

4(8)'2019

# ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА



Редакционный совет электронного журнала «Цифровая экономика»

- Агеев Александр Иванович – д.э.н., генеральный директор Института экономических стратегий, заведующий кафедрой НИЯУ «МИФИ», профессор, академик РАЕН.
- Афанасьев Михаил Юрьевич – д.э.н. Заведующий лабораторией прикладной эконометрики ЦЭМИ РАН
- Бабаян Евгений Борисович – Генеральный директор НП «Агентство научных и деловых коммуникаций»
- Бахтизин Альберт Рауфович – член-корреспондент РАН, д.э.н., профессор РАН, директор ЦЭМИ РАН
- Войниканис Елена Анатольевна – д.ю.н. Ведущий научный сотрудник Института права и развития ВШЭ — Сколково.
- Гурдус Александр Оскарович – д.э.н., к.т.н., президент группы компаний «21Company».
- Димитров Илия Димитрович – исполнительный директор НКО «Ассоциации Электронных Торговых Площадок».
- Ерешко Феликс Иванович – д.т.н. профессор, заведующий отделом информационно-вычислительных систем (ИВС) ВЦ РАН.
- Засурский Иван Иванович – к.ф.н. президент Ассоциации интернет-издателей, заведующий кафедрой новых медиа и теории коммуникации факультета журналистики МГУ имени М.В. Ломоносова
- Калятин Виталий Олегович – к.ю.н., главный юрист по интеллектуальной собственности ООО «Управляющая компания «РОСНАНО»
- Китов Владимир Анатольевич, к.т.н., зам. Зав. кафедрой Информатики по научной работе РЭУ им. Г.В. Плеханова.
- Козырь Юрий Васильевич – д.э.н., ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН
- Ливадный Евгений Александрович – к.т.н., к.ю.н., Руководитель проектов по интеллектуальной собственности Государственной корпорации «Ростех».
- Макаров Валерий Леонидович – академик РАН, научный руководитель ЦЭМИ РАН
- Паринов Сергей Иванович – д.т.н., главный научный сотрудник ЦЭМИ РАН.
- Райков Александр Николаевич – д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем управления РАН, Генеральный директор ООО «Агентство новых стратегий»
- Семячкин Дмитрий Александрович – к.ф.-м.н., директор Ассоциации «Открытая наука»
- Соловьев Владимир Игоревич – д.э.н. руководитель департамента анализа данных, принятия решений и финансовых технологий Финансового университета при Правительстве РФ
- Фролов Владимир Николаевич, – д.э.н., профессор, научный руководитель проекта «Sopernicus Gold».
- Хохлов Юрий Евгеньевич – к.ф.-м.н., доцент, председатель Совета директоров Института развития информационного общества, академик Российской инженерной академии
- Терелянский Павел Васильевич, – д.э.н., профессор, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института "Управления цифровой трансформацией экономики", ФГБОУ ВО "Государственный университет управления".

### **Миссия журнала**

Миссия журнала — поддерживать высокий научный уровень дискуссии о цифровой экономике, методах ее изучения и развития, вовлекая в этот процесс наиболее квалифицированных экспертов – исследователей и практиков; доносить научное знание о самых сложных ее аспектах до тех, кто реально принимает решения, и тех, кто их исполняет. Одновременно журнал направлен на обеспечение возможности для обмена мнениями между профессиональными исследователями.

### **Название и формат издания**

Название «Цифровая экономика» подчеркивает междисциплинарный характер журнала, а также ориентацию на новые методы исследования и новые формы подачи материала, возникшие вместе с цифровой экономикой. В современном ее понимании цифровая экономика – не только новый сектор экономики, но и новые методы сбора информации на основе цифровых технологий, психометрия и компьютерное моделирование, а также иные методы экспериментальной экономики.

### **Тематика научных и научно-популярных статей**

Основную тематику журнала представляют научные и научно-популярные статьи, находящиеся в предметной области цифровой экономики, информационной экономики, экономики знаний. Основное направление журнала – это статьи, освещающие применение подходов и методов естественных наук, математических моделей, теории игр и информационных технологий, а также использующие результаты и методы естественных наук, в том числе, биологии, антропологии, социологии, психологии.

В журнале также публикуются статьи о цифровой экономике и на связанные с ней темы, в том числе, доступные для понимания людей, не изучающих предметную область и применяемые методы исследования на профессиональном уровне. Основная тема – создание и развитие единого экономического пространства России и стран АТР. Сюда можно отнести статьи по обсуждаемым вопросам оптимизации использования ресурсов и государственному регулированию, по стандартам в цифровой экономике. Сегодня или очень скоро это стандарты – умный город, умный дом, умный транспорт, интернет вещей, цифровые платформы, BIM-технологии, умные рынки, умные контракты, краудсорсинг и краудфандинг и многие другие.

Журнал «Цифровая экономика», № 4(8) (2019)

Выпуск № 4 2019 год

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации № ЭЛ № ФС77-70455 от 20 июля 2017 г.

Редакционная коллегия:

Козырев А. Н. – главный редактор, д.э.н., к.ф.-м.н., руководитель научного направления – математическое моделирование, г.н.с. ЦЭМИ РАН

Гатауллин Т.М. – д.э.н., к.ф.-м.н., зам. директора Центра цифровой экономики Государственного университета управления

Китова О.В. – д.э.н., к.ф.-м.н. зав. кафедрой Информатики РЭУ им. Г.В. Плеханова

Лебедев В. В. – д.э.н., к.ф.-м.н., профессор кафедры высшей математики Государственного университета управления

Лугачев М.И. – д.э.н., заведующий кафедрой Экономической информатики Экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Макаров С.В. – к.э.н., ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН.

Неволин И.В. – к.э.н., ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН

Ноак Н.В. – к.п.н., ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН

Скрипкин К.Г. – к.э.н., доцент кафедры Экономической информатики Экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Тевелева О.В. – к.э.н., старший научный сотрудник ЦЭМИ РАН

Писарева О.М. – к.э.н., заведующий кафедрой математических методов в экономике и управлении, Директор Института информационных систем ФГБОУ ВО "Государственный университет управления" (ГУУ)

Чесноков А.Н. – руководитель проекта АН2

Все работы опубликованы в авторской редакции.

Подписано к опубликованию в Интернете 25.12.2019, Авт. печ.л. 9,7

Сайт размещения публикаций: <http://digital-economy.ru/>

Адрес редакции: 117418 Москва, Нахимовский проспект, 47, комн. 516

При использовании материалов ссылка на журнал «Цифровая экономика» и на автора статьи обязательна.

© Журнал «Цифровая экономика», 2019

# СОДЕРЖАНИЕ

Слово редактора.....	4
<b>1. НАУЧНЫЕ СТАТЬИ .....</b>	<b>5</b>
1.1. Козырев А.Н. Цифровизация, математические методы и системный кризис экономической науки .....	5
1.2. Милкова М.А. Теория подталкивания и ее искажения в информационной среде .....	21
1.3. Зимина А.С., Неволин И.В. Теоретико-игровой подход к составлению расписаний.....	27
1.4. Луценко С.И. Форсайт: востребованность в цифровой эре.....	35
1.5. Меденников В.И. Математическая модель оценки ВУЗов при цифровой трансформации экономики.....	40
<b>2. ПЕРЕВОДЫ .....</b>	<b>57</b>
2.1. Оррелл Д. Введение в математику квантовой экономики .....	57
<b>3. ОБЗОРЫ .....</b>	<b>76</b>
3.1. Миронов В.Н. К вопросу о стоимости в современной экономике .....	76
<b>4. МНЕНИЯ.....</b>	<b>80</b>
4.1. Остарков Н.А. Инфляция инфляции в условиях перехода в цифровую формацию.....	80
4.2. Фролов В.Н., Романчук А.П. Валюты, обеспеченные драгоценными металлами .....	88
4.3. Кораблев А.В. Дигитализация – лекарство от скучности российской экономики.....	91

**Слово редактора**

Дорогие читатели, перед вами – четвертый в 2019 году выпуск журнала «Цифровая экономика». Основная тематика выпуска – методология исследований в цифровой экономике. Отчасти эта тема нашла свое отражение в оформлении обложки журнала. Мы продолжаем обсуждение общих вопросов цифровизации и ее социальных последствий, а также продолжаем линию, связанную с квантовыми эффектами в экономике. Последнее направление, как может показаться, не связано с цифровизацией, но это совсем не так. Связь обнаруживается все более очевидным образом по мере того, как происходит осознание того факта, что цифровая экономика и экономика внимания – это представление об одной и той же экономике с разных точек зрения, а проблема измерений в экономике внимания очень напоминает аналогичную проблему в квантовой физике.

Как всегда, первый раздел выпуска составляют научные статьи. Их на этот раз пять. Первая редакционная статья посвящена проблемам, а точнее, системному кризису экономической науки. Цифровизация и быстрое развитие новых информационных, в том числе, сетевых технологий привели к появлению новых форм ведения бизнеса, избытию информации и новых аналитических инструментов, о которых экономисты прошлого могли только мечтать. Последствия этих изменений для экономической науки оказались, в лучшем случае, неоднозначными.

Следующая статья, подготовленная научной сотрудницей ЦЭМИ РАН Марией Милковой, также касается проблем, порождаемых цифровизацией. В данном случае речь о том, что безобидная в прошлом практика «подталкивания» клиента к приобретению продукта или услуги, которые в наибольшей степени соответствуют его потребностям и возможностям, превращается в «толкание», фактически лишаящее его самостоятельного выбора.

Совместная статья ведущего научного сотрудника ЦЭМИ РАН к.э.н. И.В. Неволина и студентки ГАУГН А.С. Зиминной – пример вовлечения студенческой молодежи в науку. В статье рассматривается частная на первый взгляд проблема – составление школьного расписания с помощью автоматизированной системы на основе математической модели. Хотя модель описана в терминах школьного расписания, она имеет возможности для более широкого применения. Алгоритм решения задачи в такой постановке давно известен, что открывает возможности для написания компьютерных программ и автоматизации одной из ресурсоемких операций образовательных организаций.

Четвертая статья представлена нашим постоянным молодым автором С.И. Луценко, публикующим работы по самым разным темам. На этот раз тема его статьи – форсайт и перспективы его применения при исследовании цифровой экономики.

Замыкает раздел статья известного д.т.н. В.И. Меденникова, описывающая математическую модель и методику (на основании этой модели) для оценки ВУЗов. В методике учтены как требования, предъявляемые к информационному наполнению сайтов образовательных учреждений Минобрнауки, Рособрнадзором, так и востребованность этих ресурсов в экономике, их влияние на качество подготовки квалифицированных специалистов и ученых в образовательных учреждениях. Для совершенствования трансфера научных знаний предлагается включить в методику показатель, отражающий взаимосвязь полупрозрачных рейтингов ВУЗов и ряда региональных рейтингов, характеризующих социально-экономическое положение в регионах. Показано, что стандартизация представления информационных научно-образовательных ресурсов в цифровой экономике позволяет сформировать единое информационное Интернет-пространство научно-образовательных ресурсов, дающее доступ к ним широкому кругу пользователей: студентам, ученым, управленцам, бизнесу, населению.

Раздел «Переводы» представлен всего одной работой, переведенной и размещенной в нашем журнале с разрешения и при личном участии ее автора – канадского математика Дэвида Оррелла. Перевод выполнен с размещенного в открытом доступе текста под названием Introduction to the mathematics of quantum economics. Именно в этом тексте приведены наиболее убедительные доводы в пользу применения математического аппарата квантовой физики для описания и решения проблем экономики и других общественных наук. Автору публикуемого материала удалось убедительно (на наш взгляд) показать, что модель выбора гораздо удобнее строить в гильбертовом пространстве, чем в традиционном евклидовом, а результаты выбора следует понимать как результат коллапсирования возможных состояний субъекта, делающего выбор. Такой подход позволяет достаточно естественно и легко учесть множество эффектов, обнаруженных в последнее время психологами и представителями других наук (за рамками экономической науки).

В разделе «Обзоры» также представлена всего одна публикация. В ней дан краткий аналитический обзор публикаций о теориях стоимости, рассматриваемых через призму цифровизации и экономики внимания. Обзор подготовлен сотрудником ЦЭМИ РАН В.Н. Мироновым.

Раздел «Мнения» включает три очень разные по содержанию и стилю публикации. Объединяет их то, что все они представлены практиками, добившимися реальных успехов в своей профессиональной и общественной деятельности. Их мнения – направления будущих исследований и проектов.

Всем потенциальным читателям желаю, как всегда, увлекательного и не всегда легкого чтения.

Главный редактор журнала

д.э.н. А.Н. Козырев

# 1. НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

## 1.1. ЦИФРОВИЗАЦИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И СИСТЕМНЫЙ КРИЗИС ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НАУКИ

Козырев А. Н. – д.э.н., ЦЭМИ РАН, Москва

*Цифровизация и быстрое развитие новых информационных, в том числе, сетевых технологий привели к появлению новых форм ведения бизнеса, избытию информации и новых аналитических инструментов, о которых экономисты прошлого могли только мечтать. Последствия этих изменений для экономической науки оказались, в лучшем случае, неоднозначными. Кризис экономической теории, о котором раньше писали многие известные экономисты, лишь обострился, но именно это обстоятельство побуждает искать выход из кризиса, разбирая причины старых и новых неудач. Настоящая статья об этом.*

### Введение

О кризисе экономической теории писали многие экономисты, в том числе нобелевские лауреаты по экономике разных лет и не только они. В статье (Полтерович, 1998) приведена великолепная подборка высказываний на эту тему, а в аннотации к статье сказано, что

*...экономическая теория испытывает глубокий и затяжной кризис, который должен привести к пересмотру ее целей и изменениям в организации исследований.*

С этим утверждением трудно не согласиться, как и с аргументацией, приводимой для его обоснования. Дискутировать имеет смысл, прежде всего, о том, какие нужны изменения в подходе к изучению экономики, в том числе, к построению экономической теории, и как изменилась ситуация за прошедшие двадцать с лишним лет, в том числе, в связи с цифровизацией экономики. Также имеет смысл обсудить некоторые детали и оттенки смыслов, вкладываемых в те или иные высказывания. В основном это касается соотношения математических моделей и действительности, причем речь не только об экономике, и тем более, не только об экономической теории, хотя непосредственным поводом для этого послужила еще одна мысль из аннотации к той же статье.

*... поставленная в ряде классических работ задача построения экономической теории по образцу физики, видимо, невыполнима.*

Сразу следует обратить внимание на то, что сегодня сложно говорить о физике как о чем-то едином, хотя у физиков всегда было желание построить целостную картину мира. Поэтому образец лучше искать не в виде физики в целом, а внутри физики. Как ни парадоксально это звучит, наилучшим образцом для подражания может оказаться квантовая физика, поскольку экономика по своей сути квантовая, как и природа. Но дело не только в этом, а в принципиальной сложности измерений как в экономике, так и в квантовой физике. Если же смотреть на вопрос шире, то уместно говорить о более широком применении методов естественных наук, не только физики. В книге о квантовой экономике, написанной известным российским математиком (Маслов, 2006), с явным сочувствием цитируется высказывание еще более известного химика.

*Мне говорят, ведь вы химик, а не экономист, зачем же входите не в свое дело? На это необходимо ответить тем, что истинного, правильного решения экономических вопросов можно ждать впереди только от приложения опытных приемов естествознания.*

Д. И. Менделеев

При желании можно привести еще много высказываний как в пользу применения методов естественных наук, так и о неприемлемости такого подхода, причем как из прошлого века, так и совсем недавних. В этом заочном споре, где экономистам противостоят в основном физики, называющие себя эконофизиками, более чем химики или математики, стороны практически не слышат друг друга. Эконофизики, отягощенные знаниями физики и математики, слишком злоупотребляют физическими аналогиями, в том числе, при пояснении математических конструкций. Но их пояснения годятся скорее для физиков, чем для экономистов. Экономисты за очень редким исключением плохо воспринимают то и другое, а попутно отменяют и разумные доводы представителей естественных наук (не только физиков). Так было до цифровизации, а с ней ситуация только усугубилась.

Цифровизация и быстрое развитие новых информационных, в том числе, сетевых технологий привели к появлению новых форм ведения бизнеса и новых аналитических инструментов, о которых экономисты прошлого могли только мечтать. Казалось бы, это должно привести к расцвету экономической

науки, поскольку есть и прекрасные инструменты, и широкое поле для их применения, и гигантские массивы данных, собираемых с применением технических средств. Но расцвета экономической науки не происходит. Зато ярче обозначились хронические проблемы (Полтерович, 1998) и появились новые. Среди них дефицит внимания со стороны целевой аудитории, в том числе, со стороны представителей власти, ограниченный доступ к чувствительной информации и аналитическим инструментам, неспособность реагировать на быстрые изменения в способах ведения бизнеса. К этому можно добавить насмешливые сравнения в сетевых дискуссиях экономических прогнозов с предсказаниями погоды и критику со стороны представителей естественных наук, желающих порешать за экономистов экономические проблемы. Если не заниматься самообманом, приходится признать наличие глубокого кризиса в экономической науке, причем системного, затронувшего самые ее основы, включая обеспечение исследований надежными источниками информации и аналитическими инструментами, позволяющими работать с большими данными, а также кадрами, способными то и другое эффективно использовать.

Каждая из перечисленных выше проблем – отдельная тема, развиваемая далее сначала в виде кратких тезисов, а потом более подробно в коротких топиках. Дважды упомянутая выше статья В.М. Полтеровича служит далее в качестве своего рода точки отсчета. Она содержит много полезных сведений и авторских оценок, с которыми трудно не согласиться. Но с момента публикации этой статьи прошло 22 года. За это время в реальной экономике произошли огромные изменения, практически не замеченные экономической теорией, сосредоточенной на себе самой (Ковалев, 2018). В этой связи к ней появились новые претензии, но наиболее дискуссионным представляется вопрос о том, что надо делать. Тут у меня радикально иная позиция, чем заявлена в (Полтерович, 1998). Выход я вижу в формировании и постепенном расширении круга исследователей – представителей разных наук, способных понять друг друга и применять математические методы любой сложности к реальным экономическим задачам. Самое важное здесь – правильно выбирать задачи и правильно ставить вопросы. Ни одна наука (даже физика) не всеильна, яркий пример тому – невозможность прогноза погоды приемлемой точности на сколько-нибудь длительный срок. Однако у физики есть ряд несомненных достижений. Того же хочется пожелать и экономической науке в эпоху цифровизации экономики. Но для начала нужно ясно видеть проблемы, накопившиеся внутри самой науки. Ниже они сформулированы в виде семи кратких тезисов.

1. Большие данные на сегодняшний день широко используются теми, кто обладает необходимыми для этого инструментами и умеет ими пользоваться. Экономисты в этот круг, вообще говоря, не входят. Более того, их не очень туда пускают без подписи документа о неразглашении.
2. Доступ к чувствительной информации (не только к большим данным) имеют лишь ангажированные экономисты-исследователи, то есть те и только те, кто работает в интересах обладателя соответствующих данных и сведений. Благодаря доступу к чувствительной информации они могут лучше понимать причинно-следственные связи между событиями и мотивы поведения своих клиентов, но они жестко ограничены в возможности раскрывать эту информацию и публиковать получаемые выводы. Академические (в широком смысле этого слова) и независимые экономисты, как правило, доступа к чувствительной информации не имеют.
3. Аналитические инструменты, позволяющие работать с большими объемами информации, такие как Thomson Reuters Eikon, Thomson Reuters Innovations и подобные им, как правило, слишком дороги. Большинству академических экономистов они недоступны по цене. Но и те, кто получает доступ к таким инструментам, часто ими не пользуются, так как не умеют.
4. Математические модели и методы, разработанные в попытке строить экономическую науку по образцу физики, оказались неадекватными экономической реальности за очень небольшим исключением. Но еще большая проблема состоит в неумении пользоваться даже тем, что есть и хорошо работает при правильном применении, но изучается поверхностно, а потому применяется некорректно и часто приводит к нелепым выводам.
5. Пополнить арсенал математических инструментов, используемых экономистами, сами они не могут. Теоретически, это могут сделать понимающие экономику математики или физики, но практически это плохо получается. Включаясь в экономические исследования, физики привносят в них не только математическую технику, но и привычные им образы реальности, а математики предпочитают задачи, имеющие сложное и красивое решение – своего рода «игрушки».
6. Экономистов, позиционирующих себя как ученые, слишком много, это мешает им слышать и понимать друг друга. Представители власти слушают только удобных им «экспертов», причем тогда и только тогда, когда их суждения и расчеты подтверждают намерения властей, придавая решениям властей «научную обоснованность».
7. Прогнозы в экономике полностью укладываются в известную формулу Черномырдина: «Прогнозирование — чрезвычайно сложная вещь, особенно когда речь идет о будущем». Примерно то же самое до него говорил физик Нильс Бор. Тем не менее, от экономистов, позиционирующих себя как аналитики или ученые, постоянно ждут верных предсказаний, а еще и их простого объяснения. Чуда не происходит, но объяснение того, что и почему произошло, всегда находится.

Дальнейшее обсуждение имеет смысл начать именно с несбывшихся и сбывшихся прогнозов, а потом двигаться дальше от одного из изложенных выше тезисов к другому до полного их исчерпания.

### **Прогнозы в экономике и кадры экономической науки**

Вопросы об экономических прогнозах и кадрах экономической науки связаны гораздо более тесно, чем принято считать. И дело тут даже не в качестве этих кадров как таковом, а в соотношении их претензий и реального положения, хотя и в качестве тоже. В конце концов, несоответствие претензий и реального положения – это именно о нем (качестве кадров), но лучше все по порядку.

#### ***Трампа, нобелевские лауреаты по экономике и несбывшиеся прогнозы***

Открытое письмо Трампу с призывом отказаться от повышения ввозных пошлин, опубликованное 4 мая 2018, подписали 1144 эксперта, в том числе 15 нобелевских лауреатов. Авторы письма, ссылаясь на фундаментальные экономические принципы, напомнили американским властям, что в 1930 году более тысячи экономистов также выступили с аналогичным посланием, призвав отклонить закон Смута-Хоули о росте пошлин на ряд товаров. «Конгресс в 1930 году не прислушался к их совету, и за это заплатили граждане США», — говорится в документе<sup>1</sup>, подписанном лауреатами и прочими экспертами. Но Трампа это не остановило, как и его коллегу из далекого уже 1930 года. И что же случилось?

Сейчас, в конце 2019 года вполне очевидно, что политика Трампа не привела к обещанному кризису, напротив, экономика США растет неожиданно высокими темпами, безработица снижается, улучшаются практически все основные индикаторы. Разумеется, нельзя утверждать, что такой рост – следствие политики Трампа. Но ровно то же самое касается депрессии 1929 – 1933 годов, которая затронула не только США и, вполне возможно, вообще не имела отношения к закону Смута-Хоули. Доказать наличие связи тут невозможно по причине невозпроизводимости начальных условий, но точно так же невозможно доказать и обратное, причем ровно по тем же причинам. Невозможно вернуться в прежнее состояние и прислушаться к мнению хора из признанных светил экономической науки, поскольку в экономике почти никогда нет возможности повторить условия эксперимента. В этом заключается одна из главных проблем фундаментальной экономической науки, о которой не раз писали сами экономисты, но в данном случае интересно совсем другое.

Поражает число экономистов, посчитавших уместным подписать упоминавшиеся выше письма, причем речь не о гражданской смелости, хотя письма в обоих случаях адресованы президентам великой страны (США). Речь о том, что такое количество людей в одной стране причисляет себя к своего рода посвященным, понимающим, что для экономики хорошо, а что плохо. Примечательно и то, как спокойно власть проигнорировала их совет.

Неискушенный в таких делах «читатель газет»<sup>2</sup> может подумать, что президент США вообще не имеет привычки слушать советы умных людей, да еще и специалистов в области экономики. Разумеется, это не совсем так, точнее, совсем не так. Любой руководитель высокого уровня имеет советников, которым доверяет, но именно они никогда не обращаются к нему с открытыми письмами, поскольку для них существуют другие формы общения. Подробно об этом я уже писал в эссе об успехе в экономической науке<sup>3</sup>. Повторяться не буду, но от сказанного там не отказываюсь и рекомендую прочесть тем, кто не хочет оставаться в плену дилетантских заблуждений «читателей газет».

#### ***Неточности в прогнозах погоды и почему это всего лишь нормально***

Важно разобраться с претензиями на точность прогноза и реальными возможностями. А потому здесь уместно сравнение экономических прогнозов с прогнозами погоды, где дела обстоят немногим лучше, а неудачи видны всем и сразу. Между тем, прогнозирование погоды основано на достижениях геофизики и вычислительной математики, а геофизика – часть физики. Получается парадоксальная на первый взгляд ситуация: науки точные, а прогноз на их основе, как правило, неточный. Но это отнюдь не свидетельствует о несостоятельности геофизики и вычислительной математики. У них достаточно реальных достижений, а точные они лишь при наличии достаточно полной и достоверной информации, а также вычислительных мощностей для ее обработки. Именно этого у нас для точного прогноза погоды сегодня нет и в ближайшем будущем не будет. Речь даже не о том, чтобы считать траектории молекул воды и газа, все гораздо проще и ближе к земле, речь о плотности сетки, количестве измерительных пунктов и других вполне прозаических вещах. Тут все отнюдь не проще, чем в экономике, причем даже без теории хаоса, по вполне прозаическим причинам.

В экономике ситуация иная, прежде всего, в части претензий и соответствия поставленных задач реальным возможностям, а отнюдь не принципиальной неразрешимости или неподъемной сложности проблем. Синоптики говорят о том, что может произойти или произойдет с какой-то вероятностью, не сообщая, с какой именно, чтобы не грузить публику лишней информацией. Они не говорят Погоде, что надо делать, а что не надо. У экономистов претензии несоизмеримо выше, а разрыв между претензиями и реальными возможностями несоизмеримо больше. Они могут публично говорить президенту страны (США), чего он делать ни в коем случае не должен в силу неизбежных негативных последствий. Если бы по каким-то причинам их прогноз последствий в случае послушания Трампа сбылся, то удар по его и так

<sup>1</sup> <https://ria.ru/20180504/1519927083.html>

<sup>2</sup> Он же – глотатель пустот, см. М. Цветаева «Читатели газет», Вав, 1-15 ноября 1935, стихотворение доступно по ссылке <https://slova.org.ru/cvetaeva/chitateligazet/>

<sup>3</sup> Экономическая наука в поисках главного читателя. Опубликовано <https://bit.ly/2ZC7fCJ>

невысокой популярности мог бы быть сокрушительным. А сейчас, когда прогноз явно не оправдался, экономисты-теоретики ищут объяснение несоответствия прогноза наступившей реальности. Например, можно объяснить, что при Обаме много вкладывалось в науку и технический прогресс. А согласно теории и модели Ромера, это должно было неминуемо привести к экономическому росту в последующий период. Наконец, рост по Ромеру и Обаме оказался столь значительным, что перевесил негативные последствия реформ Трампа. Возможно, так оно и есть, но причин, влияющих на развитие ситуации в экономике, слишком много. По факту 1144 эксперта, включая 15 нобелевских лауреатов по экономике, публично «сели в лужу», но виноваты они лишь в том, что сильно переоценили свое понимание ситуации в экономике на момент предсказания. Впрочем, бывают и удачные, и даже невероятные удачные предсказания экономистов и социологов, но не в таких громких делах. Один из таких примеров касается цифровой экономики самым непосредственным образом.

#### **Цифровая экономика и «Природа фирмы»**

Автор термина «цифровая экономика» (digital economy) Дон Тапскотт строил свои прогнозы (Tapscott, 1995) о переходе бизнеса из фирм в медиа и появлении новых форм ведения бизнеса, опираясь на теорию транзакционных издержек, разработанную Рональдом Коузом и изложенную впервые в статье «Природа фирмы» (Coase, 1937). Многие предсказания Тапскотта, основанные на теории Коуза, сбылись, что свидетельствует в пользу экономической науки как таковой: теория показала свою прогностическую силу. Но тут есть один нюанс. Редкая статья Коуза обходилась без жесткой, доходящей иногда до издевательства критики экономической науки (Coase, 1974). Не стала исключением и статья 1937 года, хотя в ней критика мягче, чем в (Coase, 1974). Как заметил сам Коуз в 1988 году, эту статью часто цитировали, впрочем, совсем не так, как ему хотелось бы (Coase, 1988). Приведем его замечание в переводе Б. Пинскера.

*В СОВРЕМЕННОЙ экономической теории фирма есть та организация, которая преобразует исходные ресурсы в конечный продукт. Почему существуют фирмы, что определяет число фирм и их специализацию (потребляемые ими ресурсы и выпускаемые продукты), – эти вопросы не интересуют большинство экономистов. Для экономической теории фирма, как сказал недавно Хан, – это «теневая фигура» (Коуз, 1993, с.8).*

Иначе говоря, Коуза интересовали именно те вопросы, которые экономическая теория так и не усвоила, хотя между выходом статьи «Природа фирмы» и написанием книги, из которой взята цитата, прошло более 50 лет.

С тех пор, как Коуз написал эти грустные слова, прошло еще 40 лет. За это время Коуз успел получить нобелевскую премию по экономике (1991), опубликовать довольно сомнительную книгу о том, «как Китай стал капиталистическим» (Coase, Wang, 2012), и стать невероятно популярным в России, где эту книгу уже перевели (Коуз, Ванг, 2016). Его цитируют и физики, ставшие финансистами, и известные российские экономисты. Интерес экономической науки к экономике предприятия (фирмы) чрезвычайно высок, как и к вопросам управления в более широком смысле. Об этом можно судить, например, по количеству диссертаций, защищаемых по специальности «Экономика и управление народным хозяйством», куда входит экономика, организация и управление предприятиями. Об этом можно поговорить позже в связи с вопросом о количестве и качестве кадров экономической науки. А вопрос о качестве этих диссертаций оставим Диссернету и другим санитарам научного пространства. С методологической точки зрения важнее вопрос о том, что тут можно выносить на суд научного сообщества, а что нет.

Парадокс заключается в том, что выносить на суд научной общественности почти ничего стоящего нельзя, поскольку обычно это – чувствительная информация. Ее разглашение задевает чьи-то интересы в бизнесе и не только. В отдельных случаях можно выносить на публику обезличенные данные, причем в таком виде, чтобы никто не догадался, к чему они реально относятся. Возможно, я немного утрирую, но скорее, несколько даже приглушаю краски.

#### **Бизнес-Консультанты как информированные, но ангажированные экономисты**

Руководители бизнеса, как бы по должности они ни назывались, пользуются услугами и собственных советников, и привлекаемых по конкретному случаю консультантов. Те и другие подписывают соглашения о неразглашении конфиденциальной информации или договор раскрытия информации, составляющей коммерческую тайну, а потому они очень ограничены в публичной демонстрации своих специальных познаний. Зато они могут публично высказываться именно по тем вопросам, где они не совсем специалисты, не допущены к чувствительной информации, а слушать их никто из лиц, принимающих решения, не собирается. Или же, как вариант, консультанты по бизнесу пишут книги, где информация раскрывается ровно до того места, когда читателю – потенциальному клиенту должно стать понятно, куда именно ему следует обратиться за консультацией в случае возникновения проблем.

Из опыта работы (1994-1996) в московском офисе фирмы E&Y я вынес много полезного на этот счет, а также два слогана, которыми всегда и со всеми готов поделиться. Первый из них – «Консультанту надо показывать все, как гинекологу», второй – «Консультационный бизнес – это армия, где самый нижний чин – полковник». Разумеется, на практике ни тот, ни другой принцип не соблюдается в полной мере, но сотрудников консультационных фирм мирового класса такие слоганы сильно ободряют, стимулируя приход на работу, как минимум, за полчаса до официального начала рабочего дня и уход на два часа

(можно и больше) позже его окончания. Часть правды в этих слоганах все же есть. Консультант, приходя на фирму для оказания помощи в сложной ситуации, может быть полезен лишь в том случае, если он превосходит по квалификации руководителя профильного отдела фирмы – клиента. В этом смысле он – «полковник», поскольку «генерал» – это не звание, а счастье». Что касается «показывать все», то клиент понимает простую истину – «сегодня консультант разговаривает с ним, а с кем будет общаться завтра (тоже на условиях конфиденциальности), угадать сложно». А потому излишняя откровенность может дорого стоить. Здесь надо видеть разницу между консультантом и адвокатом, который всегда на стороне обвиняемого против прокурора в состязательном процессе защиты и обвинения. Консультант работает на повышение эффективности бизнеса и конкурентоспособности сегодняшнего клиента, а потому активно против его конкурентов. Одновременно он сам набирается опыта, учится у клиента. Потом этим опытом очень хочется поделиться с новыми клиентами, а поделиться с ними опытом за хорошее вознаграждение хочется еще больше. А потому откровенничают с консультантами не все и не всегда.

#### **О кадрах экономической науки, футболе и воспитании чужих детей**

Чтобы оценить популярность экономической науки среди ищущих применения своих умственных способностей юных граждан, уместно сравнить данные о закончивших аспирантуру, в том числе с защитой диссертации, по этой специальности, по экономической теории, экономическим наукам в целом и по каким-нибудь естественным наукам, например, по физико-математическим (в целом). В таблицах 1-3 приведены соответствующие данные Росстата за период с 2007 по 2016 год.

В таблице 1 представлены данные об окончивших аспирантуру с 2007 по 2016 год по физико-математическим специальностям. Количество закончивших аспирантуру с защитой диссертации примерно в 5 раз меньше, чем общее число закончивших ее.

**Таблица 1. Аспирантура по физико-математическим наукам**

ф.-м.н.	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Всего	1 877	1 837	1 721	1 771	1 910	2 106	2 069	1 669	1 230	1 677
защита	479	376	432	437	476	472	481	311	272	318

В таблицах 2 и 3 представлены данные о закончивших аспирантуру по разным экономическим специальностям с защитой диссертации (таблица 2) и, соответственно, общее число закончивших аспирантуру (таблица 3).

**Таблица 2. Число закончивших аспирантуру по экономическим специальностям с защитой диссертации**

защиты	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
08.00.05	1 408	1 106	1 315	1 193	1 132	1 145	1 051	512	430	187
08.00.01	176	122	134	121	111	85	101	35	22	8
08.00.00	2 039	1 593	1 901	1 754	1 676	1 690	1 490	703	582	275

Специальности в таблицах 2 и 3 обозначены шифрами. Верхняя строка – та самая специальность «Экономика и управление народным хозяйством», куда входит экономика и управление предприятием. Средняя строка – экономическая теория. Нижняя строка – общее количество закончивших аспирантуру с защитой диссертации по экономическим наукам и, соответственно, безотносительно к защите.

**Таблица 3. Число закончивших аспирантуру по экономическим специальностям**

всего	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
08.00.05	4 361	4 041	4 076	4 082	3 737	3 948	3 714	2 747	2 590	2 177
08.00.01	479	413	389	400	366	416	391	268	258	229
08.00.00	6 394	5 896	5 900	5 887	5 507	5 800	5 479	4 040	3 839	3 206

Примечательна динамика завершения аспирантуры с защитой диссертации. Если в физико-математических науках она почти стабильна, то в экономических науках процент окончания с защитой стремительно падает. Трудно отделаться от мысли, что это явление как-то связано с Диссернетом, хотя Диссернет работает точно, а тут спад количества защит на порядок больше. Еще больше поражает количество потенциальных претендентов на ученую степень по экономике. Только по специальности «Экономика и управление народным хозяйством» их больше, чем по всем физико-математическим наукам. Но это – «вершина айсберга», поскольку приведены данные только по аспирантуре.

Если учесть данные о защитах помимо аспирантуры, то картина будет еще более впечатляющей. Ведь чиновники, защищавшие диссертации для поднятия статуса, редко выбирали в качестве сферы своей научной деятельности физику или математику. Большая часть этих диссертаций либо по экономике, либо по праву. Тут логично сделать вывод, ранее высказанный в качестве гипотезы, о том, что экономистов слишком много.

Экономистов не просто много, их у нас неправдоподобно много, но тут надо сделать оговорку. Слишком много тех экономистов, которые претендуют на знание именно того, о чем им обычно не говорят. О том, как реально управляется фирма. Это по специальности 08.00.05. Теоретиков, претендующих на знание фундаментальных принципов экономической науки (08.00.01), несколько меньше, но тоже многовато. Наконец, даже в США неожиданно много таких, что публично дают советы руководителям разного уровня в научных докладах или статьях, а иногда и открытых письмах президенту страны, как это случилось с 1144 подписантами письма Трампу. Еще больше тех, кто это письмо с радостью бы подписал, но статусом не вышел. Сами экономисты, не лишённые юмора, любят повторять известную присказку о том, что «в экономике, футболе и воспитании чужих детей разбираются все, кому вздумалось на эти темы поговорить». Как правило, эта сентенция адресуется физикам, «которые решили заняться экономикой, поскольку в физике для них работы нет». Эту или почти такую фразу мне приходилось неоднократно слышать на ученом совете, причем произносилась она без тени юмора или сомнения.

Но с футболом все не так просто. Футбольными тренерами становятся люди, показавшие в прошлом незаурядное умение играть в футбол. Тренеров не так уж много и работать каждому из них приходится с конкретной командой, а не с мировым или национальным футболом. Одна команда – один главный тренер и еще один или два ему в помощь. Экономисты тоже бывают «домашние», то есть занимающиеся делами конкретной организации, находясь в ее штате. Их статус в организации (фирме) может быть очень высоким. Иногда они даже высказываются публично, пишут статьи и диссертации. Но экономическую теорию, выстроенную логично и строго с опорой на экспериментальные данные, подобно физике, они точно не построят. Речь, разумеется, не о них, поскольку потребность в них определяется самими фирмами, а о тех, кто готов уберечь президента страны от «страшной ошибки». Кстати, брутальный американский президент подходит для этой цели идеально, в этом качестве он точно лучший.

Резюмируя сказанное выше об экономистах, можно сделать довольно печальный вывод. Практически во всем мире экономисты сегодня делятся на академических, занятых развитием экономической теории в вузах или научно-исследовательских институтах, и ангажированных, обслуживающих частные интересы, прежде всего, интересы бизнеса. Академические экономисты относительно независимы в своих исследованиях, но не имеют доступа или имеют очень ограниченный доступ к реальным данным, далеко не всегда понимают истинные цели сделок и многого другого, поскольку им этого просто не говорят. Ангажированные экономисты в этом смысле вооружены гораздо лучше, но ориентированы на цели заказчика и жестко ограничены в публикации полученных результатов. В чем-то соотношение между ангажированными и академическими исследованиями напоминает соотношение между гламуром и дискурсом в романе Пелевина про вампиров, где гламур – это секс в денежной форме, а дискурс – то же самое, но без секса и без денег.

