович Петров. Российская наука и государство понесли невосполнимую утрату. Мы потеряли надежного друга, объективного исследователя, мыслителя, глубоко переживавшего за судьбу нашего народа и Отечества.

Ю.А. Петров был одним из лучших в мире специалистов по теории экономических индексов, он автор многих оригинальных работ по актуальным проблемам экономической политики. Его анализ платежного баланса страны, положения России в мировой экономике, эффективности налоговой системы, результатов реформирования системы регулирования хозяйственной деятельности всегда поражал своей точностью и объективностью. Ему мы обязаны оценкой масштабов и структуры вывоза капитала из России, объема потерь доходной базы государственного бюджета вследствие офшоризации экономики. Как прирожденный государственник он всегда завершал свои исследования обоснованием рекомендаций по устранению недостатков и улучшению государственного управления хозяйственной деятельностью.

Многие рекомендации Ю.А. Петрова были успешно реализованы. Он внес большой позитивный вклад в реформирование внешнеэкономической деятельности в самый тяжелый период 1990-х годов. Сделанные им расчеты помогли оптимизировать таможенный тариф, включая обоснование экспортных пошлин, ставших единственным инструментом изъятия государством природной ренты и благодаря которым федеральный бюджет получал в те трудные годы до трети доходов. Благодаря внедрению предложенных им институтов ограничения экспортеров сырьевых товаров удалось остановить поток контрабандного вывоза сырьевых товаров, размывавший систему национальной экономической безопасности.

К сожалению, Юрию Александровичу не удалось завершить свои исследовательские замыслы. В последнее время он занимался изучением поразившей российскую экономику голландской болезни, обосновывая меры по ее лечению. Полученные им результаты еще ждут публикации. Незавершенным остался его замысел по систематизации платежного баланса, который он многократно пересчитывал, выявляя вольные и невольные прорехи денежных властей.

Его философский подход к изучению закономерностей воспроизводства и развития экономики всегда поражал своей глубиной. Даже изучая текущие экономические процессы, он умел заглянуть в их предысторию и выявить скрытые движущие силы. Будучи всегда объективным аналитиком, он руководствовался идеологией общенародных интересов. При этом он хорошо понимал ограниченность возможностей государственного регулирования экономики и был сторонником разумной экономической свободы, направляемой в интересах повышения общественного благосостояния. Юрий Александрович был близок к построению общей теории государственного регулирования экономики, которая очень нужна для совершенствования нашей системы государственного управления.

Ю.А. Петров был необыкновенно обаятельным, жизнерадостным и ответственным человеком. С ним легко было работать, его расчеты всегда были точны и не нуждались в проверке. Ему можно было доверить работу над самой сложной научно-практической проблемой и быть уверенным, что он во что бы ни стало найдет ее правильное решение. При этом он был необыкновенно скромным. Никогда не сетовал на трудности. Был очень требовательным к себе и не ждал от государства и общества справедливого признания своих заслуг. А заслуги эти, без сомнения, выдающиеся.

Ю.А. Петров сделал много важного и полезного для нашей страны. Всю свою жизнь он посвятил служению Отечеству и науке. Он всегда останется в наших сердцах и в памяти нашего научного сообщества. Результаты его работы, его идеи и замыслы будут жить в нашем обществознании, продвигаться экономической наукой, приносить пользу России.

Академик РАН,
советник Президента России
С.Ю. Глазьев