#### **Математические методы и инструменты в цифровой экономике**

Обострение проблем с применением математики в экономике по мере цифровизации выглядит несколько парадоксально, если учесть, что цифровизация сама по себе базируется на математике, а проблем с математикой у экономистов и раньше хватало (куда уж больше?). Тем не менее это так, поскольку цифровизация привела к изменению целого ряда соотношений в экономике, включая изменение соотношений между разными видами транзакционных издержек, между постоянными и переменными затратами, но самое главное – самым дефицитным ресурсом стало внимание.

#### **Цифровая экономика как экономика внимания**

Как уже говорилось выше, термин «цифровая экономика» (digital economy) ввел в 1994 году Дон Тапскотт (Tapscott, 1995), подчеркивая возрастающую роль информации в цифровом формате и ее влияние на формы ведения бизнеса. Появившийся примерно в это же время термин «экономика внимания» (attention economy) подчеркивает другую важную сторону того же процесса – возрастающую роль внимания как дефицитного ресурса, за который идет все более ожесточенная борьба между различными агентами рынка, включая новые и традиционные медиа, а также разного рода перекупщиков и торговцев чужим вниманием. К настоящему времени практически доказано, что внимание целевой аудитории – самый дефицитный и, следовательно, самый важный ресурс современной экономики. А потому следует серьезно воспринимать утверждения ряда ученых о том, что современную экономику и, тем более, экономику будущего следует называть не цифровой экономикой, а экономикой внимания (Goldhaber, 1997; Franck, 1993). Разумеется, реклама и пропаганда существуют давно, но сейчас ситуация качественно изменилась благодаря развитию сетевых технологий и применению искусственного интеллекта.

С появлением технических средств сбора, обработки и передачи данных их объем растет немислимыми ранее темпами. Одновременно появляются все новые инструменты для их обработки. Но возможности человека воспринимать новую информацию даже в наиболее удобном для восприятия виде ограничены. А еще до того, как воспринять информацию, требуется обратить на нее внимание. Здесь человеческие возможности ограничены еще жестче, а поток информации постоянно возрастает.

Естественное желание потребителя – защититься от чрезмерного потока, как правило, ненужной информации – порождает новые способы обращения с информацией, включая разные способы «понимать тексты, не читая», но активно используя технические средства (Милкова, 2019). Также, разумеется, используется и старый, надежный прием – визуализация. Показать картинку часто оказывается более

выигрышно, чем доказать, используя обращение к фактам и логику. А потому сложные математические модели экономики все чаще вытесняются агент-ориентированными моделями с большими возможностями визуализации. В целом проблема остается, а также появляются новые проблемы: сложности обучения, изобилие фейковых новостей и так далее. Поведение потребителя все больше отклоняется от классической схемы, согласно которой он полностью рационален, а его выбор можно описать с помощью некоторой задачи на максимум «полезности». Помимо отклонений, замеченных и описанных ранее психологами (Канеман, 2014), обнаруживаются новые явления, в том числе, очень напоминающие интерференцию (Оррелл, 2019), что дает основания говорить о волновых эффектах.

Если смотреть на ту же ситуацию со стороны производителей и ретейлеров, то основная задача – вынудить потенциального потребителя, как минимум, обратить внимание на свой товар (продукт или услугу). Соответственно, задачи маркетинга все больше смещаются в сторону борьбы за внимание потребителя самыми разными средствами, среди которых не последнюю роль играют технические средства и приемы, граничащие со злоупотреблениями или переходящие эту границу. Например, в супермаркетах устанавливают множество камер наблюдения, а расположение товаров на полках регулярно меняют. При этом постоянные покупатели оказываются в ситуации новичков, но отличаются от них тем, что имеют дисконтные карточки магазина. Блуждая в поисках товара, не оказавшегося на привычной полке, такой покупатель постоянно находится под наблюдением камер. Его лицо легко распознается, а потом он предъявляет на кассе дисконтную карточку. В этот момент история блуждания его глаз по магазинным полкам прибавляется к уже имеющемуся досье на него. Разумеется, покупатель также накапливает впечатления о своих блужданиях, видит товары, на которые бы иначе не обратил внимания или даже не увидел бы их, поскольку сразу прошел бы к нужной полке и снял с нее нужный товар. В этой игре команда IT-специалистов из супермаркета подает себя в качестве благодетелей, но реально играет с потребителем, воруя его внимание и время. Качество предлагаемого продукта или услуги в этой игре тоже имеет значение, но его роль постоянно снижается, тогда как все более значительную роль играет умение захватить внимание и удержать его хоть на несколько секунд, а за эти секунды что-то успеть сообщить такое, что «зацепит» потенциального покупателя. Здесь не обходится без технических средств, цифровых технологий и – в качестве «вишенки на торте» – искусственного интеллекта. Разумеется, огромные массивы информации о «своих» потребителях, накапливаемые компаниями с применением технических средств, представляют для них большую ценность. Они категорически не хотят ею с кем бы то ни было делиться, включая не только другие компании, но и консультантов, помогающих им решать их же проблемы. Об академических экономистах, собирающих информацию для научных исследований с последующей публикацией результатов, в данном контексте даже вспоминать как-то странно.

Но и это еще не все. Сами продукты и услуги становятся все более цифровыми. А потому следует вполне серьезно воспринимать идею Майкла Голдхабера (Goldhaber, 1997) о том, что в пределе доля материальных затрат в производстве благ может стать пренебрежимо малой. С одной стороны, это вызвано увеличением объема программного обеспечения в сложных изделиях, с другой стороны, появлением новых материалов, совершенствованием технологий их обработки и другими полезными проявлениями научно-технического прогресса. Разумеется, в реальной экономике до такого предела дело не дойдет. Но теоретически рассмотреть такую экономику столь же естественно, как и экономику без трансакционных издержек, которую почему-то называли экономикой Коуза. А потому не следует слишком иронично воспринимать идею Майкла Голдхабера (Goldhaber, 1997) о превращении внимания в своего рода валюту будущего, имеющую и самостоятельную ценность, и служащую средством платежа. Экономика будущего, по Голдхаберу – это экономика цифровых продуктов и услуг, где средством платежа служит внимание, а ведущие роли играют «звезды» (знаменитости). Разумеется, речь идет о предельном случае, таком, как, например, физика без трения. Но в значительной мере такая экономика формируется уже сейчас. Не замечать этого уже почти невозможно. А тогда возникает следующий вполне логичный вопрос: какая математика подходит для моделирования такой экономики.

Вопрос о математическом аппарате для моделирования цифровой экономики, или (с учетом сказанного выше) для экономики внимания, можно поставить и более определенно:

1. Математика на основе обычной арифметики или тропическая математика (на основе идемпотентной арифметики)?
2. Классическая статистика Больцмана или квантовая статистика, а если квантовая, то Бозе-Эйнштейна или Ферми-Дирака?
3. Обычные вероятности или амплитуды вероятностей, как в квантовой физике?

Ответ на любой из этих трех вопросов очень сильно зависит от аудитории, для которой он предназначен. Такие вопросы почти наверняка не смутят экономофизиков. А для лиц, принимающих решения на государственном уровне, эти вопросы, скорее всего, бессмысленны, поскольку им незнакомы термины, в которых эти вопросы формулируются. С экономистами ситуация несколько сложнее. С одной стороны, способность экономистов воспринимать выводы, полученные с использованием столь непривычного и далеко не простого математического аппарата, неочевидна. Гораздо более вероятно обратное. С другой стороны, В.М. Полтерович в неоднократно цитируемой выше статье пишет о реальных масштабах применения математики в экономике буквально следующее.

*... все новые и новые разделы математики привлекались для анализа экономических явлений, например, теоремы о неподвижных точках, дифференциальная топология, теория устойчивости, функциональный анализ, теория случайных процессов, и т.п. Кажется, не осталось ни одного раздела математики, который не нашел бы приложение в экономике.*

С этим можно согласиться, поскольку прецеденты применения всего перечисленного имеют место, но понимать их слишком буквально и принимать за чистую монету все же не стоит. Перечисленные математические инструменты, как правило, применяются отнюдь не «для анализа экономических явлений», а для анализа навеянных экономическими теориями формальных математических моделей формальными же методами. Наиболее ярко разница проявляется в примере с применением дифференциальной топологии. Она применяется в математической экономике для доказательства теорем об экономиках в ситуации общего положения, то есть выполняющихся для «почти всех экономик» (Smale, 1974). Однако надо признать, что математическая экономика – специфическая область чистой математики, но точно не экономики и даже не прикладной математики. Об этом более подробно сказано в (Kozyrev, 2017) и ниже в подразделе «математическая экономика как искусство рисования в многомерных пространствах». Самое забавное здесь то, что применению дифференциальной топологии в математической экономике сам я отдал много сил, в какой-то момент это получилось (Kozyrev, 2001), но интерес был чисто спортивный, никаких иллюзий по поводу решения экономических проблем такими методами у меня не было. Разумеется, речь не о том, что результаты, получаемые с применением дифференциальной топологии, вообще не имеют отношения к экономической теории. Они ее развивают, позволяя несколько иначе посмотреть на те вещи, которые экономистам и без того кажутся достаточно очевидными.

Сложнее обстоит дело с применением функционального анализа, а точнее, двойственности, перекочевавшей из функционального анализа не только в математическую экономику, но и в теорию ценообразования. Тут мы имеем редкий случай, когда математический анализ повлиял не только на мировоззрение, но и на практику ценообразования. Но и тут не все ладно. Усвоив однажды, что предельные цены – это двойственные оценки, экономисты смело используют полученные на этом пути результаты даже тогда, когда условия, при которых они получены, меняются, а потому выводы неверны. Разумеется, так происходит не со всеми экономистами, среди них есть представители, прекрасно владеющие математическим аппаратом. Но процент их в общей массе ничтожен. Иначе бы статьи с такого рода ошибками не появлялись хотя бы в престижных журналах.

Применимость статистики Бозе-Эйнштейна в экономике, прежде всего, к финансам – доказуемый факт (Маслов, 2006, Orrell D, 2018), причем доказуемый и теоретически, и практически. Но в какой мере это распространяется на цифровые продукты – вопрос далеко не очевидный. С одной стороны, клоны цифровых продуктов практически неотличимы, если не метить их искусственно, что дает сходство с бозонами, деньгами, акциями компаний и другими объектами, для которых подходит статистика Бозе-Эйнштейна. С другой стороны, у цифровых продуктов отсутствует аналог важнейшего свойства бозонов – находиться в любом количестве на одном энергетическом уровне. Деньги или акции могут находиться в одних руках в любом количестве, именно это делает их похожими на бозоны. С цифровыми продуктами дело обстоит несколько иначе. Цифровой продукт копируется, о производстве цифрового продукта в каком-то количестве говорить бессмысленно, поскольку число клонов теоретически может быть любым. И тут возникает некая развилка в плане формализации. Можно понимать цифровой продукт как общественное благо в смысле (Samuelson, 1954), забывая о том, что распространение такого блага отнюдь не автоматическое. А можно отдавать себе отчет, что мы живем в условиях экономики внимания, оно – самый дефицитный ресурс, а потому создание цифрового продукта – лишь первый, причем не самый трудный шаг, самое трудное – обратить на него внимание целевой аудитории. Есть и еще одна сторона в этой задаче. Иметь два одинаковых цифровых продукта, например, две одинаковых программы на одном компьютере, как минимум, бессмысленно, а часто и невозможно. Получается, что здесь имеет место сходство скорее с фермионами, для которых существует запрет Паули, чем с бозонами, на которые этот запрет не распространяется. Следовательно, для экономики цифровых продуктов может подойти статистика Ферми-Дирака.

Отмеченное свойство, выделяющее экономику цифровых продуктов и услуг среди других областей экономического анализа, дает основательный повод говорить, что для ее моделирования хорошо подходит тропическая (идемпотентная) математика, основанная на идемпотентной арифметике, где операции обычного сложения и умножения заменены другими бинарными операциями  $\oplus$  и  $\otimes$ , причем сложение идемпотентно, т.е. для любого  $a$  выполняется равенство  $a \oplus a = a$ . Идемпотентное сложение цифровых продуктов на уровне битов – это «да» и еще раз «да» равно «да». Далее это свойство наследуется цифровыми продуктами любой сложности, а потом над всем этим может быть построена полноценная математика, получившая свое название в честь бразильского математика Имре Саймона, причем без какой-либо связи с экономикой (Литвинов, 2005).

В тропической математике изучаются разные свойства полуколец с идемпотентным сложением, а также их приложения, в том числе, в экономике и математической экономике (Литвинов, 2005). Однако

и здесь не все однозначно. История появления термина «тропическая математика» и ее связь с экономикой имеет забавные ответвления. Так, в книге (Маслов, 2006) словосочетание «тропическая математика» ассоциируется с экономикой неэквивалентного обмена, с финансовыми пирамидами 90-х и фактическим ограблением большинства населения России. Тут все интересно и неоднозначно, в том числе интересны разнообразные пирамиды, возникающие то в финансах, то в строительном бизнесе, то в образе многоуровневого маркетинга. Однако предлагаемые математические конструкции достаточно универсальны и могут быть использованы в другом контексте, не связанном с образами наивных дикарей (из тропиков) или немногим более искушенных в бизнесе вкладчиков финансовых пирамид.

Следует помнить, что экономика цифровых продуктов – всего лишь часть экономики в более широком смысле. Тропическая математика применима как в теоретическом, так и в практическом смысле лишь к этой части экономики. Остальная ее часть основывается на обычной арифметике. А потому одно из безусловных достижений В.П. Маслова в создании математического аппарата для моделирования частично цифровой экономики – семейство усреднений, зависящих от параметра  $\beta$ .

$$M_\beta = \frac{1}{\beta} \ln \left( \frac{e^{\beta a} + e^{\beta b}}{2} \right).$$

Устремляя  $\beta$  к нулю или бесконечности, получим

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} M_\beta = \frac{a+b}{2}; \quad \lim_{\beta \rightarrow \infty} M_\beta = \max\{a, b\}.$$

Иначе говоря, при устремлении значения параметра  $\beta$  к нулю имеем дело с обычным средним, при устремлении параметра  $\beta$  к бесконечности получаем операцию  $\max$  (взятие максимума). Если теперь в качестве элементов использовать множество обычных чисел, дополнив его элементом  $\{-\infty\}$ , в качестве сложения  $\oplus$  взять операцию  $\max$ , а в качестве умножения  $\otimes$  – обычное сложение, то получим алгебру « $\max, +$ ». Это одна из самых популярных «арифметик», используемых в тропической математике.

Именно такое усреднение должно иметь место при цифровизации экономики, более высокому уровню цифровизации соответствует большее значение параметра  $\beta$ . Интерпретация усреднения  $M_\beta$  в таком ключе согласуется и с повышением доли цифровых продуктов в экономике, и с повышением доли ожиданий, связанных с возможным ростом акций, о чем будет сказано ниже.

Примечательно, что среднее  $M_\beta$  «наиболее близко к линейному» в том смысле, что среднее  $M_\beta$  от  $(a + \alpha)$  и  $(b + \alpha)$ , где  $\alpha$  – некоторое число, равно  $M_\beta + \alpha$ :

$$\frac{1}{\beta} \ln \left( \frac{e^{\beta(a+\alpha)} + e^{\beta(b+\alpha)}}{2} \right) = \frac{1}{\beta} \ln e^{\beta\alpha} \left( \frac{e^{\beta a} + e^{\beta b}}{2} \right) = \alpha + \frac{1}{\beta} \ln \left( \frac{e^{\beta a} + e^{\beta b}}{2} \right).$$

При любом неотрицательном  $\beta$  суммирование вида

$$a \oplus b = \frac{1}{\beta} \ln(e^{\beta a} + e^{\beta b})$$

с умножением

$$a \otimes b = a + b$$

дает коммутативное кольцо, обладающее ассоциативностью и дистрибутивностью (Маслов, 2006), а в пределе  $\beta \rightarrow \infty$  приводит к полукольцу  $(\max, +)$ . Иначе говоря, можно построить и развивать «субтропическую» математику для любого значения  $\beta$ . При одном предельном значении  $\beta$  она переходит в обычную математику, при другом – в тропическую.

Последний из трех вопросов, поставленных в самом начале, касается применимости в экономике комплексно-значных амплитуд вероятностей вместо обычных вероятностей, выражаемых неотрицательными вещественными числами. Такой переход, как показано в (Оррелл, 2019), позволяет описывать поведение экономических агентов гораздо лучше, чем это принято в традиционной теории игр и неоклассической экономической теории. В том числе очень хорошо улавливаются эффекты, отмеченные в монографии (Канеман, 2014), а также некоторые другие парадоксы выбора. Более того, есть достаточно веские основания полагать, что внимание во многом имеет волновые свойства, тут возможна интерференция и другие явления волновой природы. А потому аппарат математического моделирования в экономике нуждается в расширении за счет принятия конструкций и приемов из квантовой физики, невзирая на технические и психологические трудности.

Завершая раздел о применении математики в экономике внимания, заметим, что анализ массива публикаций с использованием терминов *attention economy*, *economy of attention* и *attention economics* в качестве ключевых слов показывает удивительный факт. Статьи по экономике внимания в любом из трех ее толкований пишут физики-теоретики, психологи, искусствоведы, специалисты по теории выбора и даже архитекторы, но только не экономисты. Впрочем, работающие в компаниях маркетологи и другие ангажированные экономисты, скорее всего, разбираются в теме исследований по экономике внимания. Было бы странно, если бы кражей внимания покупателей для продвижения товаров и услуг с применением технических средств занимались только IT-специалисты или IT-специалисты с привлечением психологов, но без маркетологов-экономистов. Экономическая теория в данном случае оказалась оторвана от практики, как никогда раньше, но останавливаться на констатации этого факта было бы, как минимум, скучно. Хочется понять, в чем здесь дело и попытаться найти решение, приемлемое для построения теории. И тогда естественным образом возникает вопрос об измерениях в экономике внимания.

### **Измерения в цифровой экономике и экономике внимания**

Почти очевидно, что измерять внимание как таковое – задача скорее бесперспективная, чем сложная. Некоторые авансы здесь были заявлены разными авторами, но воспринимать их серьезно вряд ли следует. Например, выступая на конференции в честь 20-летия РЭШ<sup>4</sup>, Эстер Дайсон<sup>5</sup> говорила об экономике внимания (attention economy) как о чем-то новом и добром.

*Внимание имеет свою внутреннюю, немонетизируемую ценность. Экономика внимания – это та, где люди проводят свое личное время, привлекая внимание других, будь то разработка творческих аватаров, размещение содержательных комментариев или накопление "лайков" для фотографий своих кошек.*

Текст этого выступления можно скачать или прочитать на странице Independent<sup>6</sup>. Но оно выражает очень наивную точку зрения. Сегодня совершенно очевидно, что внимание не только успешно монетизируется. Его крадут изощренными способами с применением технических средств, искусственного интеллекта и знаний в области психологии, а потом перепродают или монетизируют иным способом. Поэтому накопление внимания в «лайках» – наивная сказка про какую-то ненастоящую экономику, за которой прячется настоящая, причем совсем не такая добродушная. Она не так уж нуждается в том, чтобы измерять внимание в каких-то единицах. Реальный смысл имеет только измерение ценности внимания в деньгах, а это значит, что интересно не «сколько накоплено внимания» (в лайках или чем-то еще), а «сколько оно позволяет выиграть в деньгах». Но и это еще далеко не все. Внимание – ресурс не только дефицитный, но и крайне неустойчивый, копить его очень трудно и, что еще важнее, бессмысленно. Это значит, что измерять, накапливать и монетизировать, если такая цель ставится, надо что-то другое. И вот тут самое время получить урок у физиков, причем обращаться следует к людям высокого полета, к тому же готовым что-то объяснять себе и другим, а не запутывать и без того сложные вопросы. К числу таких физиков в первую очередь можно причислить Роджера Пенроуза, книга которого (Пенроуз, 2003) производит огромное впечатление и поселает надежду на то, что можно объединить в одну команду экономистов и физиков, если для тех и других желание понять перевесит защитные реакции.

В данном случае наибольший интерес представляет рассуждение Пенроуза о двух типах процедур в квантовой физике. Одна из них –  $U$ -процедура – абсолютно детерминирована, она точно описывает поведение квантовых систем при условии, что точно известны все начальные условия. Но, разумеется, начальные условия никогда не известны и, более того, их в принципе нельзя получить путем измерений, в том числе, благодаря принципу неопределенности Гейзенберга, но не только. При этом состояние квантовой системы описывается уравнениями с переменными в гильбертовом пространстве над полем комплексных чисел. Вторая из них –  $R$ -процедура – то, что обычно называют наблюдением, хотя это далеко не наблюдение в привычном смысле слова. Как именно работает эта процедура, строго говоря, вообще непонятно. Но она всегда приводит к тому, что вместо описания состояния квантовой системы как точки гильбертова пространства над полем комплексных чисел мы получаем одно из возможных состояний, описываемых в наблюдаемых (при этом, разумеется, вещественных) переменных. В примере с прогнозом погоды мы не знаем ни положения в пространстве, ни импульсов всех частиц, ни комплексных амплитуд вероятностей, а потому даже при наличии фантастически мощной вычислительной техники, работающей без накопления ошибок, не смогли бы рассчитать состояния этих частиц на какой-то момент в будущем. Но, если бы могли рассчитать, то результат расчетов получали бы как новую точку в том же гильбертовом пространстве.

Картина получается никак не более оптимистичной, чем при наблюдениях в экономике, включая экономику внимания, где мы можем видеть лайки, число подписчиков, а иногда и финансовые результаты отдельных игроков. Но причины, стоящие за лайками и финансовыми результатами, мы можем только воображать и писать уравнения, как это делают физики. Остается это признать и строить теорию экономики внимания, используя примерно ту же парадигму с двумя типами процедур, одна из которых теоретически точная, а вторая описывается в терминах наблюдаемых явлений.

Для такого подхода есть и еще одно основание. Современная экономика в наблюдаемых переменных заставляет думать, что многие практически применимые ранее закономерности, что называется, поплыли. В том числе, это относится к так называемой теореме ММ, получившей название в честь Модильяни и Миллера – нобелевских лауреатов по экономике 1999 года, обнаруживших соответствующий эффект. Утверждение этой «теоремы» состоит в том, что стоимость фирмы, а точнее, ее рыночная капитализация не зависит от структуры активов, а зависит только от доходности. Стоимость определяется как рыночная капитализация плюс долговые обязательства, считается, что «рынок учитывает наличие

<sup>4</sup> Конференция в честь 20-летия Российской экономической школы состоялась 14-15 декабря 2012 года в Центре международной торговли в Москве.

<sup>5</sup> Эстер Дайсон – генеральный директор EDventure Holdings – активный инвестор в различные стартапы по всему миру, включая Россию.

<sup>6</sup> <https://www.independent.co.uk/rise-attention-economy/>

долгов, адекватно снижая рыночную капитализацию», а потому ее надо вернуть на место, чтобы получить стоимость. Как выясняется, в цифровой экономике (она же экономика внимания) ничего подобного наблюдать не приходится. Наблюдая за котировками акций, скорее можно поверить, что в каждую цифровую компанию встроена финансовая пирамида.

Наглядное проявление данного свойства цифровой экономики – неправдоподобно высокая рыночная капитализация компаний, производящих цифровые продукты и услуги, а также платформ, не производящих вообще ничего, а лишь создающих возможности для других компаний. Три цифровых компании – Apple, Amazon и Microsoft – относятся к числу «триллионников», то есть рыночная капитализация каждой из них хоть однажды превышала триллион долларов США. При сопоставимой и даже почти одинаковой рыночной капитализации доходность этих трех компаний различается в разы, что противоречит теории, составляющей основу современной профессиональной оценки бизнеса. Согласно теореме MM (Модильяни, Миллер, 1999), стоимость фирмы определяется ее доходностью, то есть генерируемым фирмой денежным потоком, но у этих трех фирм денежные потоки очень разные. Здесь напрашивается вывод: чем глубже фирма встроена в «цифру», тем дальше от реальной стоимости ее рыночная капитализация. Разумеется, три фирмы – это еще не статистика, но какие фирмы!

Сравнить компании Apple и Amazon особенно интересно еще и потому, что Apple производит и устройства, и программное обеспечение к ним, а Amazon начинала как платформа, то есть компания, обеспечивающая лишь связь между игроками рынка, ею же в основном и остается до сих пор. Компания Microsoft в этом смысле – нечто среднее между этими двумя крайностями, поскольку производит программное обеспечение. Также стоит напомнить, что компания считается переоцененной, если ее рыночная капитализация превышает чистую прибыль более, чем в 10 раз, и недооцененной, если менее, чем в 6 раз. Теперь можно перейти к цифрам.

Чистая прибыль Amazon за 2018 год составляла чуть более 10 миллиардов долларов США, что примерно в 100 раз меньше ее рыночной капитализации на сентябрь 2018 года. Это значит, что цена ее акций была завышена, как минимум, в 10 раз. Относительно нормальное соотношение между рыночной капитализацией и прибылью из всей тройки только у Apple. Чистая прибыль Apple в 2018 году составила 59,53 миллиарда долларов, то есть почти в 6 раз больше, чем у Amazon. Прибыль Microsoft за 2018 год не вполне показательна сразу по двум причинам. Во-первых, она была необычно низкой в силу нерегулярных трат, во-вторых, рыночная капитализация Microsoft достигла триллиона не в 2018, а в 2019 году, а потому логично обратиться к показателям 2019 года. Чистая прибыль за первый квартал 2019 года составила 8,809 миллиардов долларов, против 7,424 за аналогичный период 2018 года. Дальше можно предположить, что годовая чистая прибыль составит примерно 36 миллиардов. Соотношение рыночной капитализации и доходности Microsoft оказывается близко к 28, это где-то между аналогичным соотношением 16,8 для Apple и 100 для Amazon. У всех трех рассматриваемых компаний этот показатель (мультипликатор) необычно велик. Еще важнее обратить внимание на разброс мультипликаторов по прибыли (такой мультипликатор равен отношению капитализации к чистой прибыли). В данном случае мы имеем значения от 16,8 у Apple до 100 у Amazon.

Нельзя сказать, что такой разброс мультипликаторов приводит к сенсациям, напротив, задним числом все «понимают», что такой взлет капитализации самых цифровых фирм объясняется ожиданиями, что «пузырь» рано или поздно лопнет и т.д. Но есть такая профессия – профессиональная оценка бизнеса, где надо не объяснять задним числом, почему так получилось, а давать оценку здесь и сейчас на момент возможной покупки пакета акций, суда между партнерами или чего-то еще. Если привычные подходы к оценке стоимости компаний не работают, то надо искать что-то новое.

### ***Математическая экономика как искусство рисования в многомерных пространствах***

Математическая экономика – ветвь скорее чистой, чем прикладной математики, или вообще не наука, а искусство, близкое по своей сути к искусству рисования. С практическими задачами экономического характера она либо совсем не связана, либо связана лишь на уровне мировоззрения, тогда как прикладная математика обычно связана с решением очень конкретных задач, в том числе в сфере экономики. Принадлежность математической экономики скорее к искусствам, чем к наукам достаточно очевидна, если ориентироваться на критерий, применяемый Нобелевским комитетом. К наукам, согласно этому критерию, относятся виды умственной деятельности, ориентированные на решение практических задач. Иные виды умственной деятельности относятся к искусствам. Следовательно, к этой категории относится математическая экономика, имеющая лишь косвенное отношение к экономике и абсолютно не ориентированная на решение ее практических задач. Примечательно, что согласно тому же критерию, к искусствам относится вся чистая математика, в том числе алгебра, геометрия и топология. Но эти фундаментальные математические дисциплины не оперируют терминами какой-либо области возможных приложений, а математическая экономика оперирует экономическими терминами, хотя приложениями в области реальной экономики не грешит. К тому же математикам нобелевскую премию, как известно, не дают, а для математик-экономистов есть лазейка через вход для экономистов, делающих что-то реальное или сумевших создать о себе такое представление у тех, кто такие премии присуждает.

Если смотреть на математическую экономику как на искусство, то ближе всего она к изобразительному искусству, еще точнее – к рисованию, но не обычному, а многомерному. У нее есть своеобразное приложение к экономической теории, связанное с визуализацией экономических образов, описываемых

экономистами вербально или представляемых графически, но крайне упрощенно, а это чревато серьезными ошибками. Можно привести много примеров, когда многомерные по своей сути экономические явления представляются в виде плоских образов, поскольку так удобнее, более соответствует привычным для ординарного сознания зрительным образам и даже кажется убедительным. Однако такие упрощения создают лишь иллюзию понимания. Например, рыночное равновесие в простейшем виде представимо как пересечение кривых спроса и предложения на плоскости с координатами в виде «цен» и запрашиваемого или предлагаемого объема товара. При естественных предположениях монотонности спроса и предложения эти кривые пересекаются в одной точке, отсюда сразу получаются и существование, и единственность равновесия. Однако минимальное повышение размерности с переходом к модели с двумя продуктами делают ситуацию уже не столь очевидной, как минимум, в части единственности.

Более сложный и гораздо более богатый по содержанию графический образ – точка равновесия в ящике Эджворта, т.е. в простейшей модели обмена, где только два продукта и два экономических агента. Здесь уже приходится применять элементарную математику, чтобы искусственно понизить размерность образа, пользуясь зависимостью переменных, исключить две из них и поместить результат на плоскости. Еще более сложная графическая конструкция на ту же тему – ящик Баласко, позволяющий показать, как неединственность равновесий связана с особенностями гладких отображений. Однако дальнейшее повышение размерности, связанное с увеличением числа экономических агентов или продуктов, приводит к невозможности рисовать образ равновесия на плоскости. Приходится формулировать результаты в виде теорем, доказываемых с применением относительно сложной математики, в том числе, дифференциальной топологии (Smale, 1974). Однако по-настоящему интересно это только самим математикам. Экономистам для понимания на качественном уровне вполне хватает ящика Эджворта. Чуть более сложные конструкции – треугольник Кольма и диаграмма Кольма позволяют графически изобразить равновесие Линдаля в модели с одним частным и одним общественным благом. Что касается практического применения, то и математикам, и экономистам заранее понятно то, что довольно давно сформулировал один из классиков экономической теории.

*Слишком большая часть современной "математической" экономики – это просто выдумки, столь же неточные, как и исходные предположения, на которых они основываются, они позволяют автору упустить из виду сложности и взаимозависимости реального мира в лабиринте претенциозных и бесполезных символов.*

*Джон Мейнард Кейнс, 1936<sup>7</sup>*

Разумеется, с тех пор, когда было сформулировано это утверждение, много чего изменилось, но математическая экономика осталась областью чистой математики, оперирующей экономическими терминами. Большинство применений «математики в экономике» оказывается применениями именно к ней, то есть внутри самой математики. Это не значит, что математика совсем не применяется в реальной экономике, пример с применением к ценообразованию, приведенный выше, показывает применимость, в том числе, довольно сложной математики. Но до исчерпания возможностей здесь еще далеко.

#### **Эконофизики, математики и экономисты**

Заключительная часть статьи касается взаимоотношений экономистов с математиками и эконофизиками, которых экономисты активно не любят, тогда как математиков просто почти не замечают. Эта часть короткая, поскольку и без нее статья получилась слишком длинной.

#### **Легенда о том, как безработица в теоретической физике породила эконофизиков**

Среди экономистов весьма популярна мысль о том, что физики идут в экономику, поскольку в физике им стало нечего делать. Она неоднократно озвучивалась на ученом совете ЦЭМИ РАН по разным поводам и каждый раз встречала вполне благожелательное в целом отношение зала. А потому нет сомнения, что многие экономисты именно так думают. Возможно, у них есть для этого какие-то известные им основания, но выглядит это как защитная реакция на вторжение чужаков в хорошо обжитое пространство. Такая реакция по-человечески понятна, но не очень симпатична. Однако, самое главное – контекст, в котором все это происходит. На этот случай есть конкретный пример.

Известный физик (доктор физико-математических наук), занимавший в прошлом довольно высокий пост в энергетике, приводит статистические данные о капитальных вложениях и экономическом росте в СССР, из которых следует, что рост предшествует вложениям, а не наоборот, как это положено по теории, изучаемой по учебникам. Реакция зала – обвинение докладчика в экономической безграмотности. Именно в этом контексте звучит заветная мысль о том, что физики идут в экономику от безысходности в своей области, а лучше бы им уйти туда, откуда пришли. Тут же рассказывают о производственной функции, «которую надо не только знать, но и понимать». Противоречащий теории факт не обсуждается.

Но стандартный подход, принятый в естественных науках, предполагает совсем другую реакцию в такой ситуации. Столкнувшись с фактом, противоречащим существующей теории, надо либо опровергнуть то, что подается в качестве факта, либо искать его объяснение в рамках существующей теории или

<sup>7</sup> Из книги Дж. М. Кейнс, «Общая теория занятости, процента и денег».

новой, идущей на смену. В данном случае такое объяснение можно поискать и даже найти. Дело в том, что советская экономика была относительно замкнута, все вложения осуществлялись из бюджета страны, а рост экономики и, соответственно, бюджета часто был обусловлен высоким урожаем, который, в свою очередь, зависел от погодных условий. Именно при высоком урожае появлялась возможность больше вложить в промышленность. Отсюда и мнимый парадокс. Разумеется, предлагаемая версия достаточно примитивна, данные об урожаях в том докладе не приводились. Но примечателен сам факт, что можно искать и найти объяснение, а можно послать неудобного докладчика туда, откуда пришел. Экономисты, к сожалению, последовательно выбирают второй путь. Он в никуда.

***Великие англосаксы о математике в экономике и почему они неправы***

Экономисты, а также просто физики слишком часто сами подставляют, давая не желающим их слушать экономистам хороший повод для оправдания своего нежелания. Одна из типичных ошибок – выбор в качестве отправной точки для своих построений картинка из учебника по экономике или мнения классика, отстоящего от переднего края экономической науки лет на сто, а то и двести. Для англосаксов такими фигурами обычно являются Альфред Маршалл и Джон Мейнард Кейнс, для отечественных физиков – Маркс, а иногда все те же Маршалл и Кейнс. Такая особенность зрения, когда между Кейнсом и Маршаллом, с одной стороны, и тобой – пришедшим в экономику физиком – никого достойного не видно, вызывает крайне отрицательную реакцию экономистов. Такая реакция вполне оправдана. Хуже того, рекомендации Маршалла и Кейнса – отнюдь не истина в последней инстанции, устарел даже их подход к экономике как науке, не говоря уже о результатах. Для примера цитируем популярные высказывания этих классиков. Кейнс высказался о математической экономике (см. выше), теперь очередь Маршалла.

*(1) Используйте математику как сокращенный язык, а не как инструмент исследования. (2) Придерживайтесь ее, пока вы не доделали исследование. (3) переведите на английский язык. (4) затем проиллюстрируйте важными примерами из реальной жизни. (5) сожгите математику.*

*Альфред Маршалл, 1906<sup>8</sup>*

Уже в пункте (1) Альфред Маршалл неправ. Если бы по такому пути пошли физики, то остались бы на уровне понимания физики Аристотелем, согласно которому тело движется, если к нему приложена сила. Тезис (2) интереса не представляет в силу своей банальности, а тезис (3) представляет интерес в основном благодаря забавному стечению обстоятельств. Классик писал для англичан, а актуальность его высказывание оказалось сейчас для нас в силу загадочной позиции руководящих органов и грантодателей, желающих видеть труды россиян на английском языке. Полезность (4) несомненна, а вот (5) стоит отдельного комментария. Как ни прискорбно, здесь Маршалл почти прав. Если вы хотите, чтобы ваши труды прочитало высокое начальство или просто очень много людей, то лучше без математики, поскольку «каждая формула сокращает число читателей вдвое». Но так можно было писать в 20-е годы прошлого века, когда экономистов было мало. Сегодня проблема в том, чтобы отсеять лишние писателей «научных» статей по экономике (не читателей, разумеется), а потому правила изменились. Об этом вполне ясно высказался В.М. Полтерович в той же статье.

*Типичная статья в журнале высокого уровня должна содержать, по крайней мере, одно из двух: либо теоретическое модельное обоснование основных тезисов, либо их эконометрическое тестирование на эмпирическом материале. Тексты, написанные в стиле Рикардо или Кейнса, в наиболее престижных журналах крайне редки.*

А в сноске дано пояснение.

*Это лишь констатация факта. Я вовсе не хочу сказать, что такие работы не представляют научного интереса.*

Все так, единственное уточнение к сказанному может состоять лишь в том, что помимо присутствия или наличия научного интереса здесь работает еще один фактор. Автор статьи должен показать, что он умеет работать либо с математическими моделями, либо с данными, то есть, он – профессионал, а не городской сумасшедший. О том, представляет ли статья научный интерес, судить гораздо сложнее. Но именно на этом рубеже возникает новая проблема, связана она с большими данными.

***Большие данные – насмешливое счастье экономистов***

Появление технических средств для сбора данных и аналитических инструментов для работы с ними радикально меняет соотношение сил в науке по изучению реальной экономики. Происходит что-то похожее на реформу правописания, когда очень грамотные (по старым правилам) люди оказываются на одном уровне грамотности с теми, кто новую грамоту осваивает как первую в жизни, впервые учится читать и писать. Некоторые народы России пережили такой снос старой культуры, как минимум, дважды.

<sup>8</sup> “(6) Если вы успешны в (4), сожгите (3). Я всегда так делаю.” Письмо к A.L. Bowley, 27 февраля 1906.

Сначала их вынудили отказаться от арабской вязи и перейти к написанию на латинице, как слышится (что-то вроде транслитерации), потом то же самое с переходом с латиницы на кириллицу. О последствиях таких экспериментов мало кто помнит. Но сейчас мы все вместе переживаем нечто похожее в связи с цифровизацией. Некоторым это, что называется «сносит крышу», предлагают ликвидировать математические школы за ненужностью, поскольку «все будет определять умение обрабатывать большие данные» и много чего еще. Самые выдающиеся перлы на этот счет принадлежат экономисту Герману Грефу. В своей лекции на XIX Всемирном фестивале молодежи и студентов с лекцией «Технологические тренды: дорога в будущее» в октябре 2017 года он заявил: «Информационные технологии – отстой: будущее за экономикой данных»<sup>9</sup>. Но это была только разминка, дальше больше.

*Хорошая новость заключается в том, что в этом мире нужны будут не только математики и программисты. Более того, я думаю, их всё меньше и меньше нужно будет. Поэтому, когда мы пытаемся сказать, что мы сейчас будем развивать специальности "математик" и "программист", мы попадаем ровно в такую же ловушку, как у нас было какое-то время назад с юристами и экономистами".*

*Герман Греф на международном форуме "Открытые инновации" в Москве, 2018.*

В качестве комментария хочется напомнить притчу о том, как осел с двумя мешками соли поперек спины упал с моста в воду, соль растаяла, стало легче. В следующий раз он «упал» в воду с двумя большими мешками сена. А мы можем попасть в ту же ловушку, что и осел из притчи, если нами будут руководить знаменитые экономисты типа Германа Грефа.

Тем не менее, большие данные реально меняют ситуацию не только в части невиданных ранее возможностей, но и в том, что пользоваться ими смогут далеко не все, а только те, кто умеет и имеет доступ, причем не только к самим данным, а еще и к соответствующим аналитическим инструментам. То же самое в какой-то мере было и раньше, данные собирали органы статистики, социологи, спецслужбы и прочие исследователи реальной экономики. Доступ к сколько-нибудь чувствительным данным был далеко не у всех, наличие такого доступа очень ценилось, но все было как-то упорядочено.

Сейчас ситуация качественно изменилась. Можно оставить в стороне такие фирмы, как Google и FB, о них написано многое. Сегодня любой супермаркет собирает с помощью технических средств такой объем данных о своих покупателях, что традиционные методы типа опросов кажутся детской игрой в войну с применением деревянных автоматов. А нефтяные компании, в том числе российские, имеют информацию о продажах со всех своих заправок в режиме онлайн. Но они не делятся этой информацией с экономистами, пишущими статьи в престижных научных журналах. Более того, они не делятся такой информацией или делятся ею очень неохотно с консультантами, которых приглашают для решения своих же проблем. В целом ситуация выглядит весьма парадоксально. Данные, о которых мечтали или даже мечтали не могли экономисты прошлого, собираются и накапливаются в специальных хранилищах, но к ним не имеют доступа именно те ученые-экономисты, задача которых – развитие экономической науки. Счастье экономистов оказалось каким-то призрачным, даже «насмешливым».

#### **Заключительные замечания и выводы**

Несмотря на довольно большой объем статьи, в ней нашли отражение далеко не все факты и мысли, о которых хотелось сказать всем, кто реально хочет развивать экономическую теорию, адекватную современной экономике. Возможно, это получится в последующих публикациях с более подробным разбором сюжетов, лишь затронутых в этой статье.

Завершая статью, хочется поделиться соображениями по одному из главных русских вопросов – Что делать? Здесь я придерживаюсь мнения, что необходима интеграция с физиками, пожелавшими применить свои силы и способности в экономической науке. Для этого надо внимательно читать их работы, не заостряя внимание на очевидных для образованного экономиста промахах. Физики достаточно хорошо владеют математическим аппаратом и быстро его пополняют, что редко бывает даже с сильными экономистами, не говоря уже о том продукте массового производства, о котором упомянул Греф. Но, чтобы читать статьи физиков об экономике, надо быть готовым разбираться в применяемом ими математическом аппарате. Прежде всего, это касается математического аппарата квантовой физики, поскольку экономика изначально квантовая. От этого интуитивно хочется отмахнуться, строить экономическую теорию по образу и подобию классической физики по Ньютону. Результат, как уже хорошо известно, получается плачевным. Следовательно, надо не возобновлять попытки с тем же уровнем претензий, а поучиться у физиков, как минимум, в части сопоставления претензий и реальных возможностей. Лучше это делать вместе с ними, чем без них. Кроме того, как это ни удивительно на первый взгляд, в применении аппарата квантовой теории к вопросам гуманитарных и общественных наук российские физики едва ли не первые в мире. Читая работы западных специалистов по этой тематике, то и дело натыкаешься на ссылки, где авторы имеют явно русские фамилии.

<sup>9</sup> <https://zen.yandex.ru/media/id/593685a8d7d0a62756e9cfe3/german-gref-informacionnye-tehnologii--otstoi-buduscee-za-ekonomikoi-dannyh-59f223833c50f7ac0933eed2>

Если интеграция в мировую науку на уровне математического аппарата в высшей степени естественна и необходима, то при переходе к конкретным проблемам все обстоит совсем иначе. Очень яркий пример в свое время озвучил В.И. Данилов-Данильян, касаясь водных проблем. Если будешь заниматься стоком Меконга, то интеграция в мировую науку зависит только от уровня твоих исследований. При наличии реальных результатов будут и публикации в престижных журналах, и ссылки, так как стоком Меконга занимаются исследователи со всего мира. Если будешь заниматься стоком Лены или Печоры, где у нас реальные проблемы, то об интеграции в мировую науку можно забыть до тех пор, пока она сама не придет в эти места, возможно, вместе с чужой армией. Но стоком Меконга эти исследователи нередко занимаются именно в погоне за публикациями и ссылками, а не потому, что хотят реально облегчить проблемы, связанные с разливами Меконга. Происходящее здесь очень напоминает то, что происходит с капитализацией цифровых компаний. Что-то подобное имеет место в экономической науке, когда она касается не общей теории и применения математики, а конкретных проблем здесь и сейчас.

И последнее. Занимаясь прогнозированием, экономисты слишком часто руководствуются известным подходом: «Знание некоторых принципов с легкостью заменяет незнание некоторых фактов»<sup>10</sup>. Однако на практике это приводит к чудовищным ошибкам, причем там, где вникнуть в детали, вполне доступные профессионалам в конкретной области, вполне возможно и даже необходимо. Именно это отличает квантовую экономику от квантовой физики. Физики не могут наблюдать такие частицы, как фотон или электрон, а потому вынуждены судить о них по оставленным где-то следам, а затем увеличенным (усиленным) до наблюдаемого уровня. Экономисты, решившие заняться экономикой внимания, цифровой или квантовой экономикой, тоже могут судить о происходящих явлениях по следам реальных явлений, оставленным в виде лайков, показателей капитализации и прочих скучных фактов. Это будет похоже на то, как если бы наблюдать посадку бабочки на цветок с помощью камеры с очень плохим разрешением или на очень плохом экране, где весь этот сюжет выглядит как сближение белого и красного шаров, причем белый шар будет двигаться как-то не по законам Ньютона. Но у экономистов, в отличие от физиков, есть возможность посмотреть тот же сюжет поближе (без камеры) или использовать оборудование с более высоким разрешением. Для этого нужно всего лишь перестать быть современными экономистами и стать учеными, для которых методы исследования определяются задачей исследования и доступными инструментами.

#### Литература:

1. Канеман Д. Думай медленно, решай быстро. М.: АСТ, 2014
2. Ковалев А. В. (2018) Экономическая теория: назад в будущее// Вопросы теоретической экономики, №2, 2018, с. 47–57
3. Козырев А. Н. (2001), Стратификации и трансверсальность в математической теории экономического равновесия / Препринт #WP/2001/127 ЦЭМИ РАН, 2001. - 50с.
4. Коуз Р. (1993), Фирма, рынок и право / Пер. с англ. М.: Дело, 1993.—192 с.
5. Коуз Р, Ван Нин (2016), Как Китай стал капиталистическим, М.: Новое издательство, 2016 г. 386с. ID товара: 535236, ISBN: 978-5-98379-204-3.
6. Литвинов Г.Л. (2005), Деквантование Маслова, идемпотентная и тропическая математика: краткое введение, Зап. научн. с ПОМИ, 2005, том 326, с. 145-182
7. Маслов В.П. (2006) Квантовая экономика, М.: Наука, 2006.
8. Милкова М.А. (2019) Тематические модели как инструмент «дальнего чтения»// Цифровая экономика, 2019, № 3(7). – с.57-70
9. Модильяни Ф., Миллер М. (1999) Сколько стоит фирма Теорема ММ. М. Дело, 1999.
10. Оррелл Д. (2019) Введение в математику квантовой экономики // Цифровая экономика, № 4(8) – 2019. С.
11. Пенроуз Р., (2003). Новый ум короля. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 339 с. — ISBN 5-354-00005-X.
12. Полтерович В.М. (1998). Кризис экономической теории // Экономическая наука современной России. № 1. С. 46–66.
13. Coase, R.H. (1937) The Nature of the Firm // *Economica*, New Series, Vol. 4, No. 16. (Nov., 1937), pp. 386-405.
14. Coase, R.H. (1974) The Lighthouse in Economics//*Journal of Law and Economics*, Vol. 17, No. 2 (Oct., 1974), pp. 357-376, URL: <http://www.jstor.org/stable/724895>
15. Coase, R.H. (1988) *The Firm, the Market and the Law*, The University of Chicago Press, 1988.
16. Franck, G. (1993) 'Okonomie der Aufmerksamkeit', *Merkur* 47(9/10): 748-61.
17. Coase, R., Wang, N. (2012) *How China Became Capitalist*. Palgrave Macmillan UK, DOI 10.1057/9781137019370

<sup>10</sup> Общий принцип предсказаний (Проза) <http://grafomanam.net/works/398513>

18. Goldhaber M.H. (1997) The Attention Economy and the Net // First Day Volume 2, Number 4 - 7 April 1997 <https://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/issue/view/79>
19. Kozyrev A.N. (2017) Mathematical economics as drawing art for multidimensional spaces// Mathematics in the Modern World. International Conference Dedicated to the 60th Anniversary of the Sobolev Institute of Mathematics. Novosibirsk, Russia, August 14-19, 2017.
20. Orrell D (2018). Quantum Economics: The New Science of Money, London: Icon Books.
21. Orrell D (2019). A quantum model of supply and demand. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications 539: 122928. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3376652](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3376652)
22. Posted: 30 Apr 2019
23. Samuelson, P. (1954). The pure theory of public expenditure. Rev. Econom. Statist. 36(4) 387–389.
24. Smale S. (1974) Global analysis and economics IIA: Extension of a theorem of Debreu//J. Math. Econom., 1974. v.I, N 1.
25. Tapscott, D., (1995) The Digital Economy: Promise and Peril In The Age of Networked Intelligence, McGraw-Hill, 1995. – 342p.

### References in Cyrillics

1. Kaneman D. Dumaj medlenno, reshaj bystro. M.: AST, 2014
2. Kovalev A. V. (2018) Ekonomicheskaya teoriya: nazad v budushchee// Voprosy teoreticheskoy ekonomiki, №2, 2018, s. 47–57
3. Kozyrev A.N. (2001), Stratifikacii i transversal'nost' v matematicheskoy teorii ekonomicheskogo ravnovesiya / Preprint #WP/2001/127 CEMI RAN, 2001. - 50s.
4. Kouz R. (1993), Firma, ryok i pravo / Per. s angl. M.: Delo, 1993. — 192 s.
5. Kouz R, Van Nin, Kak Kitaj stal kapitalisticheskim, M.: Novoe izdatel'stvo, 2016 g. 386s. ID tovara: 535236, ISBN: 978-5-98379-204-3.
6. Litvinov G.L. (2005), Dekvantovanie Maslova, idempotentnaya i tropicheskaya matematika: kratkoe vvedenie, Zap. nauchn. s POMI, 2005, tom 326, 145-182
7. Maslov V.P. (2006) Kvantovaya ekonomika, M.: Nauka, 2006.
8. Milkova M.A. (2019) Tematicheskie modeli kak instrument «dal'nego chteniya»// Cifrovaya ekonomika, 2019, № 3(7). – s.57-70
9. Modil'yan F., Miller M. (1999) Skol'ko stoit firma Teorema MM. M. Delo, 1999.
10. Orrell D. (2019) Vvedenie v matematiku kvantovoy ekonomiki // Cifrovaya ekonomika, № 4(8) – 2019. S.
11. Penrouz R., (2003). Novyj um korolya. — M.: Editorial URSS, 2003. — 339 s. — ISBN 5-354-00005-X.
12. Polterovich V.M. (1998) Krizis ekonomicheskoy teorii s.46-66

*Козырев Анатолий Николаевич (kozyrevan@yandex.ru)*

### Ключевые слова

Тропическая математика, квантовая экономика, транзакционные издержки, рыночная капитализация

***Anatoly Kozyrev, Digitalization, Mathematical Methods and the Systemic Crisis of Economic Science***

### Keywords

Tropical mathematics, quantum Economics, transaction costs, market capitalization

DOI: 10.34706/DE-2019-04-01

JEL classification: A12 Связь экономической теории с другими дисциплинами, C02 Математические методы, L14 Транзакционные отношения • Контракты и репутация • Сети

### Abstract

Digitalization and the rapid development of new information technologies, including network technologies, have led to the emergence of new forms of business, an abundance of information and new analytical tools that economists of the past could only dream of. The consequences of these changes for economic science were, at best, ambiguous. The crisis of economic theory, which many well-known economists have previously written about, has only worsened, but it is this fact that prompts us to seek a way out of the crisis, looking at the causes of old and new failures. This article is about this.

## 1.2. ТЕОРИЯ ПОДТАЛКИВАНИЯ И ЕЕ ИСКАЖЕНИЯ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ

Милкова М.А., ЦЭМИ РАН, Москва

*Статья рассматривает актуальный в настоящее время подход к формированию поведения граждан – теорию подталкивания (Nudge theory), предложенную нобелевским лауреатом Ричардом Тайлером и предлагающую использовать заранее предопределенную опцию по умолчанию в качестве «правильного» выбора индивида при принятии решений. Показан положительный опыт применения данной теории в секторе реальной экономики. Однако распространение данного подхода в информационную среду приводит к обратным результатам. На примере поисковой системы Google Search показано, как за последние 10-15 лет изменился сам принцип работы с информацией. Предоставляемые поисковыми системами готовые ответы, предложенные пользователям по умолчанию, ведут к деградации способности осуществлять итеративный поиск, анализировать результаты. Кроме того, выдаваемый срез информации представляется «на основе понимания Google доступного контента в Интернете», а не является пониманием информации пользователем. Высказывается предложение о необходимости использования альтернативного подхода к поиску информации, позволяющего, с одной стороны, учитывать клиповый характер мышления современного человека, а с другой стороны, предлагать дорожную карту исследуемого вопроса вместо предоставления готового ответа.*

### Введение

Известный популяризатор нейронауки<sup>1</sup> и доктор биологических наук Т.В. Черниговская определила биологический статус современного человека как Homo Confusus – человек растерянный (Черниговская, 2019), подразумевая, что в условиях цифровой реальности человеку необходимо быстро ориентироваться в постоянно меняющейся ситуации, обрабатывать большие объемы информации, что зачастую невозможно, так как темпы накопления информации стремительно растут.

Человек способен воспринимать лишь ограниченный объем информации. Несмотря на широкую доступность информации, ее перенасыщение приводит к принятию решений в условиях неопределенности, иначе говоря, «сложность порождает неопределенность» (Haldane, 2012), а получение достоверной информации становится настолько затратным процессом, что если стоимость получения информации выше, чем выгоды, получаемые от информации, выгодно быть неосведомленным. Данная теория называется теорией рационального неведения (rational ignorance) и предложена Антони Доунсом еще в 1957 году (Downs, 1957). Будучи разработанной применительно к теории общественного выбора, «рациональное неведение» объясняло причины пассивности избирателей в ходе выборов. Ключевым моментом данного принципа является то, что стоимость информации не может быть оценена, пока эта информация не получена. Суждения делаются на основе ожидаемых выгод и затрат от получения информации; ожидания базируются на предшествующем опыте, который может вводить в заблуждение.

Таким образом, несмотря на, казалось бы, низкую стоимость получения информации в эпоху цифровой реальности, объем доступной информации настолько велик, что не уместается в пределы человеческого восприятия. И в этот момент особенно актуальной становится «теория подталкивания».

Данная статья построена следующим образом: в первом разделе описывается классический подход к теории подталкивания и положительный опыт ее применения; второй раздел демонстрирует искажение теории при использовании ее в информационной среде; третий раздел дает детальное описание реализованных принципов подталкивания в поисковых системах (на примере Google Search), высказывается опасение о сугубо негативных последствиях измененного подхода к поиску информации.

### 1. Nudge theory Ричарда Тайлера

Теория подталкивания (nudge theory), или либертарианский патернализм, была изучена Ричардом Тайлером в качестве нового вида экономической политики и заключается в том, чтобы, не ограничивая выбор как таковой, с помощью мягких методов подталкивать индивида к принятию более «правильных» для него решений (Паниди, 2017). По сути, данная концепция основана на склонности людей к выбору опции по умолчанию и описана в работе Johnson, Goldstein (2003). В качестве примера ученые приводят пример Германии, где около 1000 человек умирают ежегодно в ожидании подходящего донора органов. Обычно люди заявляют, что одобряют донорство органов, но только около 12% подписывают специальный донорский документ. Напротив, 99,9% французов и австрийцев являются потенциальными донорами. Различия объясняются тем, что в Германии закон не предусматривает возможность донорства

<sup>1</sup> Лауреат Золотой медали РАН за выдающиеся достижения в области пропаганды научных знаний в номинации «Науки о жизни», 2017 год

органов по умолчанию. Во Франции, напротив, каждый гражданин является потенциальным донором, если не подписывал специальные документы об отказе.

Пример о донорстве органов иллюстрирует, что «правильный» выбор опции по умолчанию меняет выбор индивидов. Талером и коллегами было предложено распространить данный принцип для решения различных экономических вопросов, например, для повышения пенсионных сбережений. Учитывая склонность индивидов к когнитивным искажениям при принятии экономических решений, введение программы по умолчанию для сбережений способно дать положительный эффект. Так, Тайлером и коллегами рассматривался действующий в США пенсионный план 401(k)<sup>2</sup>, отмечался кризис данной системы (Benartzi, Lewin, 2012), при котором только половина работников подписывалась на выгодные сберегательные планы, а две трети из сотрудников, подписанные на план, считали, что выбранная ими доля сберегаемого дохода очень мала. Предложенное изменение архитектуры выбора пенсионного плана (Benartzi, Thaler, 2013) подразумевало автоматическое включение работника в 1) программу сбережений с заданной долей дохода, 2) инвестиционный план, 3) программу повышения доли сбережений при росте дохода. Результаты тестирования данной программы были вдохновляющими, и в 2006 г. в США был принят акт (Pension Protection Act), предоставляющий работодателям, которые приняли систему автоматического подключения плана пенсионных накоплений, существенные выгоды (Паниди, 2017; Benartzi, Thaler, 2013). В результате к 2011 г. 56% работодателей перешли на систему с автоматическим планом сбережений для работников, что, по некоторым оценкам, позволило увеличить сбережения для 4,1 млн. человек (Benartzi, Thaler, 2013). Важным условием предложенной программы является возможность свободно отказаться от участия в программе или же изменить условия сбережений, т.е. по сути никаких ограничений на выбор индивида программа не накладывает.

Убеждающие исследования Тайлера о политике либертарианского патернализма привели к ее распространению в другие сферы, данная политика стала активно применяться во многих странах. Правительства все больше заинтересованы в использовании поведенческих идей в качестве дополнения или замены традиционных экономических рычагов для формирования поведения граждан и продвижения общественных приоритетов (Bernartzi, et al., 2017). В ряде правительств по всему миру сформировались группы «подталкивания» (Nudge units), представляющие собой группы экспертов по поведенческой науке, разрабатывающие поведенческие вмешательства, способные стимулировать желаемое поведение без ограничения выбора. Так, в 2010 году в Великобритании было создано «подразделение по подталкиванию» (Behavioral Insights Team<sup>3</sup>), аналогичные структуры были введены в Австралии, Германии, Голландии, США и др. (см. Afif, et al. 2019). По данным Всемирного банка, ожидается дальнейшее распространение поведенческих идей в ближайшие годы (Afif, et al. 2019).

К успешным примерам политики либертарианского патернализма можно отнести: увеличение числа учащихся в колледжах США благодаря упрощению подачи федеральных заявок на финансовую помощь (FAFSA, Free Application for Federal Student Aid); снижение потребления электроэнергии с помощью рассылки писем с информацией о сравнении уровня электропотребления с соседями; повышение числа вакцинируемых от гриппа среди взрослых путем планирования конкретной даты вакцинации и др. (Bernartzi, et al., 2017).

«Зная, как люди думают, мы можем упростить для них выбор варианта, который является лучшим для них, их семьи и общества» (Thaler, Sunstein, 2008). Подчеркнем еще раз, что согласно Тайлеру и коллегам, подталкивание не должно ограничивать свободу выбора индивида, а отказаться от предлагаемого выбора должно быть просто и незатратно. Также отдельным важным этапом является тщательное предварительное тестирование предлагаемого «подталкивания» на предмет его пользы для общества.

К классическому «подталкиванию» можно также отнести: представление полезных продуктов в магазинах (например, фруктов) на уровне глаз; лотерейную камеру контроля скорости<sup>4</sup>; уменьшение размера тарелок в ресторанах самообслуживания для снижения количества пищевых отходов (Kallbekken, Sælen, 2013).

## 2. Big Nudging или от «подталкивания» к «толканию»

Накопленный положительный опыт применения теории подталкивания, а также доступность данного подхода для любых участников служит поводом ее недобросовестного использования, например, для максимизации прибыли компании. Так, в работах Helbing (2019) и коллег введен термин Big Nudging, рассматривающий «подталкивание» в условиях стремительного накопления информации о каждом из

<sup>2</sup> Пенсионный план 401(k) – разновидность сберегательного плана, позволяющая работнику часть зарплаты до уплаты подоходного налога вносить в инвестиционный фонд под управлением работодателя.

<sup>3</sup> <https://www.gov.uk/government/organisations/behavioural-insights-team>

<sup>4</sup> Speed Camera Lottery – камеры контроля скорости в Стокгольме, предложенные Кевином Ричардсоном, предусматривающие вознаграждение тем, кто соблюдает скоростной режим за счет тех, кто его нарушает. В ходе эксперимента, среди 24,857 машин, проехавших под камерой, средняя скорость движения снизилась с 32 км/ч до планки, предусмотренной скоростным режимом – 25 км/ч.

индивидов. Увеличивающийся объем личной информации об индивидах, который часто собирается без их согласия, раскрывает привычки, намерения и другую личную информацию, тем самым позволяя манипулировать индивидами. Такого рода Big Nudging приводит к тому, что индивиды делают выбор, который в ином случае бы не делали, например, покупают некоторые товары с завышенной ценой или ненужные товары, или, возможно, отдают свой голос определенной политической партии. Иными словами, «подталкивание» переходит в «толкание» (Sætra, 2019).

Искажение изначального подхода Тайлера заключается в том, что спрос на свободу выбора в условиях перенасыщения информацией замещается спросом на получение быстрого результата. Можно сказать, что либертарианский патернализм замещается «рациональным патернализмом» (название – по аналогии с рациональным неведением), когда выбрать опцию, предлагаемую по умолчанию, выгоднее с точки зрения затрат, чем производить поиск альтернативных решений.

В качестве примера можно привести исследование, проводившееся во время парламентских выборов в Индии в 2014 году, когда избирателям предлагалось расширить свои представления о кандидатах с помощью поисковой системы в Интернете (Helbing, 2019). Однако для одних групп на первой странице выдачи появлялось больше положительных отзывов о кандидате 1, а отрицательные отзывы располагались в основном на последующих страницах. Другие группы аналогично «манипулировались» относительно других кандидатов. В результате для кандидатов, по которым выводилась положительная информация на первой странице, число голосов увеличивалось на 20%.

Таким образом, если применение теории подталкивания в секторе реальной экономики идет на пользу благосостоянию, то применение схожей концепции в информационной среде дает скорее обратный эффект.

Рассмотрим далее шаблоны или «решения по умолчанию», предлагаемые в поисковых системах как ключевых игроках информационной среды.

### 3. Теория подталкивания в поисковых системах: пример Google Search

Страница выдачи результатов поисковой системы (Search Engine Results Page, SERP) меняется большими темпами. За последние 10-15 лет компанией Google было введено множество дополнительных элементов, позволяющих пользователю повысить удобство осуществления поиска.

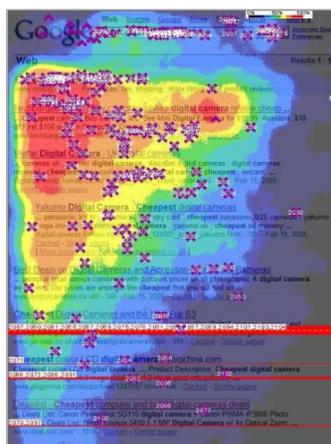


Рисунок 1. «Золотой треугольник» внимания пользователя при просмотре результатов выдачи поисковой системы, 2005 год\*

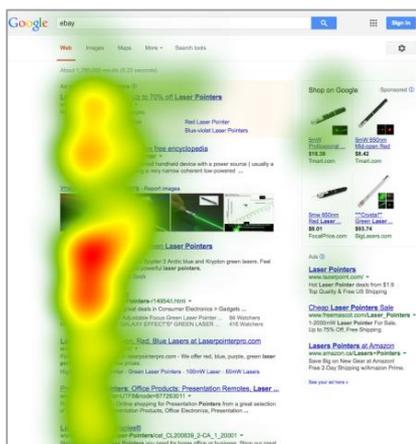


Рисунок 2. Распределение внимания пользователя при просмотре результатов выдачи поисковой системы, 2015 год\*

\* Зоны наиболее длительного привлечения внимания отмечены красным цветом, затем следуют желтый, зеленый

течение 1,17 секунд, тогда как в 2005 этот показатель был немногим меньше 2 секунд.

Исследование движения глаз (eye-tracking study)<sup>5</sup>, проведенное компанией Mediative, сравнивает поведение пользователей поисковой системы Google в 2005 году (органические результаты выдачи, т.е. простой список ранжированных страниц) и в 2014 году (результаты поиска содержат различные структурные элементы). Если в 2005 году отмечалась зона «Золотого треугольника» - область повышенного зрительного внимания в верхнем левом углу страницы (Рисунок 1), то к 2015 году мобильные устройства вызвали привычку просматривать результаты скорее вертикально, чем горизонтально (Рисунок 2).

«Пользователи ищут самый быстрый путь к необходимому контенту», – отмечает агентство Mediative. Согласно исследованию, в 2015 году пользователи просматривают каждый результат выдачи в

<sup>5</sup> Mediative, “THE EVOLUTION OF GOOGLE SEARCH RESULTS PAGES & THEIR EFFECTS ON USER BEHAVIOUR”

Наибольшее влияние на поведение пользователей поисковой системы оказывают различные структурные элементы SERP (SERP Features), преследующие двоякую цель: с одной стороны, это получение максимально быстрого ответа на запрос пользователя, с другой – удержание пользователя на своей странице. Очевидно, SERP Features значительно смещают внимание на себя. К основным структурным элементам относятся:

- Расширенные фрагменты, которые добавляют визуальный слой к существующему результату (например, звездочки для оценок продукта)
- Платные результаты, приобретаемые путем назначения ставок по ключевым словам (например, Google AdWords)
- Универсальные результаты, которые появляются в дополнение к обычным результатам (например, Изображения, Видео)
- Результаты, полученные из Сети знаний, отображаемые в виде панелей или блоков (например, погода, Панель знаний знаменитостей)

Рассмотрим последний пункт подробнее. Сеть знаний (Knowledge Graph) как таковая представляет собой базу данных, содержащую информацию о связях, отношениях, характеристиках и свойствах объектов. Разработка Сети знаний ведется не только Google, но и другими крупнейшими компаниями (например, Facebook, LinkedIn, Thomson Reuters (finance)), а в одном из последних отчетов Gartner технология Knowledge graphs была отмечена как инновационный триггер<sup>6</sup>.

Структурный элемент Панель знаний (Knowledge panel) – это фактическая информация, предоставленная Google и полученная из Сети знаний, Википедии или одновременно из двух источников (см. Рисунок 3). За исключением представления информации напрямую с Википедии, непосредственный источник информации не указывается. Согласно информации со справочного центра Google, «Панель знаний предназначена для того, чтобы помочь вам получить быстрый «снимок» информации по теме на основе понимания Google доступного контента в Интернете».

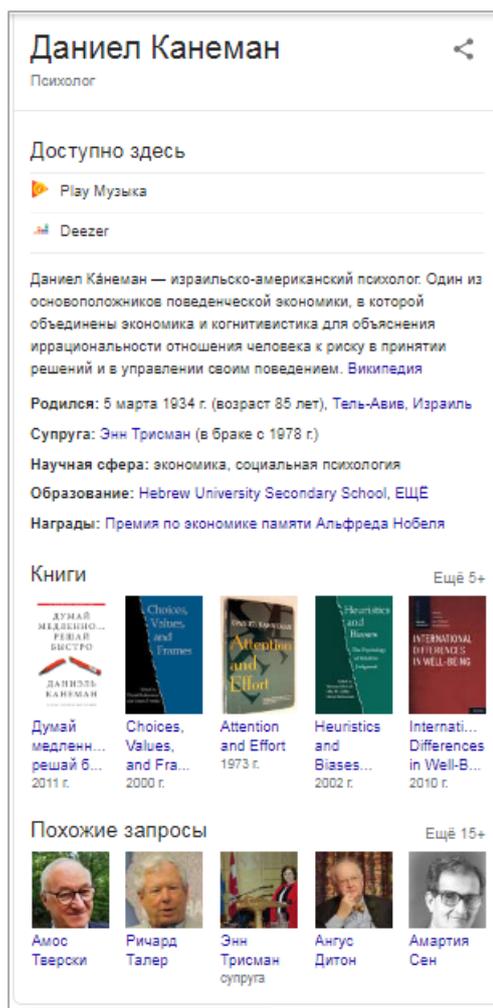


Рисунок 3. Пример Панели знаний в Google

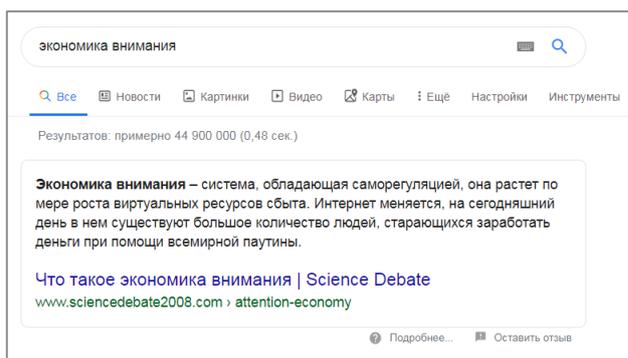


Рисунок 4. Пример Избранного фрагмента в Google

Схожим элементом является Избранные фрагменты (Featured Snippets) – это информация, которую Google получает от сторонних веб-сайтов, которая затем предоставляется над обычными результатами поиска (указывается ссылка на страницу, где Google получил информацию; см. Рисунок 4).

Подобные элементы объединяются в общее название Rich Answers и побуждают пользователя использовать эту информацию для решения своих запросов без необходимости перехода на другие сайты и сбора информации самостоятельно. Число поисковых запросов, для которых выводятся Rich Answers,

<sup>6</sup> Gartner, Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/>

ежегодно растет (например, согласно исследованию Perficent Digital<sup>7</sup>).

Отметим, что выдача результатов из Сети знаний в SERP была добавлена Google в США в 2012 году, в России в 2013 году. Аналогичный элемент в Яндекс – «Объективный ответ» введен в 2015 году.

Интересно, что в 2014 году Google тестировала возможность выдачи рекламных объявлений в Rich Answers, а в 2018 - возможность выдавать на некоторые поисковые запросы только Rich Answers без предоставления органических результатов выдачи (под блоком представлена ссылка Показать больше результатов). Насколько нам известно, на текущий момент данные обновления не реализованы. Интересно также, что на проводимой в 2019 году Google Webmaster Conference были обозначены планы дальнейшего увеличения Rich Answers, а также внедрение поддержки эмодзи в поиске. На данный момент Google уже обладает возможностью сканировать, индексировать и ранжировать эмодзи<sup>8</sup>. И если раньше эмодзи использовались маркетологами для создания доверительных отношений между продавцом и покупателем, то теперь данный тренд приходит и в поисковую систему. Влиянию эмоций на принятие решений посвящена масса исследований, и неоспоримым является факт об их доминирующей роли при восприятии информации, способность сместить предпочтения индивида в ту или иную сторону.

Видно, что теория подталкивания всецело функционирует и в поисковых системах. Google, отображая прямые ответы на запросы пользователя, удерживает его как можно дольше на своей странице, параллельно показывая персонализированные рекламные объявления: чем дольше пользователь находится на странице Google, тем выше вероятность, что он перейдет по рекламной ссылке. Таким образом, возможная цель повышения прибыли от показа рекламных объявлений приводит к тому, что поисковая система как бы предлагает нам решение по умолчанию, и именно здесь прослеживается связь с теорией подталкивания, которая используется отнюдь не во благо в информационном поиске. Человек склонен выбирать информацию по умолчанию (если она не противоречит его предпочтениям), и данная стратегия приводит к деградации способности осуществлять итерационный поиск, анализировать результаты. Выдаваемый срез информации представляется «на основе понимания Google доступного контента в Интернете», а не является пониманием информации пользователем.

### Заключение

Таким образом, теория и практика подталкивания Тайлера, оказывающая при правильном использовании положительное влияние на благосостояние общества, применительно к работе с информацией имеет сугубо отрицательный облик. Если ранее когнитивные искажения при восприятии информации использовались для мягкого «подталкивания» к принятию тех или иных решений, то в настоящее время в условиях перенасыщения информации «подталкивание» перешло в «толкание» и имеет глобальные последствия. Планка – точка отсечения, когда человек принимает решение о прекращении поиска информации, снизилась до небывалых ранее значений. Глобальная смена принципов работы с информацией, направленная на предоставление готовых ответов и решений, очевидно, может привести к деградации способности анализировать и мыслить системно. Чтобы предотвратить данную угрозу, важна разработка альтернативного подхода к поиску, который, с одной стороны, учитывал бы клиповый характер современного мышления, а с другой стороны - предоставлял бы дорожную карту исследуемого вопроса вместо готового ответа. В противном случае идея Саймона о том, что ключевую роль в процессе поиска информации играет то, в какой момент пользователь принимает решение о прекращении поиска (Simon, 1978), переходит в мысль «the trend goes from programming computers to programming people» (Helbing, 2019).

### Литература:

1. Паниди, К.А. (2017). Нобелевская премия по экономике – 2017: вклад Ричарда Талера. Экономический журнал ВШЭ, 21 (4), 702–720.
2. Черниговская, Т.В. (2019). Человек растерянный - Homo Confusus и новая цифровая реальность. Лекция лектория Прямая речь, 20.03.2019 [https://www.pryamaya.ru/tatyana\\_chernigovskaya\\_chelovek\\_rasteryannyu\\_omo\\_onfusus\\_i\\_novaya\\_tsifrovaya\\_realnost](https://www.pryamaya.ru/tatyana_chernigovskaya_chelovek_rasteryannyu_omo_onfusus_i_novaya_tsifrovaya_realnost)
3. Afif, Z., Islan, W. W., Calvo-Gonzalez, O., Dalton, A.G. (2019). Behavioral Science Around the World: Profiles of 10 Countries (English). eMBeD brief. Washington, D.C.: World Bank Group.
4. Benartzi, S., Lewin, R. (2012). Save More Tomorrow: Practical Behavioral Finance Solutions to Improve 401(k) Plans. Penguin, New York.
5. Benartzi, S., Thaler, R. (2013). Behavioral Economics and the Retirement Saving Crisis. Science, 339(6124), 1152–1153.

---

<sup>7</sup> <https://www.perficentdigital.com/insights/our-research/featured-snippets-guide>

<sup>8</sup> Эмодзи (Emoji) – набор символов или картинок, которыми можно выразить эмоции, действия или состояния при письме.

6. Benartzi, S., Beshears, J., Milkman, K.L., Sunstein, C.R., Thaler, R.H., Shankar, M., Tucker-Ray, W., Congdon W.J., Galing S. (2017). Should Governments Invest More in Nudging? *Psychological Science*, 28(8), 1041–1055.
7. Downs, A. (1957). *An Economic Theory of Democracy*. New York: Harper & Brothers
8. Haldane, A. G. (2012). The Dog and the Frisbee. Federal Reserve Bank of Kansas City's 36<sup>th</sup> economic policy symposium, "The changing policy landscape" JacksonHole, Wyoming, USA.
9. Helbing, D. (2019). *Towards digital enlightenment: Essays on the dark and light sides of the digital revolution*. Springer. Doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90869-4>
10. Johnson, E. J., Goldstein, D. G. (2003). Do defaults save lives? *Science*, 302, 1338–1339.
11. Kallbekken, S., Sælen, H. (2013). Nudging' hotel guests to reduce food waste as a win-win environmental measure. *Economics Letters*, 119(3), 325-327
12. Sætra, H.S. (2019). When nudge comes to shove: Liberty and nudging in the era of big data. *Technology in Society*, forthcoming.
13. Simon, H.A. (1978). Rationality as Process and as Product of Thought. Richard T.Ely Lecture, *American Economic Review*, 68 (2). Перевод д.э.н. К.Б.Козловой и М.А.Бланко (1993). THESIS: теория и история экономических и социальных институтов и систем. Мир человека, 1(3).
14. Thaler, R. H., Sunstein, C. R. (2008). *Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness*. New Haven, CT: Yale University Press.

#### References in Cyrillics

13. Panidi, K.A. (2017). Nobelevskaya premiya po ekonomike – 2017: vklad Richarda Talera. *Ekonomicheskij zhurnal VSHE*, 21 (4), 702–720.
14. Chernigovskaya, T.V. (2019). СHеловек rasteryannyj - Homo Confusus i novaya cifrovaya real'-nost'. Lekciya lektoriya Pryamaya rech', 20.03.2019 [https://www.pryamaya.ru/tatyana\\_chernigovskaya\\_chelovek\\_rasteryannyj\\_omo\\_onfusus\\_i\\_novaya\\_tsifrovaya\\_realnost](https://www.pryamaya.ru/tatyana_chernigovskaya_chelovek_rasteryannyj_omo_onfusus_i_novaya_tsifrovaya_realnost)

*Милкова Мария Александровна (m.a.milkova@gmail.com)*

#### Ключевые слова

Теория подталкивания, поисковая система, информационная среда, сеть знаний, панель знаний

#### **Maria Milkova, NUDGE THEORY AND ITS DISTORTIONS IN THE INFORMATION ENVIRONMENT**

#### Keywords

Nudge theory, search engine, information environment, knowledge graph, knowledge panel

DOI: 10.34706/DE-2019-04-02

JEL classification: D83 Поиск • Обучение • Информация и знания • Взаимодействие • Мнение • Неосведомленность

#### Abstract

The article considers the currently relevant approach to shaping citizen behavior - the Nudge theory, proposed by Nobel laureate Richard Thaler. The theory propose to use a predefined default option as the "right" choice of an individual when making decisions. The positive experience of applying this theory in the sector of the real economy is shown. However, the dissemination of this approach to the information environment leads to the opposite results. Using the Google Search system as an example, it is shown how the principle of working with information has changed over the past 10-15 years. The default answers provided by search engines by default lead to a degradation of the ability to perform an iterative search and analyze the results. In addition, the displayed snapshot of information is presented "based on Google's understanding of the available content on the Internet" and is not an understanding of the information by the user. A suggestion is made about the need to use an alternative approach to searching for information, which allows one to take into account the clip nature of thinking, and, on the other hand, to offer a roadmap for the question being studied instead of providing a ready-made answer.

### 1.3. ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ ПОДХОД К СОСТАВЛЕНИЮ РАСПИСАНИЙ

Зими́на А.С. – ГАУГН, Неволин И.В. – к.э.н., ЦЭМИ РАН

*Предложена формализация задачи составления расписания в терминах задачи о марьяже. Хотя модель описана в терминах школьного расписания, она имеет возможности для более широкого применения. Алгоритм решения задачи в такой постановке давно известен, что открывает возможности для написания компьютерных программ и автоматизации одной из ресурсоёмких операций образовательных организаций.*

#### **Введение**

Одним из приоритетных направлений экономики и общественных отношений является образование. В контексте цифровизации речь идёт о сочетании методов, алгоритмов, программ и устройств, которые в совокупности обеспечивают доступ ко множеству сервисов и, вместе с тем, используются для повышения их качества. Говоря о преимуществах информационных технологий в образовании, следует отметить более точное соединение спроса и предложения, рационального использования человеческих ресурсов – рабочего времени преподавателей. Это также проявляется в системе дистанционного образования, когда алгоритмы позволяют соединять преподавателей учеников в соответствии с квалификацией, уровнем подготовки, требованием ко времени занятий. Задача соединения людей в пары по некоторым характеристикам известна как «Задача о марьяже». Алгоритм её решения применяется в самых разнообразных сферах, но в данной работе предлагается взглянуть на проблему соединения учителей с учениками гораздо шире – в контексте составления наилучшего расписания (образовательной организации, доступа к сервисам дистанционного образования и т.п.). При этом «субъектами» выступают не только люди, но и ресурсы – например, помещения для занятий. Такое обобщение предполагает широкий взгляд на цифровое образование, который не ограничивается дистанционным образованием, но также вовлекает физические ресурсы: оборудованные аудитории с виртуальной или дополненной реальностью, интерактивные пособия и т.п. – доступ к которым не может быть предоставлен одновременно большому числу участников. «Наилучшее» решение предполагает такое соответствие участников и ресурсов, которое удовлетворяет предпочтения «субъектов» в самой высокой степени из возможных.

#### **Проблема составления расписания**

Несмотря на интеграцию информационных систем и перевод многих сведений об учреждении в цифровую форму, на практике некоторые задачи, зачастую, решаются без помощи компьютеров. Например, составление учебного плана и расписания занятий. Так как расписание и учебный план являются индивидуальными для каждой организации, они не формируются в централизованных системах автоматически. Например, в муниципальных информационных системах школьного образования расписание вводится вручную, и учителя прикрепляются к классам в соответствии с распределённой нагрузкой на начало учебного года не без помощи пользователя. Автоматизация этих двух пунктов – расписания и учебного плана – сильно сократила бы как время работы администратора, который вносит в систему данные, так и усилия сотрудника, который составляет расписание, учитывая множество критериев, просьб, возражений. Проиллюстрируем составление расписания на примере общеобразовательной школы.

Как известно, в школах на конец учебного года составляется новая тарификация и учебный план на будущий период. Вероятность их изменения достаточно велика: впереди три летних месяца, за которые могут появиться новые требования к ведению образовательного процесса, возможны непредвиденные ситуации у персонала. Наиболее понятные для обывателей случаи связаны с увольнением, декретным отпуском, неукomплектованностью классов к началу года – всё это вызывает трудности и необходимость оперативных изменений. Самым сложным – помимо новой тарификации и учебного плана – является составление расписания. Так как без этих двух документов – тарификации и учебного плана – расписание составить невозможно, а вероятность появления изменений слишком велика, то распределение уроков зачастую откладывается практически до начала учебного года, чтобы не вносить изменения или, скорее всего, не переделывать все заново.

Составлением расписания занимается один человек. Чаще всего - это работа непосредственно завуча по учебной работе, но бывают случаи, когда нагрузку отдают учителю-предметнику (нередко математику). Итак, получается, что на плечи одного сотрудника возлагается колоссальная, занимающая много времени работа. Имея два необходимых итоговых документа (тарификацию и учебный план), сотрудник, ответственный за составление расписания, приступает к слиянию документации в единый, доступный и понятный для учеников, родителей, учителей формат. Как же выглядит работа по сведению воедино требований отдельных документов? Можно было бы предположить, что сотрудник загружает файлы в специализированную программу для ЭВМ, быстро накладывает друг на друга имеющиеся планы и получает на выходе готовое расписание. Однако таких программ нет в открытом доступе, а на

имеющиеся коммерческие продукты нельзя опираться по одной простой причине: они недостаточно автоматизированы для уникального школьного расписания. Поэтому до настоящего времени работа выполняется, как и прежде, вручную. Раскладывая перед собой множество листов, необходимых документов, итоговую таблицу для заполнения, сотрудник формирует график учебной работы. Такой процесс занимает много времени. Размерность задачи иллюстрируют следующие показатели: 36 классов единиц в распоряжении и штат из 57 сотрудников, между которыми уже распределена нагрузка. При этом существует немаловажный и самый значимый нюанс: удовлетворить пожелания каждого учителя. Это является серьезной задачей и проблемой: каждый требует учесть свои пожелания, что никак не может остаться неучтенным или незамеченным. Большинство преподавателей хотят составить свой график так, чтобы у них был методический день или не было «окон» в расписании (свободного от преподавания времени в течение рабочего дня), а также чтобы избежать двух проблемных классов подряд или в конце рабочего дня. При такой постановке задача составления расписания выходит за рамки регламентирующих документов, и сохранение комфортных условий для коллектива требует учета мнений и пожеланий каждого учителя.

Сфокусируемся на полном согласовании всех параметров в задаче составления расписания. Будем искать решение в виде, который может быть реализован программными средствами, чтобы функция автоматического составления расписания в электронном журнале общеобразовательной организации могла стать дополнением к образовательной информационной системе в целом.

### Подходы и методы

При составлении расписания школьных занятий естественным кажется обратиться к литературе по теории расписаний. Теория расписаний начинается с известной работы Генри Гантта (Gantt, 1903). Сам термин «теория расписаний», как принято считать, предложил Р. Беллман в 1956 году (Bellman, 1956). Наиболее важным вопросом для исследователей является классификация и определение вычислительной сложности имеющихся задач. Наибольшую известность и применимость имеет классификация задач теории расписаний, предложенная Грэхэмом (Graham et al., 1979). Достаточно полные обзоры по задачам теории расписаний и их сложности представлены, например, в (Танаев, Шкуба, 1975), (Burke et al., 2004). Отдельные результаты по теории расписаний изложены в работах (Бартенев, 2011), (Безгинов, Трегубов, 2011), (Попов, 2006), (Семенюта, Коляндра, 2010), (Яндыбаева, 2009), (Лазарев, Гафаров, 2011). Следует отметить прикладной характер предметной области – её результаты используются в ряде коммерческих программных продуктов.

Методы теории расписаний позволяют выстроить последовательность операций, и при достаточной условности можно провести аналогию используемых понятий с терминами решаемой задачи. Так, «учителем» можно считать «прибор», который выполняет операцию, а «класс» – «требованием», которое необходимо выполнить. Действительно, в этом случае расписание можно представить ориентированным графом, где каждый класс последовательно переходит от одного преподавателя к другому в течение дня и учебной недели. Анализ методов теории расписаний показывает, что одним из исходных пунктов является знание о связях между отдельными операциями: необходимо заранее определить последовательность, в соответствии с которой выполняются операции, и далее фокус смещается на то, как удовлетворить множество требований при эффективном использовании ресурсов (в том или ином смысле). Таким образом, теория расписаний может пригодиться для последующего улучшения уже существующего решения, но не подходит для вычисления наборов «время – класс – преподаватель – предмет – кабинет» из разрозненных данных.

В статье (Деканова, 2013) представлена математическая модель составления расписания учебных занятий на основе гиперграфа. Для получения оптимального расписания могут использоваться методы раскраски гипервершин гиперграфа (Маслов, 2002). Задача составления расписания сводится к формированию гиперграфа учебных поручений и гиперграфа расписания: необходимо соотнести учебные поручения с расписанием, в которое входят графы учебной нагрузки, структуры групп и подгрупп.

Перед началом раскраски выполняется некий алгоритм действий:

- мнимые гипервершины окрашиваются в соответствующие цвета множества;
- проводится анализ, с какой из неэффективных гипервершин начать раскраску;
- поиск гипервершины  $V_i$  для совместителей;
- выбирается вершина, у которой соседние вершины имеют большее число раскрасок, красится в один из возможных для неё цвет и просматриваются все смежные с ней вершины для запрета их окраски в цвет  $V_i$ ,
- окрашиваются самые востребованные вершины аудиторий и преподавателей; запрещается их окраска, как у гипервершины  $V_i$ .

Раскраска производится в условиях заданных ограничений, которые приводят к возникновению кратных гиперребер при построении, что, в конечном счете, позволяет раскрасить подграфы в различные цвета. В конечном итоге модель соблюдает равномерное распределение занятий в течение определенного времени, обеспечивает выполнение всех работ в заданный период обучения. Основным недостатком модели является отсутствие возможности учета предпочтений. При возникновении конфликтных гипервершин алгоритмом предусматривается выбор случайным образом. Применение этого метода для решения реальных задач малоэффективно.

В основе эвристических методов лежит применение различного рода эвристик, или эвристических алгоритмов, при разработке которых используются интуитивные предположения, не подкрепленные соответствующим математическим обоснованием. Эвристические алгоритмы часто являются эффективными при применении их в задачах, когда поиск наилучшего решения затруднен или невозможен. Формирование расписания с учетом определенных правил (эвристика) помогает несколько приблизить поиск «наилучшего» расписания, но применение подобных алгоритмов в большинстве случаев позволяет лишь приблизиться к окончательному решению, т.е. найти локальный экстремум, что поднимает вопрос о его близости глобальному экстремуму. Этот вопрос разрешается следующим образом: сопоставляются два решения (расписания), найденные эвристическим методом, и решение (расписание), рассчитанное методом перебора для малой размерности (Низамова, 2006).

Составление расписания может рассматриваться как задача целочисленного программирования. Для решения задач целочисленного программирования большой размерности используются генетические алгоритмы. Генетический алгоритм представляет собой итерационный процесс, цикл которого продолжается до тех пор, пока не выполнится критерий остановки (например, заданное число поколений). В каждом поколении осуществляется формирование начальной популяции, селекция, кроссинговер и мутация.

На этапе селекции выполняется отбор наиболее приспособленных «особей», т.е. вариантов расписания, которые будут иметь более предпочтительные значения функции пригодности к популяции – соответствия требованиям расписания.

Кроссинговер подразумевает этап скрещивания при помощи конструкции наложения хромосом родителей с новым поколением. Этап мутации вносит разнообразие в новую популяцию, тем самым расширяя область поиска наиболее оптимального решения.

Если сравнивать генетический алгоритм с классическими методами, следует указать на ряд основных отличий и преимуществ:

- генетический алгоритм (ГА) работает в программах с набором параметров, напрямую зависящих от аргументов целевой функции;

- в итерациях ГА использует несколько точек поискового пространства (процесс распараллеливается), а не переходит от точки к точке, как это происходит в традиционных методах, т.е. ГА оперирует со всей совокупностью допустимых решений;

- ГА в процессе работы не использует дополнительной информации, что повышает скорость его работы;

- ГА использует как вероятностные правила для порождения новых точек поиска, так и детерминированные правила для перехода от одних точек к другим.

Однако такие алгоритмы имеют и недостатки. В популяции может наблюдаться недостаточное разнообразие хромосом, что зачастую приводит к преждевременному завершению итераций алгоритма и, как следствие, к некорректному итоговому расписанию. Возможен слабый учет уникальности обрабатываемого расписания, его специфики, в результате чего связи между объектами могут выпасть из рассмотрения. Может нарушаться систематизация первоначальных данных. Хромосомы алгоритма являются сложными объектами, которые следует рассматривать как многоуровневые системы с последующим структурированием.

Общим недостатком алгоритмов является то, что они итерационно преобразовывают некоторое начальное приближение в окрестности допустимых решений (Астахова, Фирас, 2013).

Следует сделать вывод о том, что описание и решение поставленной задачи составления расписания занятий в образовательных учреждениях при помощи аппарата классической теории расписаний имеет ряд сложностей. В этой связи требуются некоторые модификации традиционной постановки задачи составления расписания, чтобы учесть всю специфику образовательной организации для нормального процесса обучения. При наличии конечного потока требований, поступающих на обработку в определенный момент времени, при обслуживании одним прибором одного требования, ученик не может обслуживаться любым учителем. Возможны несоответствия между квалификацией педагогов и подготовкой выбранных классов для обучения. Также классическая постановка задачи оставляет за рамками рассмотрения учёт мнений и пожеланий для снижения конфликтов в коллективе.

### **Формализация задачи**

Формализуем задачу составления расписания школьных занятий. Пусть существуют множества классов  $N$ , учителей  $M$ , предметов  $P$ , кабинетов  $K$ . Списки классов, учителей и предметов относятся ко всей школе, но одни и те же предметы имеют свою специфику для каждого года обучения. Поскольку, например, предмет «Русский язык» имеет свою программу для 5-го и для 10-го классов, формально будем считать их отдельными предметами. Таким образом, классы, учителя, предметы, кабинеты являются такими множествами, каждый элемент которых пронумерован и является уникальным. Для полноты данных предположим соответствие между учителями и предметами – задана квалификация преподавателей в той или иной предметной области. Вообще говоря, один и тот же учитель может вести уроки не только по разным дисциплинам, но и по одной дисциплине для учеников разных лет обучения. Пусть матрица  $[p_{mp}]$  устанавливает соответствие между учителями и предметами:  $p_{mp} = 1$ , если учитель  $m$  владеет предметом  $p$ , и  $p_{mp} = 0$  в противном случае. Для решения задачи определим время

через упорядоченные временные промежутки:  $t_{ij}$  – элемент, который соответствует занятию номер  $j$  с начала  $i$ -го учебного дня. Учебную нагрузку – количество занятий в день и в неделю – считаем известной. Пусть класс  $n$  имеет не более  $T^n$  занятий в день и не более  $D^n$  занятий в неделю. Преподаватель  $m$  проводит не более  $V^m$  занятий в день и не более  $W^m$  занятий в неделю. Требуется составить наборы  $\{m, n, p, k, t_{ij} | m \in M, n \in N, p \in P, k \in K\}$ , уникальные по временным промежуткам  $t_{ij}$  и удовлетворяющие ряду требований. Сформулируем их следующим образом:

- 1) каждый класс осваивает учебный план в полном объеме: каждый предмет, предназначенный классу, имеет достаточное количество временных промежутков в расписании;
- 2) учебная нагрузка на класс не превышает установленное количество часов в день/ в неделю;
- 3) учебная нагрузка на учителя не превышает установленное количество часов в день/ в неделю;
- 4) в один промежуток времени в каждом из кабинетов не может проходить более одного занятия;
- 5) в один промежуток времени на каждый класс приходится не более одного занятия;

в один промежуток времени на каждого учителя приходится не более одного занятия.

Эти требования можно записать в виде формальных ограничений, если ввести дополнительные обозначения:

$U_{ij}^m$  – индикаторная матрица загрузки учителя  $m$  в академический час  $j$  учебного дня  $i$ .  $U_{ij}^m = 1$ , если учитель  $m$  ведёт занятие в день  $i$  во время академического часа  $j$ , и ноль - в противном случае;

$Q_{ij}^n$  – индикаторная матрица загрузки класса  $n$  в академический час  $j$  учебного дня  $i$ .  $Q_{ij}^n = 1$ , если класс  $n$  посещает занятие в день  $i$  во время академического часа  $j$ , и ноль - в противном случае;

$A_{ij}^k$  – индикаторная матрица загрузки кабинета  $k$  в академический час  $j$  учебного дня  $i$ .  $A_{ij}^k = 1$ , если кабинет  $k$  занят в день  $i$  во время академического часа  $j$ , и ноль - в противном случае;

$R_{ij}^p$  – индикаторная матрица преподавания предмета в академический час  $j$  учебного дня  $i$ .  $R_{ij}^p = 1$ , если предмет  $p$  преподаётся в день  $i$  во время академического часа  $j$ , и ноль - в противном случае.

В принятых обозначениях сформулированные выше требования можно записать в виде неравенств:

- 1)  $Z_{pn} \leq \sum_{i,j,s,m} A_{ij}^s Q_{ij}^n R_{ij}^p U_{ij}^m \pi_{pm} \leq \bar{Z}_{pn}, \forall n \in N, \forall p \in P$ , где  $\bar{Z}_{pn}$  и  $Z_{pn}$  – соответственно, максимальное и минимальное количества академических часов в неделю на класс  $n$  для изучения предмета  $p$ ;
- 2)  $\sum_{s,j,p,m} A_{ij}^s Q_{ij}^n R_{ij}^p U_{ij}^m \pi_{pm} \leq T^n, \forall n \in N, \forall i$  – для учебной нагрузки класса в день и  $\sum_{s,i,j,p,m} A_{ij}^s Q_{ij}^n R_{ij}^p U_{ij}^m \pi_{pm} \leq D^n, \forall n \in N$  – для учебной нагрузки в неделю;
- 3)  $\sum_{s,j,p,n} A_{ij}^s Q_{ij}^n R_{ij}^p U_{ij}^m \pi_{pm} \leq V^m, \forall m \in M, \forall i$  – для учебной нагрузки учителя в день и  $\sum_{s,i,j,p,n} A_{ij}^s Q_{ij}^n R_{ij}^p U_{ij}^m \pi_{pm} \leq W^m, \forall m \in M$  – для учебной нагрузки в неделю;
- 4)  $\sum_{m,p,n} A_{ij}^s Q_{ij}^n R_{ij}^p U_{ij}^m \pi_{pm} \leq 1, \forall s \in K, \forall i, j$ ;
- 5)  $\sum_{s,p,m} A_{ij}^s Q_{ij}^n R_{ij}^p U_{ij}^m \pi_{pm} \leq 1, \forall n \in N, \forall i, j$ ;
- 6)  $\sum_{s,p,n} A_{ij}^s Q_{ij}^n R_{ij}^p U_{ij}^m \pi_{pm} \leq 1, \forall m \in M, \forall i, j$ .

Неизвестными в такой записи оказываются матрицы  $[A_{ij}^s], [Q_{ij}^n], [U_{ij}^m], [R_{ij}^p], m \in M, n \in N, p \in P, s \in K$ . Ограничения, как видно, являются нелинейными по неизвестным переменным, и после формализации задачи можно приступить к анализу методов её решения. С формальной точки зрения ограничения можно дополнить некоторым критерием оптимальности расписания и распространить анализ на методы оптимизации. Таким критерием может быть равномерная загрузка классов в течение дня, сокращение «окон» (незанятых академических часов) и т.д.

#### Алгоритм решения задачи

Предварительно обратимся к методам морфологического синтеза. Морфологический синтез позволяет конструировать системы для удовлетворения ряда функций в соответствии с заданными критериями. Исходными данными метода служит морфологическая таблица, в которой перечислены функции системы и различные способы удовлетворения этих функций. В случае школьного расписания функциями могут являться преподаватели, а вариантами реализации – академические часы занятий с тем или иным классом. Если преподаватель владеет несколькими дисциплинами, в качестве вариантов перечисляются все классы, в учебных планах которых встречается тот или иной предмет, в компании каждого предпочитаемого промежутка времени и кабинета –  $\{n, p, k, t_{ij} | n \in N, p \in P, k \in K\}$ . Предпочтения, конечно, имеются в виду со стороны учителя. Далее, решение строится на анализе всех возможных сочетаний и их оценке по заданным критериям. Метод достаточно работоспособный и позволяет получить все допустимые расписания за разумное время при условии направленного перебора. В противном случае сложность задачи возрастает в соответствии со степенным законом. Проблема направленного перебора, однако, наталкивается на следующее обстоятельство: способы реализации отдельных функций не являются независимыми: занятый академический час для урока одного класса требует исключения из анализа соответствующих вариантов у других преподавателей. Процедура поиска сочетаний становится достаточно сложной, и требуются значительные усилия, чтобы в ней не запутаться. Однако существует более простой и проверенный метод из теории игр.

Модель американских ученых Дэвида Гейла и Л. Шепли рассматривает два типа участников: мужчин и женщин. Каждый участник модели поочередно ранжирует: мужчины женщин, женщины мужчин. Модель предполагает размещение агентов как набор пар, состоящих из одного мужчины и одной женщины и индивидуальных агентов (холостяков). Вопрос, решаемый данным алгоритмом, формулируется как: существует ли такое стабильное размещение, стабильный набор связей в данной системе агентов. (Железова и др., 2013). В 2012 году решение этой задачи удостоено Нобелевской премии по экономике, и авторы алгоритмы награждены «За теорию стабильного распределения и практики устройства рынка». В основе результатов, отмеченных Нобелевской премией, лежит задача о марьяже. Существует  $N$  невест и  $M$  женихов. Каждый участник имеет предпочтения относительно представителей противоположного пола – от наиболее привлекательного до наименее привлекательного. Требуется составить пары так, чтобы никто из её участников не стремился к «измене» – к отношениям с женщиной (в случае жениха) или с мужчиной (в случае невесты) из другой пары. При определённых предположениях удаётся построить стабильные пары, при этом, однако, возможны ситуации, когда некоторые из женихов и невест предпочитают остаться в одиночестве, чем создать пару с непривлекательным человеком. Алгоритм настолько разработан, что неоднократно применялся для решения практических задач. В случае школьного расписания очевидно несоответствие: задача о марьяже составляет наборы элементов из двух множеств, в то время как рассматриваемая задача требует наборов из пяти элементов.

Переход от многоэлементных наборов к парным сочетаниям можно совершить, прибегнув к небольшим изменениям. Пусть множество «невест» образуют учебные часы классов -  $\{Q_{ij}^n\}$ . Множество «женихов» будет устроено более сложным образом. Пусть  $u_{ij}^{mp}$  – единицы времени учителя  $m$  для преподавания предмета  $p$ . Предпочтения «невест» выглядят как перечисление всех возможных «женихов» (учителя по предметам из учебного плана во все возможные единицы времени). Предпочтения «женихов» устроены как перечисления всех классов, в которых учитель принципиально готов проводить занятия, в удобные единицы времени. Если считать, что все кабинеты имеют одинаковую вместимость и в этом смысле взаимозаменяемы, то общее количество кабинетов влияет лишь на допустимое количество пар «учитель-класс» в один промежуток времени. Учёт дифференциации кабинетов по предметам возможен, но является некоторым усложнением алгоритма. Если предусмотреть дифференциацию кабинетов по предметам, то в одну единицу времени ограничено количество пар с одинаковым предметом. Опустим это усложнение при дальнейшем изложении.

Классический алгоритм Гейла-Шепли для решения задачи о марьяже потребует дополнительных условий относительно того, каких «невест» (время в расписании) и «женихов» (рабочее время преподавателя) считать «помолвленными» (распределенные часы). Эти условия соответствуют представленным ранее требованиям:

- 1) если существует пара  $\{Q_{ij}^n, u_{ij}^{mp}\}$ , то рабочее время преподавателя  $u_{ij}^{ml}$ ,  $p \neq l$ , считается свободным временем и предложения в следующем раунде не существует;
- 2) если число пар  $\{Q_{ij}^n, u_{ij}^{mp}\}$ ,  $\forall i, j$ , соответствует числу кабинетов, все нераспределенные часы преподавателя, соответствующие единице времени  $t_{ij}$ , считаются свободными часами и предложения в следующем раунде не существует;
- 3) если число пар  $\{Q_{ij}^n, u_{ij}^{mp}\}$  при суммировании по  $j$  соответствует  $T^n$ , все нераспределенные часы рабочего времени преподавателя, соответствующие классу  $n$  и единице времени  $j$ , считаются свободным временем преподавателя и предложения в следующем раунде не существует;
- 4) если число пар  $\{Q_{ij}^n, u_{ij}^{mp}\}$  при суммировании по  $i$  и по  $j$  соответствует  $D^n$ , все нераспределенные часы рабочего времени преподавателя, соответствующие классу  $n$ , считаются свободным временем преподавателя и предложения в следующем раунде не существует;
- 5) если число пар  $\{Q_{ij}^n, u_{ij}^{mp}\}$  при суммировании по  $j$  соответствует  $V^n$ , все нераспределенные часы рабочего времени преподавателя, соответствующие учителю  $m$  и единице времени  $j$ , считаются свободным временем преподавателя и предложения в следующем раунде не существует;
- 6) если число пар  $\{Q_{ij}^n, u_{ij}^{mp}\}$  при суммировании по  $i$  и по  $j$  соответствует  $W^n$ , все нераспределенные часы рабочего времени преподавателя, соответствующие учителю  $m$ , считаются свободным временем преподавателя и предложения в следующем раунде не существует;

При этом, однако, стоит напомнить, что алгоритм Гейла-Шепли допускает наличие «холостяков» и «незамужних». В случае расписания множества «женихов» и «невест» охватывают все возможные единицы времени, в которые могли бы проводиться занятия. Несомненно, в результате работы алгоритма появятся такие, которые окажутся незанятыми, и их можно интерпретировать как «выходные» часы для классов или методические часы для учителей.

Такой теоретико-игровой подход позволяет в явном виде учесть приоритеты к проведению занятий. Поскольку предпочтения являются упорядоченными, каждый преподаватель (или классный руководитель как представитель учеников) могут указать желаемую последовательность занятий или свободные часы. В случае срочного изменения расписания в результате непредвиденных обстоятельств, задача

решается не на всём множестве, а лишь на тех подмножествах, которые допускают сдвиги, что существенно сокращает вычислительную процедуру.

Наличие образовательных информационных систем создаёт перспективу автоматического изменения плана при возникновении непредвиденных обстоятельств. Личный кабинет преподавателя может включать две важные функции: «предпочтения по умолчанию» и «заявить о замене». Первая устанавливает стандартные настройки предпочтений для планирования в течение учебного года. Вторая позволяет изменить предпочтения. Во втором случае планировщик пересчитывает расписание с учётом изменившихся предпочтений. Уведомления также рассылаются информационной системой.

### **Заключение**

Несмотря на оцифровку персональных данных образовательной организации (персонал, обучающиеся) и информационный обмен между компьютерными системами, какие-то задачи приходится решать, не привлекая сложную вычислительную технику. Например, составление учебного плана и расписания занятий – ручная работа во множестве школ. Со стороны непосредственного администрирования школьным образованием самой сложной и требующей больших затрат задачей является составление расписания. Причём немалую долю затратной части составляют процедуры пересмотра расписания из-за непредвиденных обстоятельств. Так как расписание и учебный план являются индивидуальными для каждой организации, особенности не отображаются единой образовательной информационной системой автоматически. Приходится вручную вводить расписание, прикреплять учителей к классам в соответствии с распределённой нагрузкой на начало учебного года. Автоматизация этих двух пунктов сильно бы сократила время работы как администратора, который вносит в систему данные, так и время сотрудника, который составляет расписание, учитывая множество критериев, просьб, возражений.

В России существует несколько программных продуктов для общеобразовательных организаций. Каждый из них отличается от другого интерфейсом и некоторыми возможностями, но структура и основные функции остаются неизменными. Хотя лежащие в их основе алгоритмы не являются публичными в силу закрытости исходного кода и коммерческого характера программ, обзор литературы по данной теме позволяет выявить доминирующие представления о методах решения задачи. Рассмотренные алгоритмы автоматизированного составления расписания учебных занятий основаны на классических методах: методах целочисленного программирования, нелинейного программирования, имитационного моделирования ветвей и границ, раскраски графа или эвристических алгоритмах решения поставленной задачи. Их отличительной чертой является механистический взгляд на процесс обучения, где преподаватель описывается в терминах обслуживающего прибора. Анализ известных подходов показал их строгую ограниченность. Наиболее перспективным подходом оказался теоретико-игровой. Он демонстрирует наилучшее соответствие действительности, поскольку позволяет решить главную проблему: согласовать интересы разнообразных участников – учителей, классов, администрации.

### **Литература**

1. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике / М.: Финансы и статистика. – 2000. – 368 с. Bellman R. Mathematical aspects of scheduling theory // Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics. – 1956. – Vol. 4. – P. 168–205.
2. Бартенев А. С. Обзор основных вопросов автоматизированного составления расписания занятий в высшем учебном заведении / Современные научные исследования и инновации. – Сентябрь 2011. – № 5 [Электронный ресурс]. URL : <http://web.snauka.ru/issues/2011/09/2576>.
3. Безгинов А. Н., Комплекс алгоритмов построения расписания вуза. Ч.1: Система оценки качества расписания на основе нечетких множеств, алгоритм поиска оптимального расписания / А. Н. Безгинов, С. Ю. Трегубов // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2011. – Вып. 5. – С. 127–135.
4. Деканова М.В. Математическая модель и алгоритм построения расписания учебных занятий университета Вестник полочкого государственного университета. Серия С. – 2013 – с.24-33
5. Железова Е.Б., Измалков С.Б., Сонин К.И., Хованская И.А. Теория и практика двусторонних рынков // Вопросы экономики. – 2013. – №. 1. – С. 4-26
6. И. Ф. Астахова, А. М. Фирас Составление расписания учебных занятий на основе генетического алгоритма вестник вгу, серия: системный анализ и информационные технологии – 2013 – № 2 – С. 93-99
7. Лагоша Б. А. Комплекс моделей и методов оптимизации расписания занятий в вузе / Б. А. Лагоша, А. В. Петропавловская. – М.: Экономика и математические методы. – 1993 г. – 410 с.
8. Лазарев А. А., Гафаров Е. Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы / А. А. Лазарев, Е. Р. Гафаров – М. : Физический факультет МГУ, 2011.
9. Маслов, М.Г. Эвристический алгоритм решения задачи составления расписания учебных занятий в вузе / М.Г. Маслов // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. XV междунар. науч. конф., Тамбов, 2 – 4 июня 2002 г.: в 10-ти т. – Тамбов, 2002. – Т. 9. – С. 86 – 88.
10. Нимазова Г.Ф. Математическое и программное обеспечение составления расписания учебных занятий на основе агрегативных генетических алгоритмов / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Уфа. – 2006.

11. Попов Г. А. Формализация задачи составления расписания в высшем учебном заведении / Г. А. Попов –Вестник АЕТУ. – 2006. – № 1.
12. Семенюта И. С., Анализ существующих систем составления расписаний занятий вуза / И. С. Семенюта, А. Г. Коляндра, Д. С. Ананко // Издательство КубГТУ, Сборник трудов факультета КТАС, 2010 – С. 55 – 60.
13. Танаев, В. С., Шкуба В. В. Введение в теорию расписаний [Текст] / В. С. Танаев, В. В. Шкуба – М.: Наука, 1975. – 256 с.
14. Яндыбаева, Н. В. Генетический алгоритм в задаче оптимизации учебного расписания вуза / Н. В. Яндыбаева. // Современные наукоемкие технологии. – 2009. – No 11. – С. 97–98.
15. Burke E., Kingston J., de Werra D. (2004). Applications to timetabling. In : J. Gross and J. Yellen (eds.) The Handbook of Graph Theory, Chapman Hall/CRC Press – 2004 – P. 445-474.
16. Graham R.L., Lawler E.L., Lenstra J.K., Rinnooy Kan A.H.G Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling: a survey // Ann. Descrete Optimization. – 1979. – V. 2. – P. 287–325.
17. Henry L. Gantt (1903) "A graphical daily balance in manufacture," in: Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, 24:1322-1336

### References in Cyrillics

1. Andrejchikov A.V., Andrejchikova O.N. Analiz, sintez, planirovanie reshenij v jekonomike / M.: Finansy i statistika. – 2000. – 368 s.
2. Bartenev A. S. Obzor osnovnyh voprosov avtomatizirovannogo sostavlenija raspisanija zanjatij v vysshem uchebnom zavedenii / Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii. – Sentjabr' 2011. – № 5 [Elektronnyj resurs]. URL : <http://web.snauka.ru/issues/2011/09/2576>.
3. Bezginov A. N., Kompleks algoritmov postroenija raspisanija vuza. Ch.1: Sistema ocenki kachestva raspisanija na osnove nechetkih mnozhestv, algoritm poiska optimal'nogo raspisanija / A. N. Bezginov, S. Ju. Tregubov // Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta, 2011. – Vyp. 5. – S. 127–135.
4. Dekanova M.V. Matematicheskaja model' i algoritm postroenija raspisanija uchebnyh zanjatij universiteta Vestnik polockogo gosudarstvennogo universiteta. Serija S. – 2013 – s.24-33
5. Zhelezova E.B., Izmailov S.B., Sonin K.I., Hovanskaja I.A. Teorija i praktika dvustoronnih rynkov // Voprosy jekonomiki. – 2013. – №. 1. – S. 4-26
6. F. Astahova, A. M. Firas Costavlenie raspisanija uchebnyh zanjatij na osnove geneticheskogo algoritma vestnik vgu, serija: sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii – 2013 – № 2 – S. 93-99
7. Lagosha B. A. Kompleks modelej i metodov optimizacii raspisanija zanjatij v vuze / B. A. Lagosha, A. V. Petropavlovskaja. – M. : Jekonomika i matematicheskie metody. – 1993 g. – 410 s.
8. Lazarev A. A., Gafarov E. R. Teorija raspisanij. Zadachi i algoritmy / A. A. Lazarev, E. R. Gafarov – M.: Fizicheskij fakul'tet MGU, 2011.
9. Maslov, M.G. Jevristicheskij algoritm reshenija zadachi sostavlenija raspisanija uchebnyh zanjatij v vuze / M.G. Maslov // Matematicheskie metody v tehnike i tehnologijah: sb. tr. XV mezhdunar. nauch. konf., Tambov, 2 – 4 ijunja 2002 g.: v 10-ti t. – Tambov, 2002. – T. 9. – S. 86 – 88.
10. Nimazova G.F. Matematicheskoe i programmnoe obespechenie sostavlenija raspisanija uchebnyh zanjatij na osnove agregativnyh geneticheskij algoritmov / dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskijh nauk. Ufa. – 2006.
11. Попов Г. А. Формализация задачи составления расписания в высшем учебном заведении / Г. А. Попов –Вестник АЕТУ. – 2006. – № 1.
12. Семенюта И. С., Анализ существующих систем составления расписаний занятий вуза / И. С. Семенюта, А. Г. Коляндра, Д. С. Ананко // Издательство КубГТУ, Сборник трудов факультета КТАС, 2010 – С. 55 – 60.
13. Танаев, В. С., Шкуба В. В. Введение в теорию расписаний [Текст] / В. С. Танаев, В. В. Шкуба – М.: Наука, 1975. – 256 с.
14. Яндыбаева, Н. В. Генетический алгоритм в задаче оптимизации учебного расписания вуза / Н. В. Яндыбаева. // Современные наукоемкие технологии. – 2009. – No 11. – С. 97–98.

*Зими́на Анастасия Сергеевна*

*Неволин Иван Викторович (i.nevolin@cemi.rssi.ru)*

### Ключевые слова

теория расписаний, планирование, школьное образование.

**Zimina A.S., Nevolin I.V., Game theory approach to the scheduling**

**Keywords**

scheduling theory, planning, education in school

DOI: 10.34706/DE-2019-04-03

JEL Classification: I20 – Education and Research Institution, General; C78 – Bargaining Theory, Matching Theory

**Abstract**

We treat the task of scheduling as the stable marriage problem. In the context of school education we build a model that has the potential for wider application. The algorithm to solve the problem has long been known, what opens up opportunities for software development and automation of one of the resource-intensive operations at educational organizations.

## 1.4. ФОРСАЙТ: ВОСТРЕБОВАННОСТЬ В ЦИФРОВОЙ ЭРЕ

Луценко С. И.

Эксперт НИИ Корпоративного и проектного управления (г. Москва).  
Аналитик Института экономических стратегий Отделения общественных наук  
Российской академии наук,

*Автор рассматривает механизм практического применения форсайта в цифровой экономике. Использование форсайта позволит учитывать вариации сценариев развития экономики в цифровую эпоху, определить конкурентные преимущества отдельных отраслей и научно-технологических направлений, с привлечением представителей науки и бизнеса.*

Форсайт (foresight, «взгляд в будущее») – это методология организации процесса, направленного на создание у его участников общего видения будущего. Составленное в результате форсайта видение будущего стремятся поддержать все заинтересованные стороны своими сегодняшними действиями. Форсайт является инструментом управления технологическим развитием, опирающимся на создаваемую в его рамках инфраструктуру [6].

При этом основу форсайта составляют коммуникации всех лиц, чье видение влияет на будущее (представителей министерств и ведомств, бизнеса, науки и общественности). Форсайт применяется с периодичностью раз в несколько лет и ориентирован на долгосрочную и очень долгосрочную перспективу (10 - 30 - 50 лет).

Метод Форсайта ориентирован на получение экспертной (общественной или профессиональных групп) оценки возможных сценариев состояния объекта исследования в будущем, и рекомендаций по программным шагам для достижения целевого состояния объекта («дорожных карт»).

Метод Форсайта – синтетический экспертный метод, объединяющий прогнозирование с программно-целевым подходом. В государственном долгосрочном прогнозировании целесообразно применение форсайт-технологий при разработке прогнозов технологического и инновационного развития отраслей [5].

Другими словами, форсайт представляет собой комплексный прогноз социальноэкономического развития государства, региона, города, включающий демократические формы и рыночные механизмы влияния с целью достижения прогнозных индикативных показателей. Форсайт позволяет разработать научное представление о будущем с учетом желаний социума и показывает пути его достижения за счет поддержки инноваций и технологий, подготовки востребованных экономикой страны (региона) кадров, приоритетных направлений использования ресурсов (физического и человеческого капитала).

В свою очередь, в качестве субъектов проведения форсайта обычно выступают: а) предприятия сектора, цель которых определить направления дальнейшего развития и разработок; б) региональные органы власти, которые используют форсайт для реструктуризации и повышения конкурентоспособности того или иного сектора. В качестве организаторов (например, ядерной группы исполнителей) форсайта могут выступать: а) университет, специализирующийся на проведении исследований в данной сфере и подготовке специалистов; б) отраслевая ассоциация, обладающая необходимыми аналитическими квалификациями; в) другие институты. Для участия в форсайте обязательно должны привлекаться: а) международные и российские эксперты в данной сфере; б) компании-производители, являющиеся лидерами рынка; в) торговые компании, которые обеспечивают связь с потребителями; г) российские и международные научные центры и институты; д) образовательные учреждения. Основным результатом форсайта является карта перспективных направлений инновационного и технологического развития в определенном секторе. Обычно форсайт производится на долгосрочную перспективу (20 лет), но подвергается корректировке раз в 3 - 4 года.

Форсайт обеспечивает: определение долгосрочных трендов развития сектора (территории и т.д.), сценарное представление будущих изменений, согласование государственных, региональных и корпоративных стратегий развития, периодичность обновления информации и возможность использования ее для корректировки политики.

Технологический форсайт (Technology foresight) – средство оценки научных и технологических достижений, которые в долгосрочном плане могли бы иметь сильное влияние на экономическое и социальное развитие региона. Необходима систематическая работа по определению перспективных технологий, определению их горизонтов, оценке последствий влияния технологий на экономику и общество. На основе данных прогнозирования необходимо наладить отбор технологий с целью обеспечить их конкурентоспособность в долгосрочной перспективе [1].

На основе данных технологического форсайта разрабатываются программы комплексного развития по наиболее перспективным научным и технологическим направлениям как в целом в стране, так и в отдельных регионах.

С помощью данного инструмента можно сформировать приоритеты и мобилизовать большое количество участников для достижения качественно новых результатов в сфере науки и технологий, цифровой экономики, государства и общества. По результатам форсайт-проектов создаются дорожные карты, которые являются одними из важнейших инструментов инновационной экономики.

Форсайт нацелен не только на поиск возможных альтернатив, но и на выбор наиболее предпочтительных из них. В процессе выбора применяются различные критерии для определения наиболее предпочтительных вариантов. Так, например, при выборе критических технологий может использоваться критерий достижения максимального экономического роста, а при построении технологической дорожной карты для отрасли – выявление потенциальных рыночных ниш и технологий, позволяющих максимально быстро разработать конкурентоспособные продукты для возникающих рынков в эру цифровой экономики.

Обратимся к практическим примерам реализации такого инструмента, как форсайт в регионах. В частности, в отношении инициации и проведения каспийского форсайта как пилотного проекта общекаспийского сетевого сотрудничества [4].

Прежде всего, речь идет о создании значимого в масштабе Каспия исследовательского центра.

Повышение значения региональной инновационной системы Астраханской области возможно только посредством включения в международные исследовательские и инновационно-технологические сети и альянсы. Для обеспечения лидирующей позиции Астраханская область должна выступить организатором и координатором выстраивания данных сетей в масштабах Каспийского региона. Для этого следует провести следующие мероприятия: формирование исследовательских групп, входящих в международные исследовательские сети и партнерства с ведущими исследовательскими и инжиниринговыми организациями, R&D департаментами ведущих корпораций, работающих на Каспии; формирование и координация сетевых исследований по актуальной тематике на национальном и наднациональном уровне (например, открытые сетевые программы исследований и пр.); формирование ассоциации технологических парков и бизнес-инкубаторов на территории Каспия и Средней Азии; организация (или участие в организации) крупных международных конференций по наиболее актуальной тематике; создание устойчивых партнерств и налаживание связей с ведущими исследовательскими и образовательными организациями нашей страны (расширение деятельности Ассоциации прикаспийских вузов), специализирующимися на схожих направлениях исследований и подготовке кадров; реализация проекта каспийского форсайта.

Проведение каспийского технологического форсайта, одной из тем которого должен стать долгосрочный прогноз технологического запроса в нефтегазовой отрасли Каспия.

В мире есть ряд примеров проведения научно-технологического форсайта на межгосударственном уровне, наиболее известный – регулярный общеевропейский форсайт. Каспийский форсайт может иметь характер не столько исследования, сколько формирования общего видения будущего, некоторого консенсуса между представителями различных государств и отраслевого бизнеса. Таким образом, при составлении форсайта потребуется использовать процедуры достижения соглашения (конвенций или консенсуса). Результатом проекта может стать прогнозирование состояния территории макрорегиона, в результате которого должны быть выделены общие для Каспия проблемы, появиться межгосударственные проекты и программы, отвечающие на наиболее актуальные для Каспия вызовы (изменение экологической обстановки, истощение биологических ресурсов, вопросы добычи, переработки и транспортировки энергоресурсов, развитие урбанизированных систем и пр.). Каспийский форсайт может быть инициирован региональными властями и получить поддержку как на федеральном уровне (включение в федеральные целевые программы развития науки и техники), так и на межгосударственном (возможна организация специализированного межправительственного фонда). В качестве организаторов (исполнителей) форсайта могут выступать: ассоциация вузов, отраслевые ассоциации, другие институты (независимые экспертные организации).

Еще одним из рынков применения форсайта может быть рынок биотехнологии.

Проведем небольшой форсайтный анализ на примере рынке биотехнологий, обращаясь к международному и региональному опыту.

Рынок биотехнологии – один из самых быстрорастущих в мире. Биотехнология (в комплексе с фармацевтикой) сегодня занимает третье место по капитализации среди ведущих секторов мировой экономики, уступая только банковскому и нефтегазовому.

Лидерами по объему рынка биотехнологии являются страны клуба развитых стран, прежде всего США. В число стран-лидеров входят также страны Евросоюза, Китай, Бразилия, Индия.

Опыт зарубежных стран, имеющих научные достижения в секторе биотехнологий и развивающих эту отрасль промышленности, показывает, что, несмотря на перспективность и высокую рентабельность биотехнологических проектов, отрасль развивается на основе четко определенной государственной стратегии и при поддержке государства. Многие государства рассматривают биотехнологию в качестве ключевого направления своего развития и интенсивно развивают биотехнологическую промышленность, принимая соответствующие национальные программы, создавая законодательную базу, обеспечивая необходимыми экономическими преференциями. Долгосрочные программы развития биотехнологии разработаны и действуют в настоящее время в США, Южной Корее, Китае, Индии (разработана

биотехнологическая политика для каждого штата), Бразилии, ЮАР, Кубе, Голландии, Финляндии, Германии и других странах.

Биотехнологии – одно из главных научно-практических направлений XXI века, об этом свидетельствует рост капиталовложений в эту отрасль. Если в 2004 году рынок биотехнологической продукции в мире составлял 40 млрд. долл. США, то в 2010 году глобальная рыночная стоимость секторов, связанных с биотехнологией (без сельского хозяйства), оценивается в более 2 трлн. евро. В настоящее время развитые страны мира рассматривают биотехнологии в качестве наиболее перспективной области для инвестирования. Мировой кризис лишь усилил наметившуюся тенденцию. Биотехнология из рядовой отрасли становится системообразующим, ведущим фактором развития экономики отдельных государств и мировой экономики в целом.

Европейская биоэкономика имеет приблизительный объем рынка свыше 1,7 трлн. евро с занятостью более 22 млн. человек. Отличительная особенность европейского подхода к развитию биотехнологии – ярко выраженная экологическая направленность. К 2020 году Евросоюз планирует перевести до 20 % мощности своей химической промышленности только на биосырье (например, Швеция за 12 лет планирует практически целиком перейти на биологическое топливо, чтобы не зависеть в этом отношении от поставщиков нефти).

В Китае биотехнологическая индустрия растет на 16 - 18 % ежегодно. В Корею в биотехнологической области работают более 200 научно-исследовательских центров и 500 частных компаний, страна вышла на четвертое место в мире в области геномной инженерии растений. Биотехнология на государственном уровне обозначена как стратегический приоритет на 15 лет.

Для стимулирования развития возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ) в законодательстве ужесточаются нормативы и санкции за органические загрязнения, включая требования к владельцам полигонов, выделяющих метан. С помощью таких мер мотивируется полезная утилизация биомассы.

Уровень энергопотребления в современном мире равен 12 млрд. т в нефтяном эквиваленте (далее – т н.э.). С учетом существующих темпов роста к 2050 году мировое энергопотребление достигнет 15 млрд. т н.э. (по более пессимистическим прогнозам – 25 млрд. т н.э.). По данным Мирового Энергетического Совета (World Energy Council, WEC), использование ВИЭ увеличится в 2 раза и достигнет 6 млрд. т н.э., а доля биомассы составит 2,6 млрд. т н.э.

Лидерами рынка биоэнергетики выступают Австрия и Швеция, где доля производства энергии из возобновляемых источников составляет 25 %, затем Финляндия (23 %), Италия, Германия и Англия.

Показателен пример Бразилии, природные ресурсы которой схожи с Россией. Бразилия сегодня занимает одно из ведущих мест по объему зеленой биомассы. 20 лет назад страна отказалась от импорта нефти и сегодня почти не импортирует ее, вложения в импорт нефти сокращены на 120 млрд. долл. США. Более 60 % топлива, которое заливается в баки бразильских автомобилей, является биотопливом, произведенным в стране.

Российская Федерация значительно отстает от ведущих стран по масштабам развития биотехнологии, в первую очередь по развитию собственно промышленной биотехнологии. Практически отсутствуют биотехнологические производства фармацевтических субстанций, ингредиентов для пищевой промышленности, сырьевых продуктов для химической промышленности, моторного биотоплива. Слабо внедряются современные биотехнологии в сельское хозяйство, горнодобывающую промышленность, энергетику.

Интересным представляется опыт реализации форсайта в области биотехнологий в Республике Татарстан.

Цели применения форсайта развития биотехнологий в Республике Татарстан: определить направления применения биотехнологии, способствующие достижению целевых экономических, экологических и социальных показателей долгосрочного развития региона; обеспечить условия для развития биокластера; сформировать единое видение представителей власти, науки, бизнеса и пути развития биотехнологий в Республике Татарстан.

Объектом форсайта являются сферы, внедрение биотехнологий в которые способствует достижению целевых экономических, экологических и социальных показателей долгосрочного развития Республики Татарстан.

Результатами применения форсайта развития биотехнологии в республике являются: – целевые показатели развития экономики (обеспечение ресурсами и добавочная стоимость, создаваемая на территории республики), социальной сферы и экологии Республики Татарстан в 2020 году; определение возможностей биотехнологии для достижения социально-экономических и экологических целей развития Республики Татарстан; формулирование перечня направлений развития биотехнологии в Республике Татарстан; определение необходимых условий, ресурсов для развития биотехнологии на территории республики по направлениям (сырье, трудовые и научные кадры, близость целевых потребителей, иные факторы успеха и угрозы); окончательное формирование направлений развития биотехнологии в РТ; формирование портфеля проектов в сфере биотехнологий.

Основные итоговые документы применения форсайта: отчет по итогам форсайта развития биотехнологий в республике, дорожные карты развития биотехнологий в республике; согласованный с представителями науки, бизнеса, общественности и власти проект Программы развития биотехнологий в республике; итоговые презентации и доклады.

Результаты (итоговые документы), включая рекомендации, рассматриваются законодательным органом власти при участии министерств.

На базе ведущего республиканского центра исследований и подготовки кадров в области биотехнологии выделяется отдельный комитет по форсайту биотехнологий (КФБ), который выступает ядром системы прогнозирования, основанной на форсайте. Данный комитет: адаптирует имеющиеся методики и инструменты форсайта на уровне Республики Татарстан; разрабатывает мероприятия, направленные на составление прогноза; формирует состав секций, ответственных за различные направления, к которым принято решение применить форсайт. Члены КФБ возглавляют данные секции.

В состав секций входят представители научной деятельности, экономики и социальной сферы, исполнительной власти Республики Татарстан, общественности. Среди представителей научной деятельности также могут привлекаться эксперты в области юриспруденции, этики и иных вопросов, возникающих в связи с внедрением и развитием биотехнологий.

Причем, на стадии определения целевого состояния экономики, социальной сферы и экологии Республики Татарстан в 2020 году рассматриваются средне- и долгосрочные перспективы развития в республике направлений в разрезе областей ведения министерств: безопасность, информатизация и связь, здравоохранение, промышленность и торговля, сельское хозяйство и продовольствие, экология и природные ресурсы, занятость и социальная защита, ЖКХ, транспорт и дорожное хозяйство, молодежь, спорт и туризм, лесное хозяйство и др.

В рамках инструмента форсайта применительно к рынку биотехнологий разработана «Дорожная карта», с участием обществом биотехнологов России им. Ю.А. Овчинникова и ООО «Эдванст Аналитика», вместе называемыми внутри раздела «эксперты».

Эксперты пришли к заключению, что для обеспечения актуальности форсайта должно быть обеспечено непрерывное выполнение некоторых из его функций, таких как: – мониторинг рынка разработок в сфере фармацевтики; актуализация базы экспертов, привлекаемых к форсайту; отслеживание «сигналов» для необходимости внепланового проведения работ по пересмотру видения целей и этапов развития.

Координирование этих функций должно быть закреплено за постоянно действующей рабочей группой при Правительстве Республики Татарстан.

Еще одним заключением экспертов стало мнение об отсутствии необходимости достижения консенсуса между всеми привлекаемыми к формированию форсайта экспертами. Основной задачей форсайта является сбор как можно более полной и разносторонней информации и мнений от всех участников предполагаемого процесса, а также прозрачность, открытость процесса принятия решений Правительством республики. Конечным лицом, принимающим решения относительно Программы развития биотехнологии в Республике Татарстан в 2010 - 2020 гг., является рабочая группа при Правительстве Республики Татарстан [2].

Кроме того, необходимо отметить, что перспективными биотехнологиями в химической промышленности являются биополимеры, которые являются самым распространенным в мире материалом для производства упаковки, активно используются в строительстве, электротехнической и автомобильной отраслях; переработка сырья, содержащего лигноцеллюлозу; создание биокатализаторов для интенсификации промышленных процессов [3].

Социально-экономический эффект от реализации инструментария – форсайта на рынке биотехнологий заключается в: существенном снижении уровня загрязненности воздуха в городах, что ведет к снижению уровня заболеваемости жителей; существенной экономии затрат на тепло- и электроэнергию организациями, у которых образуются большие объемы органических отходов (за счет внедрения локальных установок по производству биогаза и преобразования его в тепло- и электроэнергию), что будет способствовать, в свою очередь, сдерживанию цен на услуги жилищно-коммунального хозяйства; созданию новой, неистощимой статьи экспорта, компенсирующей ожидаемое в долгосрочном периоде снижение прибыли от топлива из ископаемых источников.

Социально-экономический эффект от реализации целенаправленных мер в контексте форсайт-технологии по развитию «зеленой» биотехнологии заключается в: увеличении площади здоровых лесных массивов, что способствует улучшению экологической обстановки; расширению возможностей по использованию рекреационной функции лесов; возможности использовать технологии «быстрого» леса для решения проблем эрозии почв; реализации потенциала развития целлюлозно-бумажной, мебельной промышленности.

Использование методологии форсайта позволит определить способы и механизмы выявления наиболее значимых социально-экономических проблем (с учетом их непрерывности во времени), многовариантность сценариев развития экономики в цифровую эпоху, установление долгосрочных конкурентных преимуществ отдельных отраслей и научно-технологических направлений, способов и форм привлечения к их определению представителей науки и бизнеса.

**Литература**

1. Закон РМ от 01.10.2008 № 94-З «О Стратегии социально-экономического развития Республики Мордовия до 2025 года» // Доступ из СПС «Консультант Плюс».
2. Постановление КМ РТ от 24.03.2010 № 180 «Об утверждении Целевой программы «Развитие биотехнологии в Республике Татарстан на 2010 - 2020 годы» // Доступ из СПС «Консультант Плюс».
3. Постановление Кабинета Министров ЧР от 26.03.2010 № 84 «О Стратегии «Чувашия - биорегион» до 2020 года» // Доступ из СПС «Консультант Плюс».
4. Постановление Правительства Астраханской области от 24.02.2010 № 54-П «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Астраханской области до 2020 года» // Доступ из СПС «Консультант Плюс».
5. Приказ Минэкономразвития России от 30.06.2016 № 417 «Об утверждении Методических рекомендаций по разработке и корректировке долгосрочного прогноза социально-экономического развития Российской Федерации» // Доступ из СПС «Консультант Плюс».
6. Проект Концепции долгосрочного прогноза научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2025 года // Материалы рабочей группы. М.: 2006.

**References in Cyrillics**

1. Zakon RM ot 01.10.2008 № 94-Z «O Strategii social'no-ekonomicheskogo razvitiya Res-publiki Mordoviya do 2025 goda» // Dostup iz SPS «Konsul'tant Plyus».
2. Postanovlenie KM RT ot 24.03.2010 № 180 «Ob utverzhdenii Celevoj programmy «Razvi-tie bio-tekhnologii v Respublike Tatarstan na 2010 - 2020 gody» // Dostup iz SPS «Kon-sul'tant Plyus».
3. Postanovlenie Kabineta Ministrov ChR ot 26.03.2010 № 84 «O Strategii «Chuvashiya - bio-region» do 2020 goda» // Dostup iz SPS «Konsul'tant Plyus».
4. Postanovlenie Pravitel'stva Astrahanskoj oblasti ot 24.02.2010 № 54-P «Ob utver-zhdenii Strategii social'no-ekonomicheskogo razvitiya Astrahanskoj oblasti do 2020 go-da» // Dostup iz SPS «Kon-sul'tant Plyus».
5. Prikaz Minekonomrazvitiya Rossii ot 30.06.2016 № 417 «Ob utverzhdenii Metodicheskikh rek-omendacij po razrabotke i korrekcirovke dolgosrochnogo prognoza social'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii» // Dostup iz SPS «Konsul'tant Plyus».
6. Proekt Konceptii dolgosrochnogo prognoza nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossijskoj Fed-eracii na period do 2025 goda // Materialy rabochej gruppy. M.: 2006.

*Луценко Сергей Иванович ([scorp\\_ante@rambler.ru](mailto:scorp_ante@rambler.ru))*

*Соавтор документа «Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации».*

*Автор проекта «Контуры Концепции развития финансового кластера Российской Федерации на долгосрочную перспективу»*

**Ключевые слова**

форсайт, биотехнологии, технологический форсайт, инструмент, отрасли, прогнозирование

**Sergej Lutsenko, Foresight: Being in Demand in a Digital Era****Keywords**

Foresight, biotechnologies, technology foresight, the tool, industries, forecasting

DOI: 10.34706/DE-2019-04-04

JEL classification Z19

**Abstract**

The author considers the mechanism of practical application foresight in digital economy. The foresight will allow to consider variations of scenarios of development of economy during a digital epoch, to specify competitive advantages of separate industries and scientifically- technological directions, with attraction of representatives of a science and business.

**Sergej Ivanovich Lutsenko**, Expert, The Corporate and Project Management Institute (Moscow), Analyst, Institute for Economic Strategies of the Social Sciences Division of the Russian Academy of Sciences (Moscow). The co-author of the document "Strategy of development of an electric grid complex of the Russian Federation".

The author of the project "Contours of the Concept of Developing Financial Cluster of the Russian Federation in the Long-Term Period".

## 1.5. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВУЗОВ ПРИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Меденников В.И., д.т.н., Вычислительный центр им. А.А. Дородницына  
ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва

*В работе рассматривается методика оценки эффективности использования информационных научно-образовательных ресурсов, представленных в Интернет-пространстве. В методике учтены как требования, предъявляемые к информационному наполнению сайтов образовательных учреждений Минобрнауки, Рособнадзором, так и востребованность этих ресурсов в экономике, их влияние на качество подготовки квалифицированных специалистов и ученых в образовательных учреждениях. Для совершенствования трансфера научных знаний в экономику предлагается включить в методику показатель, отражающий взаимосвязь полученных рейтингов ВУЗов и ряда региональных рейтингов, характеризующих социально-экономическое положение в регионах. Показано, что стандартизация представления информационных научно-образовательных ресурсов в цифровой экономике позволяет сформировать единое информационное Интернет-пространство научно-образовательных ресурсов, дающее доступ к ним широкому кругу пользователей: студентов, ученых, управленцев, бизнесу, населению.*

### Введение

Поводом для написания данной статьи послужили результаты заседания 03.12.2019 в Минобрнауки России Межведомственного совета по организации предоставления доступа к информационным наукометрическим базам данных и полнотекстовым научным ресурсам, которое провел первый заместитель Министра науки и высшего образования РФ Григорий Трубников [1].

Как было заявлено, «информационное обеспечение российских ученых необходимыми для проведения исследований информационными ресурсами – это одна из первоочередных задач Министерства с высочайшим приоритетом. И, исходя из опыта прошлых лет, считаю, что в наилучшем формате это возможно при координации наших с вами усилий».

А основные усилия, как следует из совещания, направлены на повышение наукометрических показателей ученых, НИИ и ВУЗов за счет совершенствования сервисов различных источников научно-образовательных знаний: «В настоящее время Минобрнауки России реализует ряд проектов, направленных на повышение видимости публикаций российских ученых, повышение показателей и рейтинга российских журналов и их вхождения в международные наукометрические базы данных. Так в 2019 году министерство обеспечило доступ к 29 полнотекстовым ресурсам для 614 организаций (в 2018 году – 204 организации) и к международным наукометрическим базам данных Web of Science и Scopus более чем для 1250 организаций в рамках централизованной (национальной) подписки. Кроме того, национальный доступ к журнальным коллекциям издательства Springer Nature, а также книгам и журнальным коллекциям издательства Elsevier был обеспечен Российским фондом фундаментальных исследований» [1].

Следствием такого подхода является то, что научную общественность больше интересует необходимость постоянно помнить о количестве публикаций, рейтинге журналов и издательств, в которых публикуешься, о том, чтобы вовремя загрузить статью в Базу данных (БД), дабы увеличить цитируемость в соответствии с созданным механизмом принуждения, который заставляет ученых выбирать темы исследований в соответствии с указанными выше критериями, а не потребностями экономики, общества.

В [2] этот расклад подтвержден уже на основе моделирования цифровых платформ. Были выделены две базовые платформы: производственная, отражающая экономические отношения, и научно-образовательная, отражающая интеграцию информационных научных и научно-образовательных ресурсов в Интернет-пространстве в виде единого информационного Интернет-пространства научно-образовательных ресурсов (ЕИИП НОР). Причем показано, что эти платформы существуют сами по себе, почти не пересекаясь. Цифровизация общества, науки и экономики, стремительно набирающая обороты, почти не влияет на этот расклад, обе платформы, подобно планетам, двигаются по своим орбитам. Всеми признается, что государство в лице научных учреждений и экономика существуют отдельно друг от друга. Это видно и по проводимым конференциям.

Кроме этого, на совещании не прозвучала проблема перевода на русский язык международных наукометрических баз данных за счет создания соответствующего сервиса в рамках национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года.

Как следует из различных исследований, языковая проблема в России стоит очень остро. Так, Россия стала 39-й из 70 стран, вошедших в рейтинг владения английским языком, составленный компанией EF (Education First). Она оказалась между Эквадором и Мексикой, попав в группу с низким уровнем владения английским с индексом, равным 51,59. Из европейских стран сопоставимый результат продемонстрировала только Франция: она в рейтинге 37-я [3]. В Институте статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ) НИУ ВШЭ обнаружили, что лишь 14% российских кандидатов и докторов наук свободно владеют английским [4].

Стоит отметить, что формированию ЕИИП НОР почти ни в одном документе руководящих органов не только в Минобрнауки России, но и в ЕАЭС не уделено внимания. Проблемы в этом направлении нарастают. Анализ сайтов НИИ, национальных академий стран СНГ показывает, что только две страны – Белоруссия и Казахстан – поддерживают их на русском языке, при этом уменьшается количество совместных работ.

Анализ цифровых платформ (ЦП), анонсированных в Программе цифровой экономики, указывает на отсутствие, пожалуй, одной из основных – ЦП информационных научно-образовательных ресурсов (ИНОР), в частности, научных. При этом руководство страны никаких требований к науке в этом направлении не предъявляет. Хотя, очевидно, что научно обоснованное формирование информационного пространства этих ресурсов выполняет триединую задачу.

Информатизация самой науки. Здесь формирование информационного Интернет-пространства научных ресурсов необходимо в связи с экспоненциальным ростом объемов информации в науке, появившейся возможностью создания новых информационных технологий, обеспечивающих эффективность извлечения необходимых знаний. Информационные технологии, прежде всего, на основе Интернет, дали науке качественно новые возможности для широкого обмена идеями между учеными и информационными научными ресурсами и их цифрового взаимодействия.

Информационные технологии способны выполнять функции стимулирования научно-технического прогресса лишь при условии определенного уровня интеллектуального потенциала общества, в формировании которого ключевую роль играет система образования. В процессе трансформации научных знаний в образовательные опять же большую роль играют информационно-коммуникационные технологии (ИКТ). Например, в [5] на основе теории комплементарности было показано, что вложения в ИКТ более эффективны, когда высок уровень двух других комплементарных активов – организационного и человеческого капиталов. То есть инвестиции в ИКТ связаны со значительными затратами на изменение организационного и человеческого капиталов, зависящими от образования.

Информационное Интернет-пространство научных ресурсов обеспечивает эффективную систему трансфера научных знаний в экономику, способствует разработке научных концепций ЦЭ, ее цифровых платформ, научное сопровождение, мониторинг процесса цифровизации страны, отраслей, предприятий, территориальных образований, общества. Так, производство в неявном виде предъявляет свои требования к необходимости формирования информационного Интернет-пространства научных ресурсов. При обследовании сельскохозяйственных организаций относительно эффективности деятельности информационно-консультационной службы один фермер высказался так: «Я бы хотел такую систему, в которой мог быстро найти, например, разработку в виде средства борьбы с какой-либо болезнью растений, животного, потом получить тут же все публикации, всех консультантов, нормативно-правовую информацию, дистанционное обучение на эту тему. Потом в соответствующей БД найти нужного поставщика препарата с минимизацией затрат на приобретение и доставку».

В нашей стране государство, диктующее условия и правила становления цифровой экономики (ЦЭ), не смогло создать единую систему сбора, хранения и предоставления широкому кругу пользователей научных знаний, произведенных научным сообществом. В настоящее время эти знания размыты в различных БД, никак не связанных между собой. Например, государство тратит значительные ресурсы на разработку и сопровождение БД «Единая государственная информационная система учета результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения (ЕГИСУ НИОКТР)» и E-library.ru, имеющих довольно узкое целевое назначение, соответственно, специфическую аудиторию. Цель первой БД очевидна из названия. Цель второй – создание национального индекса цитирования (РИНЦ) с перспективой применения, наряду с зарубежными БД, для оценки результатов научной работы какого-либо ученого либо коллектива. Однако, именно эта направленность на оценку результатов научной работы делает базу данных РИНЦ востребованной для широкого круга, особенно товаропроизводителей, желающих иметь удобную систему получения знаний.

Вследствие отстранения государством ученых от научного обеспечения процесса цифровизации экономики и общества, а также в результате проведенных реформ в экономике в настоящее время товаропроизводителю трудно найти разработки, публикации, прочую информацию по проблемам экономики, поскольку старая система распространения инноваций на бумажных носителях была разрушена, а новая на электронных – не создана. Поэтому ИНОР почти отсутствуют в производственных Информационных системах (ИС).

В то же время, в интересах широкого круга потребителей научных знаний в российских ИС, в наибольшей степени ориентированных на поддержку инновационной деятельности, можно найти информацию из следующих источников: eLibrary, БД ФИПС, БД «ЕГИСУ НИОКТР», сайты НИИ, федеральный портал по научной и инновационной деятельности ([www.sci-innov.ru](http://www.sci-innov.ru)), ИС Российского фонда фундаментальных исследований ([www.rfbr.ru/rffi/ru](http://www.rfbr.ru/rffi/ru)), ИС ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 годы» ([www.fcnp.ru](http://www.fcnp.ru)), ИС Фонда содействия развитию малых и средних предприятий в научно-технической сфере (<http://fasi.ru>), ИС Центра информационных технологий и систем органов исполнительной власти ([www.citis.ru](http://www.citis.ru)). Все эти источники, как и следовало ожидать, имеют гетерогенные структуры.

К сожалению, ценная и актуальная информация этих БД и ИС практически недоступна для использования в инновационной сфере. Основная причина – неразвитость коммуникативной функции, т.е. отсутствие свободного доступа к их содержимому из сети Интернет, отсутствие их интеграции.

С другой стороны, товаропроизводителю необходим значительно больший «ассортимент» научной продукции. Анализ сайтов НИИ, ВУЗов, информационно-консультационных служб Агро-промышленного комплекса (АПК) позволил выделить семь видов ИНОР, присутствующих в том или ином виде на этих сайтах: разработки, публикации, консультационная деятельность, нормативно-правовая информация, дистанционное обучение, пакеты прикладных программ (ППП), БД. Именно данные виды представления научных знаний наиболее востребованы в экономике АПК [6].

При этом совершенствование Интернет-технологий позволяет осуществить интеграцию их на основе онтологического моделирования в ЕИИП НОР с единых научно-методологических позиций с простой, понятной любому пользователю системой навигации с размещением информационных ресурсов (ИР) в облаке под управлением мощной СУБД на основе единых классификаторов, таких, как Государственный рубрикатор научно-технической информации (ГРНТИ) и Общероссийский классификатор продукции (ОКП) [7, 8].

Очевидно, что в этом случае ЕИИП НОР способно выполнить триединую роль, указанную выше. Например, добиться реализации мечты фермера о создании системы, в которой товаропроизводитель смог бы выбрать некоторую разработку с одновременным получением всех публикаций, всех консультантов, необходимой нормативно-правовой информации, дистанционного курса обучения на эту тему. После чего в соответствующей БД найти нужного поставщика необходимых материальных ресурсов и услуг с оптимизацией затрат на приобретение и доставку.

Возможность создания ЕИИП НОР проверена на основе математического моделирования, а также практической реализацией при разработке портала Российской академии сельскохозяйственных наук в 2007-2008гг. Было заведено: 12321 публикация, 2541 разработка, 444 консультанта для проведения консультационной деятельности по тематике. В тот период в БД Elibrary было значительно меньше публикаций, а остальных видов ИНОР не было и в данный момент нет [7]. Отсутствие финансовых средств и реформа науки вынудили остановить данные работы.

Требования, предъявляемые к сайтам ВУЗов Минобрнауки, Рособнадзором России, отраслевыми министерствами для оценки деятельности образовательных учреждений, вынуждают эти сайты становиться все более похожими друг на друга. Недалек тот день, когда ВУЗы должны перейти на типовые сайты. А это уже первый шаг к созданию ЕИИП НОР. При внедрении типовых сайтов в ВУЗах и НИИ и их интеграции с данным пространством ИНОР автоматически попадали бы туда.

Требования, предъявляемые к информационному наполнению сайтов образовательных учреждений Минобрнауки, Рособнадзором (особенно отчеты о самообследовании) вызвали интерес различных исследователей к оценке их деятельности на основе этих данных. Подход к выбору видов деятельности и их показателей на Западе отличается от подхода, принятого в России. Разность подходов можно объяснить тем, что в зарубежных образовательных учреждениях научные исследования являются одним из главных видов деятельности, в России же на первом месте стоит образовательная деятельность. Качество преподавания за рубежом оценивается, в основном, спросом на выпускников ВУЗа, их позициями на рынке труда. В последние десятилетия наука и образование приобретают в мире глобальный характер, поэтому, практически все мировые рейтинговые агентства стремятся оценить популярность и значимость университетов в международном масштабе. Российским ВУЗам до этого ещё далеко. Это, в частности, определяется недооценкой возможностей и преимуществ информационных технологий на базе Интернета.

## 1. Описание методики

Для устранения этого недостатка при возросших возможностях Интернет-технологий, исходя из вышеизложенного, актуальной является разработка методики оценки эффективности использования информационных научно-образовательных ресурсов ВУЗов в Интернет-пространстве. При этом должны учитываться как требования, предъявляемые к информационному наполнению сайтов образовательных учреждений Минобрнауки, Рособнадзором, так и востребованность их в экономике, влияние на качество подготовки квалифицированных специалистов и ученых в образовательных учреждениях. Необходимо в методике отразить и оценку сайтов методами сайтometrics (webometrics), отражающей имидж и репутацию ВУЗа, а также современные тенденции предоставления информационных услуг ВУЗами в Интернет-пространстве в виде электронных бирж труда и торговых площадок.

При разработке методики нужно выбрать наиболее значимые показатели деятельности ВУЗов, влияющие на достижение их целей: подготовка квалифицированных специалистов и ученых, производство научной продукции. На эффективность достижения этих целей влияет, кроме показателей ЕИИП НОР, также «качество» абитуриентов, состояние науки, грамотность управленцев Минобрнауки и отраслевых министерств, а также состояние всей экономики страны, уровень финансирования образования.

Данную взаимосвязь удобно отобразить через процессный подход (рис. 1).

Вход процесса – это абитуриенты. Выход – это цель процесса, его результат: квалифицированные специалисты и ученые, результаты научной деятельности. Ресурсы или механизм – это система, осуществляющая преобразование входа в выход. К ним относятся: персонал, выполняющий процесс, оборудование, инструмент, здания, сооружения и т. п. – все то, с помощью чего осуществляется процесс, что может использоваться в процессе.

Управление – это то, что оказывает воздействие на процесс (прежде всего, на ресурсы) с целью достижения поставленной цели (выхода). Управляющие воздействия носят информационный и ограничивающий характер. Чаще всего это документы, содержащие определенные требования: законы, стандарты, методики, инструкции, планы, распоряжения руководства и др.

Информационные ресурсы (ИР), отражающие требования Минобрнауки, Рособнадзора, в наибольшей степени влияющие на достижение целей ВУЗов, будем называть вторичными информационными образовательными ресурсами (ИОР) (таб. 8). Показатели, отражающие информацию о разработках, публикациях, консультационной деятельности, нормативно-правовой информации, дистанционном обучении, пакетах прикладных программ, базах данных, будем называть первичными информационными научно-образовательными ресурсами (ИНОР). Показатели, отражающие информацию о консультационной деятельности, будут представлены в виде количества консультантов.



Рисунок 1. Процессный подход к деятельности ВУЗа

Информационные научно-образовательные ресурсы в соответствии с современными тенденциями в области Интернет-технологий, когда провайдеры начинают предоставлять услуги по хранению контента сайтов в мощных системах управления базами данных (СУБД), могут храниться, с одной стороны, либо в виде каталога, либо в виде полноформатного представления (назовем это формой хранения ИР). С другой стороны, либо в виде неупорядоченного списка, либо в виде упорядоченного представления с возможностью навигации, например, на основе СУБД по тематической рубрикации ГРНТИ, авторам, организациям, ключевым словам и т.д. (назовем это уровнем интеграции ИР).

Стандартизация представления ИНОР в ЕИИП НОР позволяет, особенно, при переходе организаций к типовым сайтам, разработать независимую, малозатратную, автоматизированную методику оценки их деятельности. Данные оценки, в частности, отражают готовность ВУЗов к инновационному и технологическому развитию регионов. Стандартизация приводит к единой методике, как для ВУЗов, так и для НИИ, что обусловлено наличием измеримых и сравнимых показателей, находящихся в единой облачной БД.

Интегральный критерий оценки эффективности использования информационных научно-образовательных ресурсов конкретного образовательного учреждения определяется как сумма взвешенных групп, общая сумма весов которых равна 1, следующих частных критериев: критерий оценки видов представления первичных информационных научно-образовательных ресурсов, критерий оценки эффективности использования информационных ресурсов методами сайтометрии, критерий оценки эффективности использования информационных ресурсов по состоянию электронной торговой площадки, критерий оценки эффективности использования информационных ресурсов по состоянию электронной биржи труда, критерий оценки вторичных информационных образовательных ресурсов.

В данной работе в качестве примера приведем результаты исследований на основе состояния ИНОР на сайтах сельскохозяйственных ВУЗов. Для разработки методики был проведен мониторинг и анализ сайтов ВУЗов, где использовалась разработанная оригинальная анкета с включением показателей из набора требований Минобрнауки, Рособнадзора, а также не вошедших в этот перечень показате-

телей, отражающих информацию о разработках, публикациях, консультационной деятельности, нормативно-правовой информации, дистанционном обучении, ППП, БД, об электронных биржах труда и торговых площадках; оценку сайтов методами сайтометрии.

В соответствующей анкете отражены 214 показателей деятельности ВУЗов (122 показателя оценивают представительство самого ВУЗа, 40 показателей для факультета, 46 показателей для оценки кафедр и 6 показателей для общей оценки сайта).

Значения весов показателей критериев оценки эффективности использования информационных ресурсов определены на основе экспертных оценок, полученных путем анализа различных статей специалистов в области образования [9, 10, 11, 12, 13], методик расчета различных рейтингов образовательных учреждений, анкетирования преподавателей РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, а также на основе применения соответствующих статистических методов.

При этом под эффективностью, с точки зрения методов исследования операций, понимается результативность в достижении цели. В нашем случае целями формирования информационных научно-образовательных ресурсов (ИНОР) являются:

- доступность ИНОР для широкого круга пользователей (абитуриентов, студентов, преподавателей, служащих госорганов, товаропроизводителей, научных работников, управленцев, населения и др.);
- разнообразие форм и качества ИНОР;
- полнота, оперативность и достоверность получаемой информации;
- комфортность и простота получения информации;
- минимизация затрат на проектирование, разработку и сопровождение информационных систем.

#### **Математическое описание методики**

Формализуем словесное описание методики оценки эффективности использования информационных научно-образовательных ресурсов, приведенное выше. Авторское подробное описание всех параметров методики дано в работе [9].

$i$  — код уровня интеграции ИНОР,  $i \in I$  (таб. 1);

$l$  — код формы хранения ИНОР,  $l \in L$  (таб. 2);

$n$  — код вида представления ИНОР,  $n \in N$  (таб. 3);

$m$  — номер образовательного учреждения,  $m \in M$ ;

$h$  — код вида представления вторичных информационных образовательных ресурсов,  $h \in H$  (таб. 8);

$P_j^m$  — частный критерий оценки эффективности использования информационного ресурса  $m$ -го образовательного учреждения по  $j$ -му показателю,  $j \in J$  (таб. 4);

$P^m$  — интегральный критерий оценки эффективности использования информационного ресурса  $m$ -го образовательного учреждения;

$\alpha_i^1$  — вес значения показателя уровня интеграции первичных информационных образовательных ресурсов;

$\alpha_l^2$  — вес значения показателя  $l$ -й формы хранения ИНОР;

$\alpha_n^3$  — вес значения показателя  $n$ -го вида представления ИНОР;

$\beta_j$  — вес значения критерия оценки эффективности использования информационного ресурса по  $j$ -му показателю (таб. 4);

$v_{i \ln 0}^m$  — объем ИНОР  $i$ -го уровня интеграции,  $l$ -ой формы хранения,  $n$ -го вида представления на уровне  $m$ -го ВУЗа;

$v_{i \ln f}^m$  — объем ИНОР  $i$ -го уровня интеграции,  $l$ -ой формы хранения,  $n$ -го вида представления на уровне  $f$ -го факультета  $m$ -го ВУЗа;

$v_{i \ln k}^m$  — объем ИНОР  $i$ -го уровня интеграции,  $l$ -ой формы хранения,  $n$ -го вида представления на уровне  $k$ -й кафедры  $m$ -го ВУЗа;

$\lambda_{i \ln}^m$  — значение критерия оценки информационных научно-образовательных ресурсов  $i$ -го уровня интеграции,  $l$ -ой формы хранения,  $n$ -го вида представления  $m$ -го ВУЗа;

$$\lambda_{i \ln}^m = (v_{i \ln 0}^m + \sum_f v_{i \ln f}^m + \sum_k v_{i \ln k}^m) / \max_m (v_{i \ln 0}^m + \sum_f v_{i \ln f}^m + \sum_k v_{i \ln k}^m)$$

$d_{rm}^2$  — объем  $r$ -го показателя оценки сайта методами сайтометрии в  $m$ -ом ВУЗе,  $r \in R$  (таб. 5);

$q_{rm}^2$  — значение  $r$ -го показателя критерия оценки сайта методами сайтометрии в  $m$ -ом ВУЗе;

$\omega_r^2$  — вес значения  $r$ -го показателя критерия оценки сайта методами сайтометрии (таб. 5);

$$q_{rm}^2 = d_{rm}^2 / \max_m d_{rm}^2;$$

$d_{sm}^3$  — значение  $s$ -го показателя критерия оценки сайта по состоянию электронной торговой площадки [9] в  $m$ -ом ВУЗе (таб. 6);

$\omega_s^3$  — вес значения  $s$ -го показателя критерия оценки сайта по состоянию электронной торговой площадки (таб. 6);

$d_{gm}^4$  — значение  $g$ -го показателя критерия оценки сайта по состоянию электронной биржи труда [10] в  $m$ -ом ВУЗе (таб. 7);

$\omega_g^4$  — вес значения  $g$ -го показателя критерия оценки сайта по состоянию электронной биржи труда,  $g \in G$  (таб. 7);

$d_{hm}^5$  — объем  $h$ -го показателя оценки эффективности использования вторичных информационных образовательных ресурсов в  $m$ -ом образовательном учреждении,  $k \in K$  (таб. 8);

$q_{hm}^5$  — значение  $h$ -го показателя критерия оценки эффективности использования вторичных информационных образовательных ресурсов в  $m$ -ом образовательном учреждении;

$\omega_{hm}^5$  — вес значения  $h$ -го показателя критерия оценки эффективности использования вторичных информационных образовательных ресурсов в  $m$ -ом образовательном учреждении,  $k \in K$  (таб. 8);

$$q_{hm}^5 = d_{hm}^5 / \max_m d_{hm}^5 ;$$

Тогда:

$$P = \sum_j \beta_j \cdot P_j^m, \text{ где}$$

$$P_1^m = \sum_{i,l,n} \lambda_{i,l,n}^m \alpha_i^1 \alpha_l^2 \alpha_n^3 ,$$

$$P_2^m = \sum_k \omega_k^2 q_{km}^2 ,$$

$$P_3^m = \sum_s \omega_s^3 d_{sm}^3 ,$$

$$P_4^m = \sum_g \omega_g^4 d_{gm}^4 ,$$

$$P_5^m = \sum_h \omega_h^5 q_{hm}^5 .$$

Как уже упоминалось, подробное описание всех параметров методики можно найти в работе [9]. Согласно этой работе и экспертным оценкам, приведем значения параметров методики:

Таблица 1. Показатели уровня интеграции ИП

№ п/п	Наименование	$\alpha_i^1$ (в %)
1	Неупорядоченный список	10
2	Упорядоченное представление	90
ИТОГО		100

Таблица 2. Показатели форм хранения ИП

№ п/п	Наименование	$\alpha_i^2$ (в %)
1	Каталог	30
2	Полноформатное представление	70
ИТОГО		100

Таблица 3. Показатели видов представления первичных информационных научно-образовательных ресурсов

№ п/п	Наименование	$\alpha_i^3$ (в %)
1	Разработки	30
2	Публикации	20
3	Базы данных	5
4	Пакеты прикладных программ	5
5	Дистанционное обучение	5
6	Консультанты	30
7	Нормативно-правовая информация	5
ИТОГО		100

Таблица 4. Частные критерии оценки эффективности

№ п/п	Наименование	$\beta_j$ (в %)
1	Критерий оценки видов представления первичных информационных научно-образовательных ресурсов	50
2	Критерий оценки эффективности использования информационных ресурсов методами сайтометрии	10
3	Критерий оценки эффективности использования информационных ресурсов по состоянию электронной торговой площадки	15
4	Критерий оценки эффективности использования информационных ресурсов по состоянию электронной биржи труда	10
5	Критерий оценки видов представления вторичных информационных образовательных ресурсов	15
ИТОГО		100

Таблица 5. Показатели оценки сайтов методами сайтометрии

№ п/п	Наименование	$\omega_r^2$ (в %)
1	Индексация (сводный, 4 показателя)	8
2	Каталоги (сводный, 4 показателя)	8
3	Проблемы (сводный, 2 показателя)	5
4	Рейтинг Alexa (global)	4
5	Рейтинг Alexa (local)	4
6	Рейтинг Google PR	8
7	Рейтинг Яндекс (ТИЦ)	8
8	Социальные сервисы (сводный, 3 показателя)	5
9	Ссылки на сайт (сводный, 4 показателя)	40
10	Ссылки с сайта (сводный, 2 показателя)	10
ИТОГО		100

Таблица 6. Показатели критерия оценки эффективности использования информационных ресурсов по состоянию электронной торговой площадки

№ п/п	Наименование	$\omega_s^3$ (в %)
1	Неструктурированная доска объявлений	5
2	Структурированная доска объявлений	10
3	Автоматизация поиска оптимального торгового партнера по заданному	20
4	Автоматизация информационных процессов всех торговых операций	25
5	Полная автоматизация электронной торговли	40
ИТОГО		100

Таблица 7. Показатели критерия оценки эффективности использования информационных ресурсов по состоянию электронной биржи труда

№ п/п	Наименование	$\omega_g^4$ (в %)
1	Неструктурированная доска объявлений	10
2	Структурированная доска объявлений	20
3	Электронная биржа труда (автоматизированный поиск)	60
4	Ссылки на другие биржи труда	10
ИТОГО		100

Таблица 8. Показатели критерия оценки эффективности использования вторичных информационных образовательных ресурсов

№ п/п	Наименование	$\omega_{hm}^5$ (в %)
1	Удельный вес численности научно-педагогических работников, имеющих ученую степень кандидата наук, в общей численности научно-педагогических работников образовательной организации	4.26
2	Удельный вес численности научно-педагогических работников, имеющих ученую степень доктора наук, в общей численности научно-педагогических работников образовательной организации	4.45
3	Общая площадь помещений, в которых осуществляется образовательная деятельность, в расчете на одного студента	4.58
4	Количество компьютеров в расчете на одного студента	4.71
5	Доходы образовательной организации по всем видам финансового обеспечения (деятельности) в расчете на одного научно-педагогического работника	4.56
6	Доходы образовательной организации из средств от приносящей доход деятельности в расчете на одного научно-педагогического работника	4.68
7	Отношение среднего заработка научно-педагогического работника в образовательной организации (по всем видам финансового обеспечения (деятельности)) к средней заработной плате по экономике региона	3.99
8	Численность обучающихся по реализуемым образовательным программам за счет бюджетных ассигнований:	5.02
9	– федерального бюджета,	4.39
10	– бюджетов субъектов РФ,	4.40
11	– местных бюджетов	4.49
12	Численность обучающихся по договорам об образовании за счет средств физических и (или) юридических лиц.	4.58
13	Численность студентов – победителей и призеров заключительного этапа всероссийской олимпиады школьников, членов сборных команд Российской Федерации, участвовавших в международных олимпиадах по общеобразовательным предметам по специальностям и (или) направлениям подготовки, соответствующим профилю всероссийской олимпиады школьников или международной олимпиады, принятых на очную форму обучения на первый курс по программам бакалавриата без вступительных испытаний	4.93
14	Средний балл студентов, принятых по результатам единого государственного экзамена на первый курс на обучение по очной форме	4.28
15	Доля сельской молодежи среди зачисленных на первый курс	4.68
16	Количество цитирований в индексируемой системе цитирования Web of Science в расчете на сто научно-педагогических работников	4.65
17	Количество цитирований в индексируемой системе цитирования Scopus в расчете на сто научно-педагогических работников	4.54
18	Количество цитирований в Российском индексе научного цитирования (далее – РИНЦ) в расчете на сто научно-педагогических работников	4.61
19	Количество статей в научной периодике, индексируемой в системе цитирования Web of Science, в расчете на 100 научно-педагогических работников	4.58
20	Количество статей в научной периодике, индексируемой в системе цитирования Scopus, в расчете на 100 научно-педагогических работников	4.50
21	Количество публикаций в РИНЦ в расчете на 100 научно-педагогических работников	4.57
22	Удельный вес численности студентов (курсантов), проживающих в общежитиях, в общей численности студентов (курсантов), нуждающихся в общежитиях	4.56
	Доля выпускников, обучавшихся очно за счёт средств федерального бюджета, трудоустроенных в сельскохозяйственные, водохозяйственные, мелиоративные, землеустроительные, лесохозяйственные организации, в организации перерабатывающей промышленности, органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации, организации социальной сферы села, аграрные НИИ и образовательные учреждения, продолжающие обучение в магистратуре и аспирантуре, а также призванные в вооруженные силы	100.00
	ИТОГО	

Как уже было отмечено выше, значения весов показателей критериев оценки эффективности использования информационных образовательных ресурсов, за исключением вторичных информационных образовательных ресурсов, определены на основе экспертных оценок, полученных на основе анализа различных статей специалистов в области образования, методик составления различных рейтингов, мнения преподавателей РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Значения весов показателей критерия оценки эффективности использования вторичных информационных образовательных ресурсов определить вышеперечисленными способами, за исключением анкетирования преподавателей РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, не удалось. Однако эти значения можно получить несколькими другими способами. Первая группа способов основана на применении статистических методов. Было высказано предположение, что значения многих показателей из таб. 8 должны коррелировать со значениями показателей ИНОР. В этом случае веса установим пропорционально коэффициентам корреляции. Такая зависимость была найдена четырьмя методами. В случае, если сильная корреляционная связь не установлена, веса определялись экспертно на основании мнения преподавателей РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева.

## 2. Статистические методы определения весов показателей критериев оценки эффективности использования вторичных информационных образовательных ресурсов

### 2.1 Методика расчета весов на основе корреляционного анализа [9]

$m$  — номер образовательного учреждения,  $m \in M$ ;

$h$  — номер показателя оценки эффективности использования вторичных информационных научно-образовательных ресурсов,  $h \in H$ ;

$r_{0m}$  — оценка эффективности использования информационного ресурса  $m$ -го образовательного учреждения по показателям первичных информационных образовательных ресурсов,  $r_{0m} \in R_0$ ;

$r_{mh}$  — значение показателя  $h$ -го вторичного информационного образовательного ресурса  $m$ -го образовательного учреждения;

$s_h$  — коэффициент корреляции между  $r_{0m}$  и  $r_{mh}$ ;

$\bar{s}_h = s_h / \sum s_h$  — нормированный коэффициент корреляции  $r_{0m}$  и  $r_{mh}$ .

Тогда  $\omega_{hm}^5$  — вес  $h$ -го вторичного информационного образовательного ресурса  $m$ -го образовательного учреждения принимаем равным  $\bar{s}_h$ .

### 2.2 Методика расчета весов на основе коэффициента конкордации Кендалла

$m$  — номер образовательного учреждения,  $m \in M$ ;

$h$  — номер показателя оценки эффективности использования вторичных информационных образовательных ресурсов,  $h \in H$ ;

$r_{0m}$  — оценка эффективности использования информационного ресурса  $m$ -го образовательного учреждения по показателям ИНОР,  $r_{0m} \in R_0$ ;

$r_{mh}$  — значение показателя  $h$ -го вторичного информационного образовательного ресурса  $m$ -го образовательного учреждения;

$k_h$  — коэффициент конкордации Кендалла для группы показателей  $r_{0m}$  и  $r_{mh}$ ;

$\bar{k}_h = k_h / \sum k_h$  — нормированный коэффициент конкордации.

Тогда  $\omega_{hm}^5$  — вес  $h$ -го вторичного информационного образовательного ресурса  $m$ -го образовательного учреждения принимаем равным  $\bar{k}_h$ .

### 2.3 Методика расчета весов на основе вероятностной модели оценивания

В описании ниже мы следуем работе [14].

В данной модели предполагается, что существуют некоторые «истинные» оценки объектов, а экспертные оценки отклоняются от этих оценок случайным образом, так что эти отклонения представляют собой реализации случайной величины с математическим ожиданием, равным данной оценке.

Случайные величины предполагаются распределёнными по нормальному закону, то есть вероятность того, что данная случайная величина не превышает  $x$ , равна

$F(x) = \Phi\left(\frac{x - x_i}{\sigma_i}\right)$ , где  $x_i$  — математическое ожидание величины  $i$ -го объекта,  $\sigma_i^2$  — его дисперсия, а

$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{z^2}{2}} dz$  — нормальная функция распределения с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1.

В данной модели ограничиваются случаем, когда  $\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_N = \sigma$

Таким образом, вероятность того, что эксперт оценит объект  $i$  выше объекта  $j$ , равна  $\Phi\left(\frac{x_i - x_j}{\sigma}\right)$ .

Отсюда, если заданы величины  $c_{ij}$ , выражающие (выборочную) вероятность того, что  $i$  лучше  $j$ , то для нахождения всех оценок  $x_i$  имеем систему уравнений:

$$c_{ij} = \Phi\left(\frac{x_i - x_j}{\sigma}\right).$$

Если мы теперь обозначим через  $d_{ij}$  однозначно определяемые, такие что

$$c_{ij} = \Phi(d_{ij}), \text{ то, в силу строгой монотонности функции } \Phi(\cdot) \text{ имеем систему уравнений } x_i - x_j = \sigma d_{ij}.$$

Откуда нетрудно (в предположении, что  $\sigma = 1$ ) вывести (суммируя все  $d_{ij}$  по  $j$  и деля на общее число объектов  $N$ ), что величины  $\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N d_{ij}$  — суть «истинные» значения  $x_i$ , а положительные «реальные» оценки

экспертов равны соответственно  $\Phi\left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N d_{ij}\right)$ .

Пусть теперь, как и прежде,

$m$  — номер образовательного учреждения,  $m \in M$ ;

$h$  — номер показателя оценки эффективности использования вторичных информационных образовательных ресурсов,  $h \in H$ ;

$r_{0m}$  — оценка эффективности использования информационного ресурса  $m$ -го образовательного учреждения по показателям ИНОР,  $r_{0m} \in R_0$ ;

$r_{mh}$  — значение показателя  $h$ -го вторичного информационного образовательного ресурса  $m$ -го образовательного учреждения;

$r_{mij}^+$  — количество компонентов вектора  $\{r_{1i}, r_{2i}, \dots, r_{Mi}\}$ , которые строго больше, чем соответствующие компоненты вектора  $\{r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{Mj}\}$ ;

$r_{mij}^-$  — количество компонентов вектора  $\{r_{1i}, r_{2i}, \dots, r_{Mi}\}$ , которые строго меньше, чем соответствующие компоненты вектора  $\{r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{Mj}\}$ ;

$r_{mij}^=$  — количество компонентов вектора  $\{r_{1i}, r_{2i}, \dots, r_{Mi}\}$ , которые в точности равны соответствующим компонентам вектора  $\{r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{Mj}\}$ .

Тогда в качестве оценок величин  $c_{ij}$ , выражающих (выборочную) вероятность того, что  $i$  лучше  $j$ , берутся соответственно  $(r_{mij}^+ + 0,5 \cdot r_{mij}^=) / M$  для  $c_{ij}$  и  $(r_{mij}^- + 0,5 \cdot r_{mij}^=) / M$  для  $c_{ji}$ .

#### 2.4 Методика расчета весов на основе вычисления матрицы компетентности

$m$  — номер образовательного учреждения,  $m \in M$ ;

$h$  — номер показателя оценки эффективности использования вторичных информационных образовательных ресурсов,  $h \in H$ ;

$r_{mh}$  — значение показателя  $h$ -го вторичного информационного образовательного ресурса  $m$ -го образовательного учреждения.

Для заданной матрицы  $R = \{r_{mh}\}$  экспертных оценок размерности  $M \times H$  итерационно вычисляются ряды векторов:

$$r^t = \frac{1}{\lambda^t} R \cdot R^t \cdot r^{t-1}, \quad q^t = \frac{1}{\lambda^t} R^t \cdot R q^{t-1},$$

где штрихом обозначена матрица, транспонированная к матрице  $R$ , то есть  $r_{ij}^t = r_{ji}^t$ .

При определённых условиях (т.н. «неразложимости»), налагаемых на матрицу  $R$ , которые в наших исследованиях заведомо выполняются, данные итерационные процессы достаточно быстро сходятся (для практических вычислений) к некоторым предельным векторам ( $q$  — собственный вектор максимального собственного числа  $\lambda$  матрицы  $R \cdot R$ )  $r = \lim_{t \rightarrow \infty} r^t$  и  $q = \lim_{t \rightarrow \infty} q^t$ .

Причём, как нетрудно видеть, имеет место равенство  $r = R \cdot q$ , так что групповые оценки  $r$  объектов оценивания получаются из индивидуальных оценок экспертов  $R$  посредством взвешивания их с вычисленными коэффициентами компетентности  $q$ .

Тогда  $\omega_{hm}^5$  — вес  $h$ -го вторичного информационного образовательного ресурса  $m$ -го образовательного учреждения принимаем равным  $h$ -ой компоненте вновь вычисленного предельного вектора  $r = R \cdot q$ .

Теперь мы можем перенормировать вектор-столбцы  $R_j$  (каждый из которых — суть набор оценок конкретного эксперта  $j$  объектов оценивания) матрицы  $R$ , так, что нулевое значение шкалы каждого эксперта сместится в точку среднего арифметического, а дисперсия этого вектора станет равна 1 после деления его на среднеквадратичное отклонение. В этом случае, как известно, произведение  $RR'$  — суть матрица коэффициентов корреляции векторов  $R_j$ , а максимальное собственное число  $\lambda$  — дисперсия главного фактора  $q$ .

Таким образом, представленные выше вычисления — одна из формулировок результатов т.н. теории количественного факторного анализа.

### 2.5 Результаты расчетов

Для каждого из пяти вариантов определения весов показателей критерия оценки эффективности использования вторичных информационных образовательных ресурсов (четыре - статистическими методами, один - экспертным) были получены интегральные оценки эффективности использования ИНОР, интегральные рейтинги сельскохозяйственных ВУЗов (таб. 9), результаты которых показывают, что оценки (максимально возможная оценка согласно методике равна единице) даже лучших ВУЗов не превышают 45%.

Таблица 9. Оценки эффективности использования ИНОР и рейтинги ВУЗов

Наименование ВУЗа	Корреляционные расчёты	Коэффициент конкордации	Вероятностная модель	Матрица компетентности	Экспертные оценки	Итоговый Рейтинг
Кубанский ГАУ	42,08/1	36,98/1	37,03/1	37,09/1	44,87/1	1
Орловский ГАУ	39,32/2	34,35/2	34,3/2	34,34/2	33,16/2	2
Красноярский ГАУ	31,29/4	31,35/3	31,18/3	31,25/3	29,46/3	3
РГАУ–МСХА	37,51/3	28,28/4	28,26/4	28,31/4	28,99/4	4
Кемеровский ГАУ	28,82/5	26,76/5	26,88/5	26,86/5	27,54/5	5
Белгородский ГАУ	28,81/6	26,75/6	26,67/6	26,73/6	23,43/6	6
Казанский ГАУ	26,71/9	26,21/7	26,01/7	26,08/7	22,08/7	7
Новосибирский ГАУ	28,08/7	25,88/8	26,01/8	25,95/8	21,9/8	8
Саратовский ГАУ	27,61/8	25,59/9	25,79/9	25,76/9	21,73/9	9
Волгоградский ГАУ	25,64/10	24,91/10	25,08/10	24,98/10	21,08/10	10
Вятский ГАУ	25,28/11	24,35/11	24,37/11	24,5/11	20,42/11	11
Вологодская ГМХА	24,6/13	23,78/12	23,91/12	23,9/12	19,66/12	12
Брянский ГАУ	23,18/14	22,54/13	22,79/13	22,79/13	18,91/13	13
Великолукская ГСХА	22,38/15	22,33/14	22,46/14	22,51/14	18,27/14	14
Мичуринский ГАУ	25,08/12	22,17/15	22,14/15	22,3/15	17,98/15	15
Пензенская ГСХА	21,74/17	21,89/16	21,98/16	22,05/16	17,71/16	16
Бурятская ГСХА	21,19/18	21,76/17	21,9/17	21,95/17	17,38/17	17
Пермская ГСХА	21,79/16	21,38/18	21,55/18	21,67/18	17,21/18	18
Башкирский ГАУ	20,23/24	21,16/19	21,18/19	21,27/19	16,94/19	19
Санкт-Петербургский ГАУ	19,82/25	21,05/20	21,15/20	21,24/20	16,75/20	20
Курская ГСХА	20,75/20	21,02/21	21,07/21	21,18/21	15,88/21	21
Нижегородская ГСХА	20,73/22	20,98/22	21,05/22	21,09/22	15,82/22	22
Чувашская ГСХА	20,74/21	20,82/23	20,83/23	20,87/23	15,57/23	23
Омский ГАУ	21,08/19	20,4/24	20,35/24	20,36/24	15,33/24	24
Ставропольский ГАУ	17,51/35	20,22/25	20,26/25	20,34/25	14,79/25	25
Алтайский ГАУ	20,33/23	19,74/26	19,65/26	19,74/26	14,66/26	26

Донской ГАУ	18,2/30	19,54/27	19,64/27	19,69/27	14,5/27	27
Московская ГАВМиБ	19,01/29	19,1/28	19,05/28	19,11/28	14,34/28	28
Иркутский ГАУ	19,03/28	18,74/29	18,83/29	18,92/29	14,06/29	29
Курганская ГСХА	19,1/27	18,74/30	18,8/30	18,85/30	13,87/30	30
Ульяновская ГСХА	15,83/38	17,97/31	18,04/31	18,08/31	13,75/31	31
Оренбургский ГАУ	19,36/26	17,88/32	17,96/32	17,99/32	13,27/32	32
Самарская ГСХА	17,55/34	17,52/33	17,87/33	17,73/33	13,06/33	33
Ярославская ГСХА	17,64/33	17,51/34	17,53/34	17,57/34	12,92/34	34
Приморская ГСХА	17,96/31	17,32/35	17,39/35	17,46/35	12,86/35	35
Дальневосточный ГАУ	16,03/37	17,17/36	17,29/36	17,34/36	12,77/36	36
ГУЗ	15,66/40	17/37	17,11/37	17,12/37	12,35/37	37
Рязанский ГАТУ	17,77/32	16,95/38	17,06/38	17,11/38	12,31/38	38
Якутская ГСХА	16,06/36	16,9/39	17,03/39	16,89/40	12,01/39	39
Уральский ГАУ	15,52/41	16,79/40	16,55/41	17,01/39	11,96/40	40
Ивановская ГСХА	15,43/42	16,6/41	16,84/40	16,56/41	11,85/41	41
Костромская ГСХА	15,69/39	16,18/42	16,2/42	16,25/42	11,55/42	42
Воронежский ГАУ	15,12/44	15,92/43	16,19/43	16,1/43	11,35/43	43
Южно-Уральский ГАУ	15,29/43	15,78/44	16,07/44	16,01/44	11,22/44	44
Ижевская ГСХА	14,97/45	14,99/45	15,07/45	15,09/45	11,09/45	45
ГАУ Северного Зауралья	14,7/46	14,98/46	15,04/46	14,99/46	10,29/46	46
Санкт.-Петербургская ГАВМ	10,81/50	14,85/47	14,95/47	14,98/47	9,98/47	47
Российский ГАЗУ	12,57/48	14,22/48	14,42/48	14,42/48	9,5/48	48
Казанская ГАВМ	13,75/47	14,21/49	14,31/49	14,34/49	9,44/49	49
Кабардино-Балкарский ГАУ	11,44/49	12,24/50	12,42/50	12,42/50	9,08/50	50
Горский ГАУ	8,13/52	11,62/51	11,94/51	11,86/51	8,2/51	51
Смоленская ГСХА	8,33/51	10,91/52	11,09/52	11,01/52	7,77/52	52
Тверская ГСХА	7,39/53	9,39/53	9,61/53	9,64/53	5,92/53	53
Дагестанский ГАУ	5,62/54	5,62/54	5,62/54	5,62/54	4,9/54	54

Высокая согласованность всех рейтингов позволяет использовать в дальнейшем либо средние оценки и рейтинги из них, либо один из них. Мы остановимся на данных из колонки расчётов по коэффициенту конкордации Кендалла, поскольку далее этот метод будем использовать при сопоставлении различных региональных рейтингов и рейтингов ВУЗов.

### 3. Результаты анализа сайтов и расчетов оценок/рейтингов сельскохозяйственных ВУЗов

Исследования показали, что в целом полнота сайтов ещё очень далека от оптимальной, в среднем на сайтах присутствует чуть более половины (55,4%) всей необходимой информации. Полнота показателей, отражающих научно-исследовательскую деятельность, составляет всего 18,3%, что подтверждает предположение, что в требованиях, предъявляемых к сайтам ВУЗов Минобрнауки, Рособрандзор, существует недооценка научной деятельности ВУЗов. Интегральные оценки (таб. 10) эффективности использования ИНОР (максимально возможная оценка согласно методике равна единице) даже лучших ВУЗов не превышают 40% (Кубанский ГАУ – 39,15%, Орловский ГАУ - 38,23%, РГАУ–МСХА - 32,58%, Красноярский ГАУ - 30,89%).

Таблица 10. Интегральные оценки (%) эффективности использования региональных ИНОР и рейтинги сельскохозяйственных ВУЗов

Наименование ВУЗа	Оценка	Рейтинг	Наименование ВУЗа	Оценка	Рейтинг
Кубанский ГАУ	39.15	1	Бурятская ГСХА	22.58	28
Орловский ГАУ	38.23	2	Алтайский ГАУ	22.20	29
РГАУ–МСХА	32.58	3	Ивановская ГСХА	21.30	30
Красноярский ГАУ	30.89	4	Курская ГСХА	21.09	31
Новосибирский ГАУ	30.44	5	Курганская ГСХА	21.01	32
Кемеровский ГАУ	30.34	6	ГУЗ	20.84	33
Брянский ГАУ	29.45	7	Ижевская ГСХА	20.57	34
Белгородский ГАУ	29.44	8	Приморская ГСХА	20.39	35
Казанский ГАУ	28.29	9	Самарская ГСХА	19.75	36
Саратовский ГАУ	27.49	10	Оренбургский ГАУ	19.69	37
Московская ГАВМиБ	26.41	11	Ярославская ГСХА	19.69	38

Наименование ВУЗа	Оценка	Рейтинг	Наименование ВУЗа	Оценка	Рейтинг
Пензенская ГСХА	26.30	12	Воронежский ГАУ	19.04	39
Волгоградский ГАУ	26.12	13	Рязанский ГАУ	19.03	40
Башкирский ГАУ	25.66	14	Дальневосточный ГАУ	18.95	41
Санкт-Петербургский ГАУ	25.06	15	Иркутский ГАУ	18.92	42
Вятский ГАУ	24.63	16	Казанская ГАВМ	18.80	43
Омский ГАУ	24.59	17	Санкт-Петербургская ГАВМ	18.50	44
Вологодская ГМХА	24.39	18	Южно-Уральский ГАУ	18.46	45
Донской ГАУ	24.29	19	Кабардино-Балкарский ГАУ	17.78	46
Мичуринский ГАУ	24.22	20	Якутская ГСХА	17.08	47
Ставропольский ГАУ	24.21	21	Костромская ГСХА	16.86	48
Уральский ГАУ	23.83	22	ГАУ Северного Зауралья	16.69	49
Великолукская ГСХА	23.71	23	Горский ГАУ	15.78	50
Нижегородская ГСХА	23.36	24	Российский ГАЗУ	15.49	51
Чувашская ГСХА	23.29	25	Смоленская ГСХА	15.33	52
Ульяновская ГСХА	23.17	26	Дагестанский ГАУ	12.68	53
Пермская ГСХА	22.89	27	Тверская ГСХА	5.62	54

#### 4. Влияние информационных научно-образовательных ресурсов ВУЗов на социально-экономическое положение регионов

Сопоставим сначала рейтинги ВУЗов с различными региональными рейтингами, отражающими социально-экономическое положение регионов (таб. 11).

Таблица 11. Региональные рейтинги и ссылки на их размещение в Интернете

№ п/п	Название регионального рейтинга	Ссылка
1	Рейтинг социально-экономического развития (2014 год)	<a href="http://riarating.ru/infografika/20150616/610658857.html">http://riarating.ru/infografika/20150616/610658857.html</a>
2	Рейтинг субсидирования регионов МСХ (2014 год)	<a href="http://www.dairynews.ru/dairyfarm/rejting-regionov-subsidii-2014-v-kogo-verit-minsel.html">http://www.dairynews.ru/dairyfarm/rejting-regionov-subsidii-2014-v-kogo-verit-minsel.html</a>
3	Рейтинг эффективности сельхозпроизводства в регионах (2009 год)	<a href="http://cyberleninka.ru/article/n/rejting-regionov-rossii-po-effektivnosti-selskohozyaystvennogo-proizvodstva">http://cyberleninka.ru/article/n/rejting-regionov-rossii-po-effektivnosti-selskohozyaystvennogo-proizvodstva</a>
4	Рейтинг эффективности губернаторов регионов (2015 год)	<a href="http://civilfund.ru/mat/95">http://civilfund.ru/mat/95</a>
5	Рейтинг развития науки в регионах	<a href="http://riarating.ru/regions_rankings/20150324/610650317.html">http://riarating.ru/regions_rankings/20150324/610650317.html</a>

Ниже данные рейтинги будут упоминаться по их номерам (от 1 до 5), рейтингу ВУЗов в таблицах ниже присвоен номер 6. Сводная таблица региональных рейтингов приведена в таб. 12.

Таблица 12. Сводная таблица региональных рейтингов

№ п/п	Регион	Сельскохозяйственный ВУЗ	Рейтинг					
			1	2	3	4	5	6
1	Алтайский край	Алтайский ГАУ	28	6	10	39	29	25
2	Амурская область	Дальневосточный ГАУ	3	36	11	23	23	36
3	Белгородская область	Белгородский ГАУ	10	1	9	1	35	7
4	Брянская область	Брянский ГАУ	35	2	34	17	36	6
5	Волгоградская область	Волгоградский ГАУ	40	20	27	5	26	10
6	Вологодская область	Вологодская ГМХА	42	40	38	27	41	14
7	Воронежская область	Воронежский ГАУ	22	4	5	7	10	34
8	Ивановская область	Ивановская ГСХА	26	44	41	18	32	26
9	Иркутская область	Иркутский ГАУ	14	33	33	42,5	20	37
10	Кабардино-Балкарская Республика	Кабардино-Балкарский ГАУ	33	30	31	30,5	31	39
11	Кемеровская область	Кемеровский ГАУ	1	38	7	3	42	5
12	Кировская область	Вятский ГАУ	46	25	24	36,5	27	12

13	Костромская область	Костромская ГСХА	36	46	44	24	46	41
14	Краснодарский край	Кубанский ГАУ	38	3	4	4	30	1
15	Красноярский край	Красноярский ГАУ	13	24	3	36,5	2	3
16	Курганская область	Курганская ГСХА	41	34	19	39	38	28
17	Курская область	Курская ГСХА	29	5	22	30,5	9	27
18	Нижегородская область	Нижегородская ГСХА	17	26	14	20	1	20
19	Новосибирская область	Новосибирский ГАУ	45	13	6	30,5	13	4
20	Омская область	Омский ГАУ	19	15	21	39	18	13
21	Оренбургская область	Оренбургский ГАУ	44	16	23	12	33	32
22	Орловская область	Орловский ГАУ	8	17	36	33	40	2
23	Пензенская область	Пензенская ГСХА	7	18	30	25,5	8	9
24	Пермский край	Пермская ГСХА	43	32	20	44,5	3	23
25	Приморский край	Приморская ГСХА	21	41	35	10	17	30
26	Псковская область	Великолукская ГСХА	27	19	45	15	44	19
27	Республика Башкортостан	Башкирский ГАУ	6	11	8	8,5	16	11
28	Республика Бурятия	Бурятская ГСХА	16	43	37	21,5	37	24
29	Республика Дагестан	Дагестанский ГАУ	15	28	40	6	45	45
30	Республика Саха (Якутия)	Якутская ГСХА	12	42	18	16	25	40
31	Республика Северная Осетия – Алания	Горский ГАУ	39	45	43	42,5	43	43
32	Ростовская область	Донской ГАУ	31	8	13	11	21	15
33	Рязанская область	Рязанский ГАУ	5	14	2	28	11	35
34	Самарская область	Самарская ГСХА	18	29	29	14	4	31
35	Саратовская область	Саратовский ГАУ	24	12	28	13	22	8
36	Свердловская область	Уральский ГАУ	2	21	25	25,5	6	18
37	Смоленская область	Смоленская ГСХА	25	31	42	34,5	39	44
38	Ставропольский край	Ставропольский ГАУ	37	7	15	21,5	34	17
39	Тамбовская область	Мичуринский ГАУ	23	10	16	30,5	28	16
40	Тверская область	Тверская ГСХА	32	22	46	44,5	14	46
41	Тюменская область	ГАУ Северного Зауралья	30	39	1	2	19	42
42	Удмуртская Республика	Ижевская ГСХА	4	23	17	41	24	29
43	Ульяновская область	Ульяновская ГСХА	34	35	26	34,5	15	22
44	Челябинская область	Южно-Уральский ГАУ	9	9	39	8,5	7	38
45	Чувашская Республика	Чувашская ГСХА	11	37	12	19	12	21
46	Ярославская область	Ярославская ГСХА	20	27	32	46	5	33

Как видно, в таблице представлены не все 54 ВУЗа из таблицы рейтингов сельскохозяйственных ВУЗов. Были исключены из списка 8 ВУЗов, представляющих Москву, Санкт-Петербург и Республику Татарстан, так как эти регионы в рейтингах ВУЗов представлены несколькими ВУЗами, рейтинги которых сильно отличаются друг от друга, и потому нет возможности корректно вычислить рейтинг этих регионов в сводной таблице рейтингов ВУЗов.

Для установления связи между приведёнными выше рейтингами используем два наиболее известных метода.

Первый относится к расчету попарных связей между рангами или коэффициентов корреляции Спирмена [15], которые рассчитываются по формуле:

$$\rho = 1 - \frac{6 \cdot \sum d^2}{n(n^2 - 1)}, \text{ где } d \text{ — разность двух рангов, } n \text{ — число пар рангов.}$$

Матрица рассчитанных попарных коэффициентов корреляции Спирмена представлена ниже в таб. 13.

Таблица 13. Матрица коэффициентов корреляции Спирмена региональных рейтингов

Рейтинги	1	2	3	4	5	6
1	-	<0.001	0.17	0.17	0.25	-0.005
2	-	-	0.35*	0.18	0.19	0.44**
3	-	-	-	0.22	0.36*	0.35*
4	-	-	-	-	0.15	0.17
5	-	-	-	-	-	0.02
6	-	-	-	-	-	-

*Примечание. В таблице выше знаком «\*» помечены значения, которые статистически значимы с вероятностью <5%, знаком «\*\*» - с вероятностью <1%. Значения остальных коэффициентов статистически значимы с вероятностью >5%.*

Типичная интерпретация полученных коэффициентов корреляции Спирмена такова: от 0,3 и менее – слабая теснота связи; от 0,3 до 0,7 – умеренная теснота связи; свыше 0,7 – высокая теснота связи.

Как видно, только для четырех пар значения коэффициентов достаточно велики (умеренная связь) и статистически значимы с вероятностью <5%. Только для пар 2 и 6 (рейтинги субсидирования регионов и рейтинги ВУЗов) значения коэффициента корреляции Спирмена указывают на умеренную связь и статистически значимы с вероятностью <1%.

Второй метод - вычисление т.н. коэффициента конкордации Кендалла. Данный коэффициент характеризует степень близости ранжирований (в данном случае региональных рейтингов). Коэффициент конкордации Кендалла [15] вычисляется по формуле:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}m^2(n^3 - n) - m\sum T_i}, \text{ где в нашем случае } n=46, m=6, S = \sum_{i=1}^n d_i^2. \text{ Для значений } d_i \text{ имеет место}$$

формула  $d_i = \sum_j x_{ij} - \frac{\sum_j x_{ij}}{n}$ , где  $x_{ij}$  — матрица значений рангов.

$$\text{В нашем случае } \frac{\sum_i \sum_j x_{ij}}{n} = 141, S = 92745.5, n = 46, m = 6, T_i = \frac{1}{12} \sum_{l=1}^{L_i} t_l^3 - t_l,$$

где  $L_i$  – число связок (видов повторяющихся элементов) в  $i$ -ом рейтинге,  $t_l$  - количество элементов в  $l$ -ой связке для  $i$ -го рейтинга. В нашем случае одинаковые элементы встречаются только в 4-ом рейтинге, поэтому:

$$T_4 = [(3^3 - 3) + (2^3 - 2) + (4^3 - 4) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2)] / 12 = 10.5$$

$$\sum_i T_i = 10.5, W = \frac{92745.5}{\frac{1}{12}6^2(46^3 - 46) - 6 \cdot 10.5} = 0.32.$$

Величина коэффициента конкордации Кендалла  $W = 0.32$  говорит о наличии слабой степени согласованности рейтингов, представленных в списке.

Для оценки значимости вычисленного коэффициента вычислим критерий согласования Пирсона [15]:

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12}mn(n+1) + \frac{1}{n-1}\sum_i T_i} = \frac{92745.5}{\frac{1}{12}6 \cdot 46 \cdot (46+1) + \frac{1}{46-1}10.5} = 85.81.$$

Вычисленный  $\chi^2$  сравним с табличным значением для числа степеней свободы равного  $K = n-1 = 45$  при заданном уровне значимости  $\alpha = 0.05$ . Так как расчётный  $\chi^2$  (85.81) больше табличного (61.65623), то полученный коэффициент статистической значимости находится на уровне  $\alpha = 0.05$ .

Таким образом, региональные рейтинги слабо (однако статистически значимо на уровне  $\alpha = 0.05$ ) связаны друг с другом. Исключение (весьма условное) составляют пары рейтингов по субсидированию регионов и эффективности сельхозпроизводства с рейтингами сельскохозяйственных ВУЗов. Это, впрочем, следовало ожидать, так как из всех рейтингов только два указанных рейтинга имеют непосредственное отношение к сельскому хозяйству.

Для стимулирования совершенствования трансфера научных знаний в экономику в дальнейшем необходимо включить в методику оценки результатов научно-образовательной деятельности показатель, отражающий взаимосвязь полученного выше рейтинга регионального ВУЗа и ряда региональных рейтингов, характеризующих его социально-экономическое положение.

Тогда обобщенная оценка результатов научной деятельности  $m$ -го ВУЗа, находящегося в  $t$ -ом регионе  $P_0^{tm}$  определим следующим образом  $P_0^{tm} = d_1 P^{tm} + d_2 (\sum_{k=1}^V v_k^t) / V$ , где  $v_k^t$  -  $k$ -ый региональный рейтинг (в %) в  $t$ -ом регионе,  $P^{tm}$  - общий рейтинг  $m$ -го ВУЗа, находящегося в  $t$ -ом регионе,  $V$  - количество региональных рейтингов,  $d_1$  и  $d_2$  положительные числа, отражающие веса слагаемых,  $d_1 + d_2 = 1$ .

### Выводы

Переход к типовым сайтам ВУЗов позволит разработать независимую, малозатратную, автоматизированную методику оценки деятельности их, в частности, эффективности использования ИНОР, единую, как для ВУЗов, так и для НИУ, что обусловлено наличием измеримых и сравнимых показателей, находящихся в единой базе данных.

Интеграция информационных научно-образовательных ресурсов в рамках ЕИИП НОР с размещением в облаке у одного провайдера под управлением мощной СУБД на основе единых классификаторов позволит в дальнейшем, по мере накопления статистической информации, применить и другие методы оценки эффективности использования информационных научно-образовательных ресурсов. Например, после объединения информационных систем ГНИ и ПФР с присвоением кодов ИНН с рождением человека, можно будет отслеживать трудоустройство выпускника ВУЗа по отраслевому признаку. В дальнейшем можно отследить как его карьерный рост, так и переходы из отрасли в отрасль. При интеграции ИНОР ВУЗов и НИИ можно будет оценивать влияние выпускников на развитие науки в отраслях и стране. В качестве первого шага необходимо, чтобы Минобрнауки Российской Федерации, Рособрназор включило показатели ИНОР в требования, предъявляемые к информационному наполнению сайтов образовательных учреждений и НИИ, поскольку ВУЗы и НИИ игнорируют размещение ИНОР на сайтах в удобном для большинства пользователей виде.

### Литература:

1. Российские ученые должны быть обеспечены всеми необходимыми информационными ресурсами. [Электронный ресурс]. – URL: [https://minobrnauki.gov.ru/ru/press-center/card/?id\\_4=2241](https://minobrnauki.gov.ru/ru/press-center/card/?id_4=2241) (дата обращения 16.12.2019).
2. Медеников В.И. Математическая модель формирования цифровых платформ управления экономикой страны // Цифровая экономика, 2019, № 1, стр. 25-35.
3. Россия стала 39-й из 70 стран по показателю владения английским языком [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rbc.ru/economics/03/11/2015/563866969a79474acfd69663> (дата обращения 16.12.2019).
4. Лишь 14% российских кандидатов и докторов наук свободно владеют английским [Электронный ресурс]. – URL: <https://philologist.livejournal.com/10604467.html> (дата обращения 16.12.2019).
5. Erik Brynjolfsson, Lorin Hitt, Shinkyu Yang. Intangible Assets: Computers and Organizational Capital // Brookings Papers on Economic Activity, Vol.2, No.1, 2002.
6. Медеников В.И., Муратова Л.Г., Сальников С.Г. Модели и методы формирования единого информационного интернет-пространства аграрных знаний. Москва. Издательство ГУЗ. 2014.
7. Ерешко Ф.И., Медеников В.И., Сальников С.Г. Проектирование единого информационного Интернет-пространства страны. Бизнес в законе. Экономико-юридический журнал. Выпуск №6 2016 г., стр. 184-187.
8. Зацаринный А.А. Цифровая платформа для научных исследований. Материалы Международной научной конференции «Математическое моделирование и информационные технологии в инженерных и бизнес-приложениях». Воронеж, 3–6 сентября 2018, стр. 104-113.
9. Медеников В.И., Сальников С.Г., Муратова Л.Г. и др. Методика оценки эффективности использования информационных научно-образовательных ресурсов. – М.: Аналитик, 2017. – 250 с.
10. Гузаева М.Ю. Использование информационных ресурсов науки и образования для повышения эффективности реализации новых форм обучения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pedsovet.su/publ/164-1-0-1048/> (дата обращения: 30.05.2016)
11. Сироткин Г.В. Когнитивная модель новой системы управления качеством образования вуза в целом. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/kognitivnaya-model-novoy-sistemy-upravleniya-kachestvom-obrazovaniya-vuza-v-tselom.pdf> (дата обращения: 30.11.2019).
12. Сироткин Г.В. Системный анализ факторов качества образования в вузе. «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии». — 2013. — № 2 (22) — С. 109—118
13. Славин А.В. Практика разработки оценочных средств качества образовательных программ, реализуемых на основе ФГОС. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://expert-nica.ru/library/sbornik2013/IV%20part/Slavin%20AB.pdf> (дата обращения: 30.11.2019).
14. Миркин Б.Г. Проблемы группового выбора. – М.: Наука, 197. – 256с.
15. Айвазян С.А. Теория вероятностей и прикладная статистика. – М.: ЮНИТИ –ДАНА, 2001.

### References in Cyrillics

1. Rossiyskiye uchenyye dolzhny byt obespecheny vsemi neobkhodimymi informatsionnymi re-sursami. [Elektronnyy resurs]. – URL: [https://minobrnauki.gov.ru/ru/press-center/card/?id\\_4=2241](https://minobrnauki.gov.ru/ru/press-center/card/?id_4=2241) (data obrashcheniya 16.12.2019).
2. Medennikov V.I. Matematicheskaya model formirovaniya tsifrovoykh platform upravleniya ekonomikoy strany. // Tsifrovaya ekonomika. 2019. № 1. str. 25-35.

3. Rossiya stala 39-y iz 70 stran po pokazatelyu vladeniya angliyskim yazykom. [Elektronnyy resurs]. – URL: <https://www.rbc.ru/economics/03/11/2015/563866969a79474acfd69663> (data obrashcheniya 16.12.2019).
4. Lish 14% rossiyskikh kandidatov i doktorov nauk svobodno vladeyut angliyskim. [Elektronnyy resurs]. – URL: <https://philologist.livejournal.com/10604467.html> (data obrashcheniya 16.12.2019).
5. Erik Brynjolfsson, Lorin Hitt, Shinkyu Yang. Intangible Assets: Computers and Organizational Capital // Brookings Papers on Economic Activity. Vol.2. No.1. 2002
6. Medennikov V.I., Muratova L.G., Salnikov S.G. Modeli i metody formirovaniya edinogo informatsionnogo internet-prostranstva agrarnykh znaniy. Moskva. Izdatelstvo GUZ. 2014.
7. Ereshko F.I., Medennikov V.I., Salnikov S.G. Proyektirovaniye edinogo informatsionnogo Internet-prostranstva strany. Biznes v zakone. Ekonomiko-yuridicheskiy zhurnal. Vypusk №6 2016 g., str. 184-187.
8. Zatsarinnyy A.A. Tsifrovaya platforma dlya nauchnykh issledovaniy. Materialy Mezhduna-rodnoy nauchnoy konferentsii Matematicheskoye modelirovaniye i informatsionnyye tekhnologii v inzhenernykh i biznes-prilozheniyakh". Voronezh. 3–6 sentyabrya 2018. str. 104-113.
9. Medennikov V.I., Salnikov S.G., Muratova L.G. i dr. Metodika otsenki effektivnosti is-polzovaniya informatsionnykh nauchno-obrazovatelnykh resursov. – M.: Analitik. 2017. – 250 s.
10. Guzayeva M.Yu. Ispolzovaniye informatsionnykh resursov nauki i obrazovaniya dlya povyshe-niya effektivnosti realizatsii novykh form obucheniya. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim do-stupa: <http://pedsovet.su/publ/164-1-0-1048/> (data obrashcheniya: 30.05.2016)
11. Sirotkin G.V. Kognitivnaya model novoy sistemy upravleniya kachestvom obrazovaniya vuza v tselom. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://cyberleninka.ru/article/n/kognitivnaya-model-novoy-sistemy-upravleniya-kachestvom-obrazovaniya-vuza-v-tselom.pdf> (data obrashcheniya: 30.11.2019).
12. Sirotkin G.V. Sistemnyy analiz faktorov kachestva obrazovaniya v vuze. «Prikspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokieye tekhnologii». — 2013. — № 2 (22) — S. 109—118
13. Slavin A.V. Praktika razrabotki otsenochnykh sredstv kachestva obrazovatelnykh programm. realizuyemykh na osnove FGOS. [Elektronnyy resurs]. — Rezhim dostupa: <http://expert-nica.ru/library/sbornik2013/IV%20part/Slavin%20AB.pdf> (data obrashcheniya: 30.11.2019).
14. Mirkin B.G. Problemy gruppovogo vybora. – M. : Nauka. 197. – 256s.
15. Ayvazyan S.A. Teoriya veroyatnostey i prikladnaya statistika. – M.: YuNITI –DANA. 2001.

*Victor Medennikov (dommed@mail.ru)*

#### **Ключевые слова**

Методика, эффективность использования, информационные научно-образовательные ресурсы, информационные технологии, критерий оценки.

#### ***Victor Medennikov. A mathematical model for evaluating universities in the digital transformation of the economy***

#### **Keywords**

Methodology, efficiency of use, informational scientific and educational resources, information technology, evaluation criterion.

DOI: 10.34706/DE-2019-04-05

JEL classification C02 Математические методы

#### **Abstract**

the paper discusses the methodology for assessing the effectiveness of the use of informational scientific and educational resources represented in the Internet space. The methodology takes into account both the requirements for information content on the websites of educational institutions of the Ministry of Education and Science, Rosobrnadzor, and the demand for these resources in the economy, their impact on the quality of training of qualification specialists and scientists in educational institutions. To improve the transfer of scientific knowledge into the economy, it is proposed to include in the methodology an indicator reflecting the relationship of the received university ratings and a number of regional ratings characterizing the socio-economic situation in the regions. It is shown that the standardization of the presentation of informational scientific and educational resources in the digital economy allows us to create a single information Internet space for scientific and educational resources, giving access to them for a wide range of users: students, scientists, managers, business, the public.

## 2. ПЕРЕВОДЫ

### 2.1. ВВЕДЕНИЕ В МАТЕМАТИКУ КВАНТОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Дэвид Оррелл, Системное прогнозирование  
Последнее обновление оригинала 6 июля 2019.<sup>1</sup>

*Этот документ задуман как техническое введение в математику, используемую в квантовой экономике, и предлагается в качестве дополнения к книге «Квантовая экономика: новая наука о деньгах». Ключевые идеи квантовой экономики не опираются на уравнения. Однако квантовый формализм является математическим, поэтому для полного использования его идей некоторая математика полезна. Преследуемая здесь цель – набросать способ, которым экономика может быть представлена математически с использованием квантового формализма, показать преимущества перед классическим подходом и уточнить смысл утверждения о том, что экономика сама по себе может рассматриваться как квантовая система.*

*(1) Используйте математику как сокращенный язык, а не как инструмент исследования. (2) Придерживайтесь ее, пока вы не доделали работу. (3) переведите на английский язык. (4) затем проиллюстрируйте важными примерами из реальной жизни. (5) сожгите математику.*

Альфред Маршалл, 1906<sup>2</sup>

*Слишком большая часть современной "математической" экономики – это просто выдумки, столь же неточные, как и исходные предположения, на которых они основываются, они позволяют автору упустить из виду сложности и взаимозависимости реального мира в лабиринте претенциозных и бесполезных символов.*

Джон Мейнард Кейнс, 1936<sup>3</sup>

*Природа – не классическая, черт возьми, и, если вы хотите создать модель природы, вам лучше сделать ее квантово-механической.*

Ричард Фейнман, 1981<sup>4</sup>.

#### 1. Введение

Этот документ задуман как техническое введение в математику, используемую в квантовой экономике, и предлагается в качестве дополнения к книге «Квантовая экономика: новая наука о деньгах». Как видно из приведенных выше цитат, экономика – это не то же самое, что математическое доказательство, а потому ключевые идеи квантовой экономики, такие как квантовая теория денег и стоимости, не опираются на уравнения. Однако квантовый формализм является математическим, поэтому для полного использования его идей некоторая математика полезна (даже если она впоследствии сжигается). Преследуемая здесь цель – набросать способ, которым экономика может быть представлена математически с использованием квантового формализма, показать преимущества перед классическим подходом и уточнить (по крайней мере, для тех, кто немного знает базовую матричную алгебру), что значит сказать, что экономика сама по себе может рассматриваться как квантовая система.

Квантовый подход к экономике вдохновлен тем эмпирическим фактом, что денежная система проявляет квантовые свойства, такие как дискретность, неопределенность, запутанность и т. д. Поэтому, по выражению Фейнмана, моделирование должно быть квантово-механическим в том смысле, что оно отражает эти свойства (даже если оно непосредственно не использует квантовый формализм). Поэтому дело не в том, что квантовый подход будет лучшим методом для моделирования каждого аспекта экономики, а в том, что экономика имеет квантовые свойства, которые, возможно, необходимо учитывать (явно или неявно) в зависимости от контекста.

Пример из физики: синоптики не основывают свои модели на квантовой механике, но они основывают их на сложных свойствах воды, возникающих из квантовой механики. Таким образом, главный урок в данном случае заключается в том, что квантовые свойства молекул воды приводят к очень сложным

<sup>1</sup> Предлагается цитировать оригинал как: Orrell, D. (6 July 2019), Introduction to the mathematics of quantum economics. Retrieved from <http://www.postpythagorean.com/quantumeconomicmath.pdf>

<sup>2</sup> «(6) Если вы успешны в (4), сожгите (3). Я всегда так делаю.» Письмо к A.L. Bowley, 27 февраля 1906.

<sup>3</sup> Из книги The General Theory of Employment, Interest and Money.

<sup>4</sup> Из речи 1981 года "Simulating Physics with Computers" on the idea of a quantum computer.

эмерджентным свойствам на глобальном уровне, которые противятся спуску на более низкий уровень. Поэтому в экономическом моделировании можно сделать вывод, что экономическое поведение должно моделироваться на соответствующем уровне, тогда квантовые свойства не выпячиваются. С другой стороны, в физике такая технология, как атомная бомба, масштабирует квантовые свойства до макроуровня. Точно так же деньги – это разработанная технология, и ее свойства иногда расширяются, чтобы повлиять на экономику в целом, например, через такие явления, как создание денег частными банками.

Модели в конечном счете оправдываются их успехом в объяснении и прогнозировании данных. Хотя основное внимание здесь уделяется представлению основных теоретических инструментов и демонстрации того, как они соотносятся с природой экономических операций, а не с конкретными результатами, следует отметить, что области квантового познания и квантовых финансов в значительной степени эмпирические, основывающие свои результаты на экспериментальных данных для первых и рыночных данных для последних. Более широкая область квантовой экономики – работа с эмерджентными свойствами сложной системы – включает в себя помимо этого различные методы, основанные на сложности, от агентных моделей до системной динамики, которые также были эмпирически проверены (исключение составляют квантовые агентные модели, которые, насколько мне известно, еще не разработаны для экономики). Однако наиболее очевидным эмпирическим аргументом в пользу квантового подхода является просто природа денег, для которой наличие квантовых свойств уже признано. Для получения дополнительной информации см. книгу<sup>5</sup> и ссылки в ней.

Схема документа выглядит следующим образом. В разделе 2 представлена идея гильбертова пространства и показано на примере человеческого познания, как квантовая вероятность отличается от ее классической версии. В разделе 3 показано, где разрушаются классические подходы к познанию, используемые в поведенческой экономике, а в разделе 4 квантовый подход иллюстрируется на двух примерах. В разделе 5 обсуждается процедура квантования для динамической системы, она применяется к парадигматическому примеру квантового гармонического осциллятора. В разделе 6 те же идеи используются для разработки квантовой модели рынка, где акции и наличные деньги теперь занимают место бозонов. В разделе 7 исследуется квантовое представление спроса и предложения. В разделе 8 этот динамический анализ распространяется на производство и потребление и показано, как можно построить квантовые модели для более общих применений. В разделе 9 обсуждается концепция запутанности, а в разделе 10 обобщаются основные выводы.

## 2. Некоторые основы

Пожалуй, самым важным математическим инструментом в квантовой теории – концепция гильбертова пространства, получившая свое название в честь немецкого математика Давида Гильберта (1862-1943). Она была разработана как абстрактный математический объект в первом десятилетии двадцатого века, а затем была принята исследователями в квантовой физике. Социологи теперь следуют их примеру, применяя её к проблемам в таких областях, как принятие решений и финансы, что и показано ниже<sup>6</sup>.

Гильбертово пространство  $H$  – это тип векторного пространства, элементы которого, обозначаемые  $|u\rangle$ , имеют коэффициенты, которые могут быть комплексными числами. Двойственное состояние  $\langle u|$  является комплексным сопряжением транспонирования  $|u\rangle$ . Скалярное произведение между двумя элементами  $\langle u|$  и  $|v\rangle$  обозначается  $\langle u|v\rangle$  аналогично скалярному произведению в нормальном векторном пространстве, с той разницей, что результат снова может быть комплексным. Внешнее произведение обозначается  $|u\rangle\langle v|$  и похоже на умножение вектора столбца на вектор строки, которое дает матрицу. Величина элемента  $|u\rangle$  задается через  $\sqrt{\langle u|u\rangle}$ , и два элемента ортогональны, если  $\langle u|v\rangle = \langle v|u\rangle = 0$ . Поэтому гильбертово пространство можно рассматривать как обобщение евклидова пространства с той разницей, что у него может быть бесконечное число измерений, базис не обязательно должен состоять просто из векторов столбцов, а коэффициенты могут быть комплексными.

Оператор  $\hat{A}$  – это отображение, которое переводит один элемент  $|u\rangle$  из  $H$  в другой элемент  $\hat{A}|u\rangle$  из  $H$ . Например, оператор проекции, определяемый как  $\hat{P}_u = |u\rangle\langle u|$ , и  $\hat{P}_u|v\rangle = |u\rangle\langle u|v\rangle$ , дает проекцию  $v$  на  $u$ . Операторы  $\hat{A}$  и  $\hat{B}$  обычно не коммутируют,  $\hat{A}\hat{B} \neq \hat{B}\hat{A}$ . Состояние  $|u\rangle$  является собственным вектором  $\hat{A}$ , если  $\hat{A}|u\rangle = \lambda|u\rangle$ , где  $\lambda$  – соответствующее собственное значение. Например,  $\hat{P}_u|u\rangle = |u\rangle\langle u|u\rangle = \lambda|u\rangle$ , тогда  $|u\rangle$  является собственным вектором  $\hat{P}_u$  с собственным значением  $\lambda = \langle u|u\rangle$ . Ожидаемое значение линейного оператора  $\hat{A}$  в состоянии  $|u\rangle$  задается через  $\langle u|\hat{A}|u\rangle$ , т. е. скалярное произведение  $\langle u|$  на  $\hat{A}|u\rangle$ .

Ключевой особенностью квантовой теории является то, что наблюдаемые свойства, такие как положение частицы или импульс, представлены Эрмитовыми операторами, имеющими вещественные

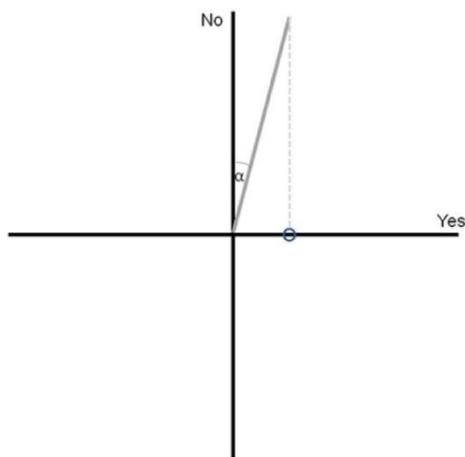
<sup>5</sup> Смотри: Orrell, D. (2018), 'Quantum Economics', *Economic Thought*, 7 (2).

<sup>6</sup> Некоторые исследователи когнитивной науки предпочитают рассматривать гильбертово пространство только как инструмент, а слово «квант» – как отвлечение внимания. Ирвинг Фишер в своей книге «Математические исследования в теории стоимости и цен» (1892) столкнулся с аналогичной проблемой, связанной со словом «полезность», которую он описал как «наследие Бентама и его теории удовольствий и страданий. Слово которого для нас тем более приемлемо, чем меньше оно связано с его теорией» (с. 23). Лично я думаю, что было бы немного вынужденно игнорировать связи теории с физической реальностью.

собственные значения<sup>7</sup>. Вместо того, чтобы быть пассивными элементами, как в классической теории, они являются операторами, что ставит вопрос о системе. Во время измерения наблюдаемого свойства состояние системы  $|S\rangle$  коллапсирует к одному из собственных векторов ассоциированного оператора, с вероятностью, заданной квадратом проекции состояния  $|S\rangle$  на этот собственный вектор.

Чтобы увидеть разницу между классическим и квантовым подходами в контексте человеческого познания, предположим, что у человека есть выбор между определенным числом возможных вариантов. В классической теории вероятностей каждый выбор  $u$  будет рассматриваться как подмножество множества  $U$ , состоящего из всех вариантов. Когнитивное состояние человека представлено функцией  $P$  с вероятностью выбора  $X$ , заданной  $p(u)$ . В качестве простого примера  $U$  может состоять из двух вариантов  $u$  и  $v$ , с соответствующими вероятностями  $p(u)$  и  $p(v)$ , которые удовлетворяют  $p(u) + p(v) = 1$ .

В квантовом познании выбор в ответ на конкретный вопрос рассматривается вместо этого как элемент (например, вектор)  $|u\rangle$  гильбертова пространства  $H$ , а когнитивное состояние человека представлено элементом  $|S\rangle$ , оба длины  $l$ . (Состояние  $|S\rangle$  иногда называют волновой функцией, хотя здесь она является статической, а не изменяющейся во времени). Здесь связанный оператор  $\hat{P}_u$  – это тот, который проецирует векторы на вектор  $|u\rangle$ . Вероятность ответа на вопрос, являющийся  $|u\rangle$ , задается затем величиной квадрата проекции, которая равна  $|\langle u|S\rangle|^2$ .



Простой пример. Две оси на рисунке ниже представляют решения «да» или «нет» по какому-либо вопросу, в то время как состояние человека представлено серой линией под углом  $\alpha$  к оси «нет». Вероятность принятия решения «да» определяется квадратом проекции на ось «да», который равен  $\sin^2\alpha$ .

*Рисунок 2.1. Оси показывают состояния решения, соответствующие собственным векторам, серая линия показывает состояние человека  $|S\rangle$ . Вероятность принятия решения "да" определяется путем проецирования на ось "да" и возведения в квадрат, что дает  $\sin^2\alpha$ .*

Этот сдвиг от наборов элементов к геометрическим проекциям позволяет получить более сложные вероятностные эффекты, такие как некоммутативность и интерференция, характеризующие, как показано в следующем разделе, человеческое познание.

### 3. Человеческое познание

Неоклассическая экономика основана на теории ожидаемой полезности, которая была впервые кодифицирована венгерским математиком Джоном фон Нейманом и экономистом Оскаром Моргенштерном в их книге 1944 года «Теория игр и экономическое поведение». Цель состояла в том, чтобы «найти математически полные принципы, определяющие "рациональное поведение" участников социальной экономики, и вывести из них общие характеристики этого поведения». Они пришли к списку из четырех принципов, или аксиом.

Предположим, агент сталкивается с двумя играми или лотереями  $A$  и  $B$  с различными потенциальными выплатами. Тогда аксиома полноты предполагает, что агент имеет четко определенные предпочтения и всегда может выбрать между двумя альтернативами. Аксиома транзитивности предполагает, что агент всегда принимает решения последовательно – если  $A$  предпочтительнее  $B$ , а  $B$  предпочтительнее  $C$ , то  $A$  предпочтительнее  $C$ . Аксиома независимости предполагает, что если агент предпочитает  $A$  перед  $B$ , то введение несвязанной лотереи  $C$  не изменяет этого предпочтения. Наконец, аксиома непрерывности предполагает, что если агент предпочитает  $A$  над  $B$  и  $B$  над  $C$ , то должно существовать некоторое сочетание наиболее предпочтительного  $A$  и наименее предпочтительного  $C$ , одинаково привлекательное с  $B$ . Если агент соответствует этим четырем аксиомам, то его предпочтения могут быть смоделированы с использованием так называемой функции полезности, и они официально рациональны.

Ожидаемая полезность для каждой лотереи определяется как сумма полезностей возможных исходов, взвешенных по вероятности каждого исхода. Предположим, например, что лотерея  $A$  имеет два возможных выигрыша: сумму  $a_1$  с вероятностью  $p(a_1)$  и сумму  $a_2$  с вероятностью  $p(a_2)$ . Ожидаемая полезность – это

$$U(A) = p(a_1)u(a_1) + p(a_2)u(a_2) = p(a_1)a_1 + p(a_2)a_2,$$

поскольку полезность выплаты здесь в точности выплата. Лотерея  $B$  предпочтительна, если ее ожидаемая полезность удовлетворяет  $U(B) > U(A)$ .

<sup>7</sup> Эрмитов оператор – это тот, что равен своему Эрмитову сопряжению, которое для матричного оператора определяется как комплексное сопряжение транспонирования, поэтому  $A = A^\dagger \equiv (AT)^*$ .

Хотя теория ожидаемой полезности все еще остается основой для большинства экономических моделей, уже в 1970-х годах поведенческие психологи и экономисты показали, что теория не охватывает различные когнитивные явления. Одной из первых попыток изменить теорию ожидаемой полезности была теория перспектив Канемана и Тверски, опубликованная в их статье 1979 года «Теория перспектив: анализ решения в условиях риска». Это модифицировало теорию ожидаемой полезности двумя способами. Во-первых, нужно было сказать, что имеет значение не конечная сумма, а выигрыш или проигрыш относительно некоторой контрольной точки. Во-вторых, результаты взвешиваются нелинейной функцией взвешивания неопределенности, а не самой вероятностью. Эти два основных вывода теории перспектив проиллюстрированы на рисунках 3.1 и 3.2.

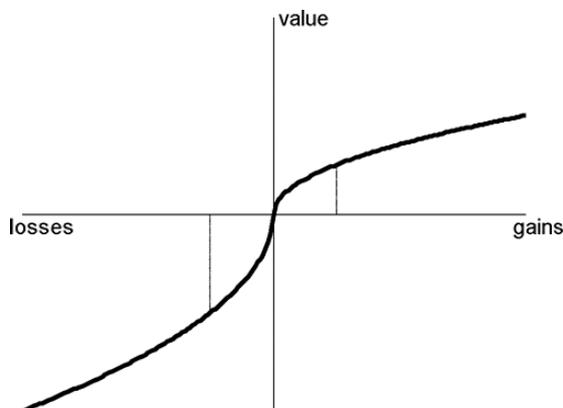


Рисунок 3.1. График функции ценности. Горизонтальная ось показывает денежные прибыли или убытки. Центр представляет собой эталонный уровень, в соответствии с которым возникают прибыли или убытки. Вертикальная ось показывает психологическую ценность. Кривая нелинейна, потому что функция ценности дает насыщение для больших прибылей или потерь. Кривая также асимметрична вокруг начала координат, потому что потеря определенной суммы ощущается более остро, чем выигрыш той же суммы (пунктирные линии). Точная форма кривой будет отличаться для разных людей.

Далее (Tversky & Kahneman, 1992) ценностная функция  $v(x)$  и весовая функция неопределенности  $w(p)$  были получены с использованием следующих уравнений:

$$v(x) = -2(-x)^{0.5} \text{ для } x < 0$$

$$v(x) = x^{0.5} \text{ для } x > 0$$

и

$$w(p) = \frac{p^\gamma}{(p^\gamma + (1-p)^\gamma)^{1/\gamma}},$$

где  $\gamma = 0.61$ .

Вместе эти рисунки обобщают многие ключевые когнитивные явления, составляющие ядро поведенческой экономики. Например, потери и выгоды ощущаются относительно некоторой точки отсчета, которая будет зависеть от контекста. Эта точка представлена нулем горизонтальной оси для кривой значений (рис. 3.1). Большинство людей не склонны к потерям в том смысле, что потеря определенной суммы примерно в два раза болезненнее, чем приятен выигрыш той же суммы. Вот почему кривая ценности асимметрична вокруг начала координат с более крутым наклоном для потерь. Другой вывод, восходящий к математику восемнадцатого века Даниэлю Бернулли, заключается в том, что эффект потерь или прибылей имеет тенденцию насыщаться в больших количествах, как указано на графике путем сглаживания кривой ценности.

Эксперименты также показывают, что мы не взвешиваем результаты точно по их вероятностям. В частности, мы склонны придавать больший вес неопределенным результатам, поэтому функция неопределенности на рис.3.2 находится выше пунктирной линии в этой области. Например, мы можем придавать слишком большое значение сообщениям о таких вещах, как террористические нападения или другие маловероятные катастрофы.

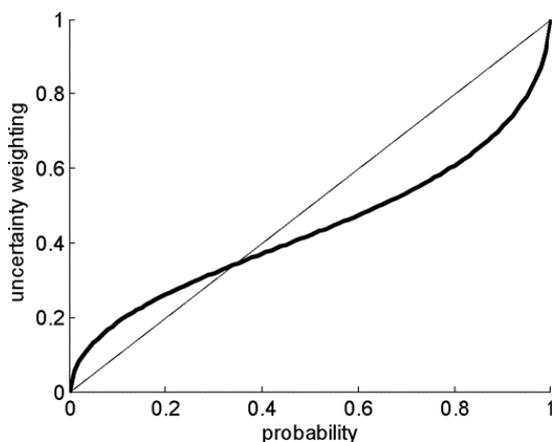


Рисунок 3.2. График весовой функции неопределенности. Горизонтальная ось показывает вероятность. В теории ожидаемой полезности вес неопределенности события равен его вероятности (пунктирная линия). В теории перспективы взвешивание модифицируется таким образом, что маловероятные события перевешиваются относительно событий средней и более высокой вероятности (сплошная линия). Эффект исчезает для определенных событий с вероятностью 1 или запрещенных событий с вероятностью 0. Кривая будет отличаться для потерь и прибылей, но схожа по форме.

Подводя итог, разница между теорией перспективы и теорией ожидаемой полезности заключается в том, что вместо написания

$$U(A) = p(a_1)a_1 + p(a_2)a_2$$

мы пишем

$$U(A) = w(a_1)v(a_1) + w(a_2)v(a_2),$$

где  $v$  — функция ценности и  $w$  является функцией взвешивания неопределенности. Поэтому теорию перспектив можно рассматривать как модифицированную версию теории ожидаемой полезности, где линейные зависимости заменяются нелинейными кривыми. В качестве примера того, как это применяется, рассмотрим следующие две игры, которые дают пример парадокса Алле, впервые описанного французским экономистом Морисом Алле в 1952 году.

Игра А: выбрать между  
 $a_1$ : \$40 с вероятностью 80%  
 $a_2$ : \$30 с вероятностью 100%

Игра В: выбрать между  
 $b_1$ : \$40 с вероятностью 20%  
 $b_2$ : \$30 с вероятностью 25%

Согласно теории ожидаемой полезности имеем

$$\begin{aligned} U(a_1) &= p(a_1)a_1 = 0.80 * 40 = 32 \\ U(a_2) &= p(a_2)a_2 = 1.00 * 30 = 30 \end{aligned}$$

для игры А, и

$$\begin{aligned} U(b_1) &= p(b_1)b_1 = 0.20 * 40 = 8 \\ U(b_2) &= p(b_2)b_2 = 0.25 * 30 = 7.50 \end{aligned}$$

для игры В. В любой игре (или перспективе, как ее называют) первый вариант предлагает немного лучшую ожидаемую полезность. Однако на практике люди обычно выбирают первый вариант для игры В, но второй вариант для игры А. Причина в том, что игра А включает в себя вариант «верняк», который более привлекателен. Однако это подразумевало, что теория полезности не была последовательной, что нарушало аксиомы теории ожидаемой полезности.

В теории перспектив с использованием приведенных выше вариантов весовых функций стоимости и неопределенности результаты расчетов становятся

$$\begin{aligned} U(a_1) &= w(0.80)v(40) = 0.61 * 6.32 = 3.86 \\ U(a_2) &= w(1.00)v(30) = 1.00 * 5.48 = 5.48 \end{aligned}$$

для игры А, и

$$\begin{aligned} U(b_1) &= w(0.20)v(40) = 0.26 * 6.32 = 1.64 \\ U(b_2) &= w(0.25)v(30) = 0.29 * 5.48 = 1.59 \end{aligned}$$

для игры В. Наиболее привлекательными вариантами теперь стали  $a_2$  и  $b_1$  в согласии с экспериментами.

Хотя теория перспектив действительно затрагивает многие из наших когнитивных причуд, есть ряд других, которые требуют отдельного внимания. Примером может служить парадокс Эллсберга. Он включает урну, содержащую 90 шаров, из которых 30 красных и 60 либо черных, либо желтых. Вам предлагается выбор между двумя азартными играми.

В игре А вы ставите либо на красное, либо на черное.

В игре В вы делаете ставку на красный или желтый, или черный или желтый шары.

Что бы вы предпочли? В каждой игре шансы на розыгрыш красного, черного или желтого шара равны 2/3. Единственное различие между играми заключается в том, что в игре В каждая сторона ставки включает желтый цвет. Поэтому, если вы предпочитаете красный в игре А, то вы должны предпочесть «красный или желтый» в игре В. Однако большинство людей видят это по-другому — они смотрят не на цвет шара, а на неопределенность. В игре А количество красных шаров, как известно, равно 30, но количество черных шаров неопределенно. Поэтому они выбирают красный цвет в игре А. В игре В количество желтых шаров неизвестно, однако известно, что сумма черных и желтых шаров равна 60. Поэтому они предпочитают делать ставку на «черный или желтый», так как опять же это вариант с меньшей неопределенностью.

Эта несогласованность противоречит теории ожидаемой полезности, однако она также ускользает от теории перспективы по той простой причине, что вероятности неизвестны, поэтому невозможно настроить их с помощью функции взвешивания неопределенности. Парадокс может быть объяснен только введением нового и иного вида специальной весовой функции, которая объясняет неприятие неопределенности.

На самом деле оказывается, что есть много других когнитивных явлений, которые не могут быть охвачены простым способом, используя классическую теорию. К ним относятся так называемые эффекты конъюнкции и дизъюнкции, эффект порядка и разворот предпочтений. Их объединяет то, что во всех случаях контекст и процедура измерения влияют на ответ, как и при квантовом измерении. В парадоксе Эллсберга, например, два варианта формально идентичны, с точностью до деталей сценария.

Неопределенность относительно количества черных или желтых шаров создает своего рода ментальную интерференционную картину, которая влияет на суждение. В следующем разделе показано, как квантовый подход может быть использован для разрешения таких парадоксов.

#### 4. Квантовое познание

В иллюстративных целях мы сосредоточимся в этом разделе на двух примерах. Один из них – обращение предпочтений, связанное как с парадоксом Алле, так и с парадоксом Эллсберга. Начнем с более простого случая эффекта порядка.

Как обсуждалось в книге, опрашивающие и авторы опроса давно знают, что ответы, которые они получают, зависят от точной формулировки вопросов, но также и от их порядка. Ответ на первый вопрос изменяет контекст для второго вопроса, здесь контекст включает собственное состояние ума ответчика. Это явление настолько распространено, что в психологии «некоммутативность должна быть повсеместным правилом», согласно психологам Харальду Атманспахеру и Хартманну Ромеру. Это не имеет смысла с точки зрения классической теории полезности, но похоже на то, что встречается в квантовой физике, где измерение положения влияет на импульс частицы и наоборот.

В статье 2014 года исследователи проанализировали результаты 70 опросов в США и обнаружили, что способ изменения ответов показал лежащую в основе симметрию<sup>8</sup>. Одним из примеров, который они использовали, был опрос Gallup с 1997 года, в котором последовательно задавались вопросы, считают ли респонденты Билла Клинтона и Эла Гора надежными. Число людей, которые назвали их обоих заслуживающими доверия, составило 49%, если Клинтон был назван первым, но выросло до 56%, если первым был назван Гор, разница составила 7%. И наоборот, число тех, кто назвал их обоих ненадежными, составило 28%, если Клинтон был назван первым, но упало до 21%, если первым был назван Гор, опять же разница в 7%. Таким образом, увеличение общей надежности уравновешивалось уменьшением общей ненадежности.

Квантовая модель для этого эксперимента очень проста и может быть визуализирована без использования уравнений<sup>9</sup>. На скриншоте ниже из веб-приложения, доступного по адресу <https://david-systemsforecasting.shinyapps.io/ordereffect/>, серая линия показывает состояние человека при ответе на вопрос о Клинтоне. Поэтому она представляет собой снимок вероятностной волновой функции, находящейся в суперпозиции состояний доверия и недоверия. Если бы человек был уверен в своем доверии Клинтону, то эта линия была бы тесно связана с горизонтальной осью YES; при полном отсутствии доверия она совпала бы с вертикальной осью NO. Но человек не совсем доверяет, а потому держит два

варианта в суперпозиции с примерно равной силой, а линия почти диагональна. Решение ответить "да" эквивалентно коллапсу состояния суперпозиции неопределенностей и представлено математически путем проекции на ось "да" в точку, показанную белым кругом. Тогда вероятность этого выбора, согласно квантовой модели, равна квадрату расстояния этой точки от центра. Это свернутое состояние затем используется в качестве начального условия для ответа на следующий вопрос. Видно, что изменение порядка вопросов влияет на вероятность ответа таким образом, что соблюдается симметрия между совместным доверием и совместным недоверием.

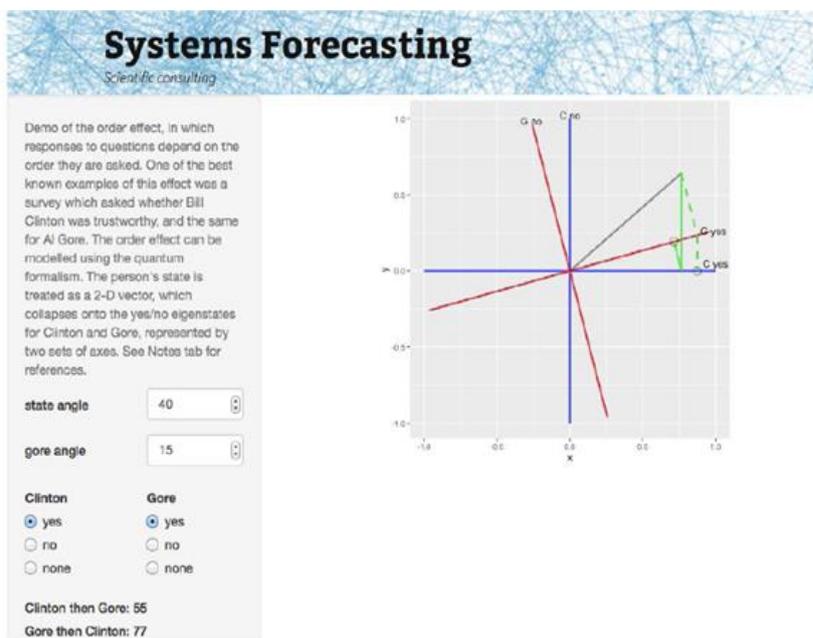


Figure 3.3. Screenshot of the order effect demo, available as a web application.

<sup>8</sup> Wang, Z., Solloway, T., Shiffrin, R.S., and Busemeyer, J.R. (2014), 'Context effects produced by question orders reveal quantum nature of human judgments', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111 (26), pp. 9431–6.

<sup>9</sup> Для двумерного случая коэффициенты могут быть вещественными, а не комплексными, см. Moreira, C. & Wichert, A. (2017), 'Are Quantum Models for Order Effects Quantum?', *International Journal of Theoretical Physics* 56(12): 4029–4046.

Хотя эффект порядка является хорошей иллюстрацией квантового подхода, он показывает только эффект контекста, который также может быть рассмотрен с использованием некоторой другой специальной модели. Более ясная иллюстрация квантового познания включает в себя интерференцию при принятии решений в условиях неопределенности, как она рассматривается в теории перспектив.

Мы сосредоточимся здесь на подходе, известном как квантовая теория решений (QDT). Теория была объяснена в ряде публикаций, поэтому мы просто предложим здесь краткое резюме<sup>10</sup>. Основная идея снова состоит в том, что когнитивные состояния и перспективы моделируются как векторы в гильбертовом пространстве, и система до измерения находится в суперпозиции состояний. Эти состояния могут быть запутаны в том смысле, который мы описываем ниже, что приводит к сложным эффектам. Измерение происходит, когда принимается решение, которое является внутренне вероятностным процессом.

В качестве простого примера рассмотрим психическое состояние человека, который сталкивается с двумя альтернативными перспективами, обозначенными  $A_1$  и  $A_2$ . Отношение человека к этим перспективам будет формироваться субъективными желаниями, которые мы называем  $B_1$  и  $B_2$  (их может быть сколько угодно). Эти две перспективы могут быть выражены в гильбертовом пространстве как состояния суперпозиции

$$\begin{aligned} |\pi_1\rangle &= \gamma_{11}|A_1B_1\rangle + \gamma_{12}|A_1B_2\rangle \\ |\pi_2\rangle &= \gamma_{21}|A_2B_1\rangle + \gamma_{22}|A_2B_2\rangle, \end{aligned}$$

где коэффициенты  $\gamma_{ij}$  могут быть комплексными. Состояние человека до принятия решения является

$$|\psi\rangle = \alpha_{11}|A_1B_1\rangle + \alpha_{12}|A_1B_2\rangle + \alpha_{21}|A_2B_1\rangle + \alpha_{22}|A_2B_2\rangle,$$

где коэффициенты удовлетворяют

$$[\langle\psi|\psi\rangle]^2 = |\alpha_{11}|^2 + |\alpha_{12}|^2 + |\alpha_{21}|^2 + |\alpha_{22}|^2 = 1.$$

Поэтому вероятность того, что человек выберет перспективу  $\pi_j$ , равна

$$p(\pi_j) = \frac{1}{p} [\langle\psi|\pi_j\rangle]^2 = \frac{1}{p} (\alpha_{j1}^* \gamma_{j1} + \alpha_{j2}^* \gamma_{j2})(\alpha_{j1} \gamma_{j1} + \alpha_{j2} \gamma_{j2}),$$

где  $p = [\langle\psi|\pi_1\rangle]^2 + [\langle\psi|\pi_2\rangle]^2$  является условием нормализации для обеспечения того, чтобы вероятности добавлялись к 1.

Это может быть записано в форме

$$p(\pi_j) = f(\pi_j) + q(\pi_j),$$

где

$$f(\pi_j) = \frac{1}{p} (|\alpha_{j1}|^2 |\gamma_{j1}|^2 + |\alpha_{j2}|^2 |\gamma_{j2}|^2)$$

называется функцией полезности, а

$$q(\pi_j) = \frac{1}{p} (\alpha_{j1}^* \gamma_{j1} \alpha_{j2}^* \gamma_{j2} + \alpha_{j2}^* \gamma_{j2} \alpha_{j1}^* \gamma_{j1})$$

называется функцией притяжения. Функция полезности отделяет два условия, соответствующие результатам  $A_1$  и  $A_2$  (в примере лотереи это соответствовало бы ожидаемой выплате от лотереи), в то время как функция притяжения представляет их запутывание через различные субъективные контексты  $B_1$  и  $B_2$ . Заметим, что если нет запутанности, то  $q(\pi_j) = 0$ , вероятности те же, что и для классического подхода, и нет необходимости применять квантовые методы.

Поскольку классическая полезность выражается в вероятностной форме, должно выполняться  $f(\pi_1) + f(\pi_2) = 1$ . Но из  $p(\pi_1) + p(\pi_2) = 1$  следует  $q(\pi_1) + q(\pi_2) = 0$ . Затем можно показать, что при отсутствии какой-либо информации о структуре функции притяжения можно ожидать, что функция притяжения более привлекательного выбора будет равна  $1/4$ , а менее привлекательного выбора  $-1/4$ . Этот результат известен как «закон четверти» и был проверен эмпирически в различных ситуациях с использованием контролируемых экспериментов<sup>11</sup>.

Теперь, согласно классической теории полезности, человек должен выбрать перспективу  $\pi_2$ , если  $f(\pi_1) - f(\pi_2) > 0$ . Однако в QDT надо учитывать условия интерференции, поэтому соответствующий тест имеет вид  $f(\pi_1) + q(\pi_1) - f(\pi_2) - q(\pi_2) > 0$  или, что эквивалентно,

$$f(\pi_1) - f(\pi_2) > 2q|\pi_1|.$$

Другими словами, функция притяжения устанавливает порог, который должен быть превышен, чтобы вариант рассматривался как предпочтительный. Следуя закону четверти, начальная догадка заключается в том, что полезность одной возможности (по шкале от 0 до 1) должна превышать полезность другой на 0,5. Юкалов и Сорнетт называют это критерием изменения предпочтений по причинам, рассмотренным ниже.

<sup>10</sup> Смотри дискуссионную публикацию “Quantum Financial Entanglement: The Case of Strategic Default” на [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3394550](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3394550), а также ссылки на нее.

<sup>11</sup> Yukalov & Sornette, 2015

Можно пойти иным путем, предположим, что более привлекательный вариант соответствует стоимости  $x_1$ , а менее привлекательный вариант – стоимости  $x_2$ . Мы можем назначить относительные функции полезности

$$f(\pi_1) = \frac{x_2}{x_1 + x_2}$$

$$f(\pi_2) = \frac{x_1}{x_1 + x_2},$$

сумма которых равна 1. Затем выполняется условие реверсирования предпочтений

$$f(\pi_2) - f(\pi_1) = \frac{x_2 - x_1}{x_1 + x_2} > \frac{1}{2}.$$

Равенство в приведенном выше выражении достигается, если  $x_2 = 3x_1$ , и вообще, если условие выполняется, мы могли бы ожидать  $\frac{x_2}{x_1} > 3$ . Опять же, это следует рассматривать только в первом приближении, но подчеркивает значительную роль, которую субъективные эффекты играют в принятии решений.

Квантовая теория принятия решений до сих пор в основном применялась к экспериментам, где участникам предлагалось выбирать между тщательно продуманными лотереями с различным балансом риска и вознаграждения. Одним из примеров является разворот предпочтений, где выбор делается между двумя лотереями, первая из которых предлагает высокую вероятность низкой выплаты, вторая – низкую вероятность высокой выплаты. Если ожидаемая полезность второй лотереи немного выше, то для себя люди все равно склонны выбирать первую лотерею. Но если вопрос переформулирован так, что их просят оценить билет, который может быть продан кому-то другому, они более высоко оценят вторую лотерею.

Тверски и Талер (1990) определили, что это явление вызвано нарушением инвариантности процедуры: субъективные веса выплат в ценообразовании более весомы, чем в выборе. Они заключают: «во-первых, люди не обладают набором предопределенных предпочтений для каждого непредвиденного обстоятельства. Скорее, предпочтения строятся в процессе принятия решения или суждения. Во-вторых, контекст и процедуры, связанные с принятием решений или суждений, влияют на предпочтения, которые подразумеваются вызванными ответами. С практической точки зрения это означает, что поведение может варьироваться в зависимости от ситуаций, которые экономисты считают идентичными».

*Кажется, что мы используем одну ментальную структуру при принятии решения, а другую при оценке цены, таким образом, который может быть рассмотрен в классической модели только путем введения ad hoc весовых коэффициентов. Однако квантовый подход по умолчанию чувствителен к контексту. Психическое состояние человека моделируется не в терминах фиксированных предпочтений, а как контекстно-зависимая волновая функция, коллапсирующую к решению только тогда, когда задается вопрос.*

Юкалов и Сорнетт проанализировали наборы экспериментальных данных для таких примеров лотереи, чтобы показать, что точка перехода между двумя выборами следует их критерию предпочтения (Yukalov and Sornette, 2015). Они также связывают это с так называемым парадоксом планирования, когда мы предпочитаем одно, когда говорим о будущем, и другое, когда говорим о настоящем. Примером может служить ситуация курильщика, который решает, бросить ли курить сейчас или бросить курить позже. С точки зрения ожидаемой полезности предпочтения должны быть одинаковыми, но на практике последнее гораздо более привлекательно, поэтому людям трудно бросить курить.

Более экономически важным является случай дефолта среди держателей ипотеки. Обычно он происходит потому, что домовладелец больше не может позволить себе ипотечные платежи в силу таких факторов, как безработица или развод. Однако, при снижении цены на жилье до уровня, когда дом стоит меньше, чем ипотека, домовладелец также может решить выйти из договора ипотеки, что известно как стратегический дефолт.

В работе (Guiso et al., 2009) проанализированы данные ежеквартального опроса репрезентативной выборки домохозяйств США с декабря 2008 по сентябрь 2010 года для определения отношения домовладельцев к стратегическому дефолту. Результаты показали, что примерно 30% респондентов заявили, что они пойдут на дефолт при дефиците больше, чем \$100К, и большинство (64%) сказали, что они пойдут на дефолт при дефиците больше \$200К. Однако фактическая статистика выкупа рисует совсем другую картину. К середине 2009 года более 16% домовладельцев США имели отрицательный (equity) собственный капитал, превышающий 20% от стоимости их дома, и более 22% домовладельцев имели отрицательный собственный капитал (equity), превышающий 10% от стоимости их дома. Учитывая высокую стоимость домов на наиболее пострадавших рынках, многие из этих домовладельцев были «утоплены» на более чем \$100 тыс. Если бы 30% из них выбрали стратегический дефолт, в соответствии с результатами опроса, он составил бы в общей сложности около 5% американских домовладельцев. Однако, в то время как к третьему кварталу 2009 года совокупный уровень просроченной задолженности по ипотечным кредитам достиг исторического максимума в 14%, лишь небольшая часть из них была стратегической. Другие исследователи (Bradley et al., 2015) оценили долю в диапазоне от 7,7% до 14,6%, что составило бы общую стратегическую ставку дефолта только от 1% до 2%. Согласно одной из оценок

Федеральной резервной системы «средний заемщик не пойдет на стратегический дефолт до тех пор, пока собственный капитал не упадет до 62 процентов от стоимости их дома»<sup>12 13</sup>.

На первый взгляд, такое поведение кажется иррациональным, поскольку даже с учетом различных затрат на обращение взыскания лучшим вариантом с узко утилитарной точки зрения часто будет дефолт. Поведенческие экономисты обычно объясняют такие эффекты, апеллируя к идее, что домовладельцы страдают от когнитивных предубеждений, которые приводят их к принятию плохих экономических решений, и существуют поведенческие модели, которые соответствуют данным, корректируя такие вещи, как нынешняя предвзятость и ставки дисконтирования. Однако это не объясняет тот факт, что даже когда домовладельцы могут видеть, что дефолт имеет экономический смысл – и скажут в опросе, что они пойдут на дефолт – они обычно отказываются делать это на практике. Вместо этого кажется, что основной мотивацией для пребывания в доме является желание избежать стыда и социальной стигмы, а также страх перед воспринимаемыми (и часто преувеличенными) последствиями дефолта (White, 2010). Другими словами, реакция обусловлена не столько когнитивными размышлениями, сколько мощным сочетанием эмоций. И тот факт, что эта комбинация вины и страха ощущается гораздо острее, когда фактически принимается решение остаться или переехать, в отличие от ответа на вопрос опроса, является причиной того, что наблюдаемые показатели дефолта намного ниже, чем можно было бы ожидать от расчетов, основанных либо на результатах опроса, либо на максимизации полезности.

Таким образом, ситуация аналогична описанному выше случаю разворота предпочтений, когда мы оцениваем возможность по-разному в зависимости от того, делаем ли мы фактический выбор или придумываем гипотетическую цену. Домовладелец, как правило, предпочитает воспринимаемую безопасность пребывания в своем собственном доме, даже если знает, что это финансово не оптимально. На него также влияет его чувство морали и социальные нормы о важности исполнения своих обязательств. (Банк, конечно, занимает совсем другую позицию, так как работает по рыночным нормам). В результате, как и большинство курильщиков, которые говорят, что хотят бросить курить, не делают этого, так и большинство домовладельцев, которые говорят при опросе о дефолте, не делают этого на практике.

Вместо корректировки поведенческих моделей более простым и элегантно объяснением является применение методов квантовой теории принятия решений, где функция притяжения учитывает контекстно-зависимые субъективные факторы, включая стыд, вину и страх. Это также имеет то преимущество, что является последовательной моделью, которая может быть применена для широкого круга явлений, в отличие от *ad hoc* модели, которая настроена на соответствие определенному набору данных.

Предположим, что стоимость пребывания в доме в течение определенного периода равна  $x_1$ , а стоимость дефолта, включая аренду на тот же период, равна  $x_2$ . Согласно критерию реверсирования предпочтений, для выбора стратегического дефолта мы ожидаем, что соотношение затрат  $\frac{x_2}{x_1}$  около 3.

Оценка Федеральной резервной системы для критического порога для инициирования стратегического дефолта была 62% падением стоимости, что соответствует падению полезности по сравнению с ценой покупки в 2,63 раза. Учитывая, что большинство людей, по-видимому, предпочитают вернуть свой дом, а не арендовать, это согласуется с квантовой оценкой.

Квантовая теория принятия решений, и в частности, интерференция между объективными расчетами и субъективными эмоциями, помогает поэтому объяснить, почему так мало людей в подобных ситуациях на самом деле выбрали дефолт, даже если их поведение, похоже, бросает вызов как классической теории полезности, так и результатам опросов: когда дело дошло до разрыва, запутанные эмоции, такие как вина и страх, вмешались и перевесили абстрактные соображения полезности. Возможно, главный посыл заключается в том, что для сложной проблемы стратегического дефолта расхождение между максимизацией полезности и наблюдаемым поведением настолько велико, что стандартные расчеты полезности – несмотря на основополагающую роль, которую они играют в основной экономике – имеют довольно малое значение.

## 5. Квантовый гармонический осциллятор

Как было показано выше, ключевая идея квантового подхода заключается в том, что точечные объекты заменяются квантовыми состояниями или волновыми функциями, а наблюдаемые величины заменяются собственными значениями операторов. Эта процедура «квантования» относительно проста для статических моделей, подобных рассмотренным выше, но становится значительно более сложной для динамических систем.

Одним из ключей к решению задачи квантования является тот факт (впервые обнаруженный математиком Оливером Хевисайдом в конце XIX века), что дифференциальные операторы действуют в некоторых отношениях подобно обычным числам. Рассмотрим для примера уравнение

$$y + \frac{dy}{dx} = x^2.$$

<sup>12</sup> White, 2010.

<sup>13</sup> Bhutta, Dokko & Shan, 2010.

Определим дифференциальный оператор  $D$  как  $D = \frac{d}{dx}$ , so  $Dy = \frac{dy}{dx}$ . Действия  $D$  интерпретируются как высшие производные, так

$$D^2 = \frac{d^2}{dx^2}$$

и так далее. Тогда приведенное выше уравнение можно записать

$$(1 + D)y = x^2$$

тогда

$$y = \frac{x^2}{1+D}.$$

Перезапись  $\frac{1}{1+D}$  как бесконечного ряда

$$\frac{1}{1+D} = 1 - D + D^2 - D^3 \dots$$

дает

$$y = (1 - D + D^2 - D^3 \dots) x^2 = x^2 - 2x + 2$$

после применения к  $x$  производных операторов и учитывая, что все производные выше второй равны нулю.

Поскольку операторы действуют на объект справа от них, эти два элемента обычно не коммутируют. Предположим, что у нас есть функция  $\psi(x)$  и вычислим

$$D(x\psi) = D(x)\psi + xD(\psi) = \psi + xD(\psi),$$

тогда

$$D(x\psi) - xD(\psi) = D(x)\psi - xD(\psi) = \psi$$

или в форме оператора

$$Dx - xD = 1,$$

где 1-оператор идентификации, который ничего не делает. Коммутатор для двух элементов  $f$  и  $g$  определяется как  $[f, g] = fg - gf$ , поэтому здесь мы можем написать  $[D, x] = 1$ . Такие отношения коммутатора играют важную роль в квантовой механике. Нужно быть осторожным с порядком операций, при квантовании системы сначала может быть неясно, какой порядок использовать.

Теперь мы хотим представить квантовые состояния с помощью волновых функций. Многие эксперименты предполагают, что волны имеют периодичность, которая масштабируется с импульсом, таким образом, зависящим от приведенной постоянной Планка  $\hbar$ . Если фокусироваться на пространственном изменении, то типичная волновая функция может иметь вид

$$\psi(x) = e^{-\frac{ipx}{\hbar}}.$$

В классической механике  $x$  будет относиться к пространственной координате, а  $p$  – к импульсу. Если мы определим  $\hat{p}$  как дифференциальный оператор и применим его к  $\psi$ , то получим

$$\hat{p}\psi = -i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial x} = \hat{p}e^{-\frac{ipx}{\hbar}} = p\psi,$$

поскольку наблюдаемое  $p$  является собственным значением оператора. Поэтому мы можем определить  $\hat{p}$  как оператор импульса. Оператор положения  $\hat{x}$  возвращает значение  $x$ . В «пространстве импульсов», его можно определить как

$$\hat{x} = i\hbar \frac{\partial}{\partial p},$$

где  $x$  имеет собственное значение. Аналогичная зависимость (связанная с требованиями теории относительности) имеет место для полной энергии  $H$  и времени  $t$ :

$$\hat{H} = -i\hbar \frac{\partial}{\partial t}.$$

Используя определение оператора импульса и правило умножения в исчислении, имеем

$$\begin{aligned} \hat{x}\hat{p}\psi - \hat{p}\hat{x}\psi &= \hat{x}\left(i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial x}\right) + i\hbar \frac{\partial (\hat{x}\psi)}{\partial x} = \\ &= -\hat{x}\left(i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial x}\right) + i\hbar \left(\hat{x} \frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{\partial \hat{x}}{\partial x} \psi\right) = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial x}. \end{aligned}$$

Но так как  $\frac{\partial \hat{x}}{\partial x} = 1$ , отсюда следует  $\hat{x}\hat{p}\psi - \hat{p}\hat{x}\psi = i\hbar\psi$ , а поэтому коммутатор удовлетворяет соотношению  $[\hat{x}, \hat{p}] = \hat{x}\hat{p} - \hat{p}\hat{x} = i\hbar$ . Это известно как каноническое отношение коммутатора, имеющее место также для других пар, таких как энергия и время.

Чтобы лучше понять, как работает процедура квантования, мы можем применить этот метод к простому физическому примеру – гармоническому осциллятору<sup>14</sup>. Мы выбрали его, потому что он играет ключевую роль в квантовой теории поля, которая лежит в основе методов, используемых позже для

<sup>14</sup> Если процедура квантования кажется немного специальной и неудобной, одна из причин заключается в том, что мы пытаемся адаптировать классические математические инструменты для обработки двойственности волны/частицы. Во-вторых, подход был основан на интуиции, и уравнения были приняты не потому, что они могут быть доказаны, а потому, что они соответствуют данным (что дает некоторую свободу для социальных ученых адаптировать их для других целей).

описания квантовой экономики; он служит первым приближением ко многим более сложным системам; и это одна из немногих квантовых систем, которые могут быть решены в уравнениях замкнутой формы.

Классический гармонический осциллятор включает в себя объект массы  $m$ , который колеблется вокруг центральной точки с пружинным воссозданием усилия, заданного равенством  $F = -kx$ , где  $k$  — постоянная, а  $x$  — смещение. Уравнение движения можно записать в терминах импульса как

$$\begin{aligned} p &= m\dot{x} \\ \dot{p} &= F = -kx \end{aligned}$$

или эквивалентно  $m\ddot{x} = -kx$ . Это уравнение имеет колебательное решение

$$x = A\cos(\omega t + \varphi),$$

где фаза  $\varphi$  зависит от начальной точки. Энергия задается как

$$E = \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2 x^2,$$

где  $\omega = \sqrt{k/m}$  — частота колебаний. Первый член представляет кинетическую энергию, а второй член — потенциальную энергию.

Чтобы квантовать систему, нам снова нужно заменить классические уравнения квантовыми версиями, которые действуют на волновые функции, но восстанавливают требуемые свойства наблюдаемых объектов<sup>15</sup>. В квантовой механике полная энергия задается уравнением, известным как Гамильтониан, выраженный теперь в терминах операторов. Поэтому мы пробуем:

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2 \hat{x}^2.$$

Это можно написать более просто в виде

$$\hat{H} = \hbar\omega \left( \hat{a}^\dagger \hat{a} + \frac{1}{2} \right) = \hbar\omega \left( \hat{N} + \frac{1}{2} \right),$$

где

$$\begin{aligned} \hat{a} &= \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}} \left( \hat{x} + \frac{i\hat{p}}{m\omega} \right) \\ \hat{a}^\dagger &= \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}} \left( \hat{x} - \frac{i\hat{p}}{m\omega} \right) \\ \hat{N} &= \hat{a}^\dagger \hat{a} \end{aligned}$$

По причинам, которые станут ясны,  $\hat{a}^\dagger$  известен как оператор рождения,  $\hat{a}$  — оператор уничтожения, а  $\hat{N}$  — оператор числа. Как видно из умножения этих операторов и использования отношения коммутатора между  $\hat{x}$  и  $\hat{p}$ , операторы рождения и уничтожения удовлетворяют каноническому отношению коммутатора с этим масштабированием, что есть

$$[\hat{a}, \hat{a}^\dagger] = \hat{a}\hat{a}^\dagger - \hat{a}^\dagger\hat{a} = 1.$$

Если  $\psi$  — волновая функция с нормой 1, то

$$\langle \psi | \hat{H} | \psi \rangle = \hbar\omega \left\langle \psi \left| \left( \hat{a}^\dagger \hat{a} + \frac{1}{2} \right) \right| \psi \right\rangle = \hbar\omega \langle \hat{a}\psi | \hat{a}\psi \rangle + \frac{\hbar\omega}{2} \geq \frac{\hbar\omega}{2},$$

так как любая норма не может быть меньше нуля.

Теперь предположим, что  $|E\rangle$  является нормализованным энергетическим состоянием системы. Поскольку наблюдаемые величины соответствуют собственным значениям, отсюда следует, что  $|E\rangle$  должен быть собственным вектором Гамильтонова оператора с соответствующим собственным значением  $E$ :

$$\hat{H}|E\rangle = E|E\rangle.$$

Из этого и вышеприведенного неравенства имеем

$$\langle E | \hat{H} | E \rangle = \langle E | H | E \rangle \geq E \frac{\hbar\omega}{2}.$$

Таким образом, система имеет минимальный уровень энергии, заданный  $\frac{\hbar\omega}{2}$ .

Рассмотрим два состояния, определенные как

$$\begin{aligned} |E_+\rangle &= \hat{a}^\dagger |E\rangle, \\ |E_-\rangle &= \hat{a} |E\rangle, \end{aligned}$$

Сначала отметим, что

$$[\hat{H}, \hat{a}^\dagger] = \hat{H}\hat{a}^\dagger - \hat{a}^\dagger\hat{H} = \hbar\omega(\hat{a}^\dagger\hat{a})\hat{a}^\dagger - \hat{a}^\dagger\hbar\omega(\hat{a}^\dagger\hat{a}) = \hbar\omega(\hat{a}^\dagger\hat{a}\hat{a}^\dagger - \hat{a}^\dagger\hat{a}^\dagger\hat{a}),$$

поскольку вклад постоянного члена в Гамильтониан отменяется. Используя отношение коммутатора для операторов рождения и уничтожения, далее задаем

$$[\hat{H}, \hat{a}^\dagger] = \hbar\omega\hat{a}^\dagger[\hat{a}, \hat{a}^\dagger] = \hbar\omega\hat{a}^\dagger.$$

Аналогично

<sup>15</sup> I am drawing on: Barton Zwiebach. 8.05 Quantum Physics II. Fall 2013. Massachusetts Institute of Technology; MIT OpenCourseWare, <https://ocw.mit.edu>. License: Creative Commons BY-NC-SA.

$$[\hat{H}, \hat{a}] = \hbar\omega\hat{a},$$

а также

$$\hat{N}|E\rangle = \left(\frac{\hat{H}}{\hbar\omega} - \frac{1}{2}\right)|E\rangle = \hat{N}_E|E\rangle,$$

где  $\hat{N}_E = \frac{\hat{H}}{\hbar\omega} - \frac{1}{2}$  – собственное значение оператора числа, связанное с этим энергетическим состоянием.

Тогда

$$\begin{aligned}\hat{H}|E_+\rangle &= \hat{H}\hat{a}^\dagger|E\rangle = ([\hat{H}, \hat{a}^\dagger] + \hat{a}^\dagger\hat{H})|E\rangle = (\hbar\omega + E)\hat{a}^\dagger|E\rangle = (E + \hbar\omega)|E_+\rangle \\ \hat{H}|E_-\rangle &= \hat{H}\hat{a}|E\rangle = ([\hat{H}, \hat{a}] + \hat{a}\hat{H})|E\rangle = (-\hbar\omega + E)\hat{a}|E\rangle = (E - \hbar\omega)|E_-\rangle.\end{aligned}$$

Таким образом, при  $E_+ = E + \hbar\omega$  и  $N_{E_+} = N_E + 1$  энергетическое состояние имеет повышенный энергетический уровень, в то время как при  $E_- = E - \hbar\omega$  и  $N_{E_-} = N_E - 1$  энергетическое состояние имеет пониженный энергетический уровень.

Причина, по которой  $\hat{a}^\dagger$  называется оператором рождения,  $\hat{a}$  – оператором уничтожения, заключается в том, что эти операторы повышают или понижают энергию на  $\hbar\omega$  и оператор числа на единицу. Оператор рождения всегда может быть применен для повышения энергии, но оператор уничтожения может быть применен только к энергетическим уровням выше базового уровня, поскольку энергия не может быть отрицательной.

Найти самый низкий базовый уровень можно, предположив, что существует нетривиальное состояние  $|E\rangle$ , уничтожаемое  $\hat{a}$ , поэтому  $\hat{a}|E\rangle = 0$ . Таким образом,  $\hat{a}^\dagger\hat{a}|E\rangle = N|E\rangle = 0$ , что означает для этого энергетического состояния  $E = \frac{\hbar\omega}{2}$  и  $N_E = 0$ . Мы можем вывести уравнение для этого состояния, действуя с позиции  $x$ :

$$\langle x|\hat{a}|E\rangle = \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}}\langle x|\left(\hat{x} + \frac{i\hat{p}}{m\omega}\right)|E\rangle = 0.$$

Если мы определим волновую функцию  $\psi_E(x) = \langle x|E\rangle$  и используем определение  $\hat{p}$  в качестве дифференциального оператора, то это дает

$$\left(x + \frac{\hbar}{m\omega} \frac{d}{dx}\right)\psi_E(x) = 0$$

или

$$\frac{d\psi_E}{dx} = -\frac{m\omega}{\hbar}x\psi_E$$

с решением

$$\psi_E(x) = \left(\frac{m\omega}{\pi\hbar}\right)^{1/4} \exp\left(-\frac{m\omega}{2\hbar}x^2\right),$$

которое является гауссовым распределением с центром в 0. Существование этого основного состояния отражает принцип неопределенности в том смысле, что осциллятор без энергии не может существовать (потому что тогда мы знали бы, что энергия равна нулю) и не имеет классического аналога. Более высокие энергетические состояния являются более сложными и могут быть определены путем последовательного применения оператора рождения.

Другой способ выразить это с помощью оператора. Обозначим состояния  $|n\rangle$  с соответствующим собственным значением  $n$ , тогда  $\hat{N}|n\rangle = n|n\rangle$ . Основное состояние равно  $|0\rangle$  (что не совпадает с нулевым вектором). Следующее состояние  $|1\rangle$  получается действием оператора создания на  $|0\rangle$ ,

$$|1\rangle = \hat{a}^\dagger|0\rangle$$

и

$$\hat{N}|1\rangle = \hat{a}^\dagger\hat{a}\hat{a}^\dagger|0\rangle = (\hat{a}^\dagger[\hat{a}, \hat{a}^\dagger] + \hat{a}^\dagger\hat{a}^\dagger\hat{a})|0\rangle = \hat{a}^\dagger|0\rangle = 1,$$

где мы использовали  $[\hat{a}, \hat{a}^\dagger] = 1$  и  $\hat{a}|0\rangle = 0$ . Уравнения для более высоких энергетических состояний могут быть получены рекурсивно, чтобы дать

$$|n\rangle = \frac{1}{\sqrt{n!}}(\hat{a}^\dagger)^n|0\rangle.$$

Состояния  $|n\rangle$  образуют ортонормированный базис, поэтому любое состояние может быть описано в терминах линейной комбинации этих состояний.

Можно также рассчитать ожидаемые значения величин для различных энергетических уровней. Некоторые алгебры, использующие операторы рождения и уничтожения, показывают, что

$$\begin{aligned}\langle n|\hat{x}|n\rangle &= \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega}}\langle n|\hat{a} + \hat{a}^\dagger|n\rangle = 0 \\ \langle n|\hat{p}|n\rangle &= i\sqrt{\frac{m\omega\hbar}{2}}\langle n|\hat{a}^\dagger - \hat{a}|n\rangle = 0\end{aligned}$$

$$\langle n|\hat{x}^2|n\rangle = \frac{\hbar}{2m\omega} \langle n|(\hat{a} + \hat{a}^\dagger)^2|n\rangle = \frac{\hbar}{m\omega} \left(n + \frac{1}{2}\right)$$

$$\langle n|\hat{p}^2|n\rangle = \frac{m\omega\hbar}{2} \langle n|(\hat{a}^\dagger - \hat{a})^2|n\rangle = m\omega\hbar \left(n + \frac{1}{2}\right)$$

Поэтому неопределенности в положении и импульсе удовлетворяют

$$\Delta x \Delta p = \sqrt{\langle n|\hat{x}^2|n\rangle} \sqrt{\langle n|\hat{p}^2|n\rangle} = \frac{\hbar}{m\omega} \left(n + \frac{1}{2}\right) \geq \frac{\hbar}{2m\omega},$$

это принцип неопределенности Гейзенберга.

Другим полезным оператором является оператор перевода, определенный как

$$T_{x_0} = e^{-\frac{i}{\hbar}\hat{p}x_0},$$

он действует на состояние  $|\psi\rangle$ , перемещая его на величину  $x_0$ . Чтобы убедиться в этом, пусть ожидаемое значение  $x$  в состоянии  $|\psi\rangle$  есть

$$\langle \hat{x} \rangle_\psi = \sqrt{\langle \psi|\hat{x}|\psi\rangle}$$

и ожидание  $\hat{x}$  в состоянии  $T_{x_0}|\psi\rangle$  есть

$$\langle \hat{x} \rangle_{T_{x_0}|\psi} = \langle \psi|T_{x_0}^\dagger \hat{x} T_{x_0}|\psi\rangle = \langle \psi|e^{\frac{i}{\hbar}\hat{p}x_0} \hat{x} e^{-\frac{i}{\hbar}\hat{p}x_0}|\psi\rangle.$$

Выражение, включающее скобки, может быть решено, что дает

$$\langle \hat{x} \rangle_{T_{x_0}|\psi} = \langle \psi|\hat{x} + \frac{i}{\hbar}[\hat{p}, \hat{x}]x_0|\psi\rangle = \hat{x} + x_0,$$

как и ожидалось<sup>16</sup>.

Если оператор трансляции применяется к основному состоянию  $|0\rangle$ , то новое состояние называется когерентным состоянием и может быть выражено в терминах операторов рождения и уничтожения следующим образом:

$$|\hat{x}_0\rangle = T_{x_0}|0\rangle = \exp\left(-\frac{i}{\hbar}\hat{p}x_0\right)|0\rangle = \exp\left(\frac{x_0}{\sqrt{2d}}(\hat{a}^\dagger - \hat{a})\right)|0\rangle,$$

или же

$$|a\rangle = D(a)|0\rangle,$$

где  $d = \sqrt{\frac{\hbar}{m\omega}}$  шкала длины,  $\alpha = \frac{x}{\sqrt{2d}}$ , и

$$D(a) = \exp(a\hat{a}^\dagger - a^*\hat{a})|0\rangle$$

известен как оператор перемещения. Когда  $\alpha$  реально, как здесь, смещение происходит только в положении, а мнимые значения соответствуют смещению по импульсу.

Расчет показывает, что полная энергия переведенной системы увеличивается относительно энергии основного состояния на величину  $\frac{1}{2}m\omega^2x_0^2$ , что имеет смысл, поскольку соответствует классической потенциальной энергии частицы на пружине, растянутой на величину  $x_0$ . Однако система не находится в едином энергетическом состоянии, а имеет вид

$$|\hat{x}_0\rangle_t = \sum_{n=0}^{\infty} c_n |n\rangle.$$

Вероятность получения энергии, равной  $E_n$ , равна  $c_n^2 = \frac{\lambda}{n!} e^{-\lambda}$ , что есть распределение Пуассона со средним  $\lambda = \frac{m\omega x_0^2}{2\hbar}$ .

До сих пор мы рассматривали систему только в статическом смысле. Чтобы изучить, как волновая функция  $|\psi\rangle$  развивается со временем, мы пишем

$$|\psi\rangle_t = \hat{U}(t, t_0)|\psi\rangle_{t_0},$$

где  $\hat{U}(t, t_0)$  – унитарный линейный оператор, который можно рассматривать как вращение гиперпространства всех возможных состояний в гильбертовом пространстве. Взятие производной по времени дает

$$\frac{\partial}{\partial t} |\psi\rangle_t = \frac{\partial \hat{U}(t, t_0)}{\partial t} |\psi\rangle_{t_0}.$$

Использование того (легко проверяемого) факта, что

$$\hat{U}(t_0, t) = \hat{U}^{-1}(t, t_0) = \hat{U}^\dagger(t, t_0),$$

далее дает

<sup>16</sup> Используя тождество Бейкера-Хаусдорфа  $e^{\hat{A}}\hat{B}e^{-\hat{A}} = \hat{B} + [\hat{A}, \hat{B}] + \frac{1}{2!}[\hat{A}, [\hat{A}, \hat{B}]] + \dots$  где все члены за исключением двух первых уничтожаются.

$$\frac{\partial}{\partial t} |\psi\rangle_t = \frac{\partial \hat{U}(t, t_0)}{\partial t} \hat{U}^\dagger(t, t_0) |\psi\rangle_t.$$

Напомним, что

$$\hat{H} = -i \frac{\partial}{\partial t},$$

дает уравнение Шредингера

$$i \frac{\partial}{\partial t} |\psi\rangle_t = \hat{H}(t) |\psi\rangle_t,$$

которое может быть решено аналогично классической версии, чтобы показать, что операторы удовлетворяют тем же колебательным уравнениям движения.

Подводя итог, квантовая модель предсказывает, что наблюдаемые энергетические уровни гармонического осциллятора будут равномерно распределены с интервалом  $\hbar\omega$  и минимальным значением до измерения, система будет находиться в состоянии суперпозиции вида  $|\psi\rangle = \sum_n A_n |n\rangle$ , где  $A_n$  – комплексные числа, а  $w_n = |A_n|^2$  – вероятность того, что осциллятор находится в состоянии  $|n\rangle$ . Эволюция состояния может быть решена с помощью уравнения Шредингера.

В качестве физического примера гармонического осциллятора можно рассматривать двухатомную молекулу, такую как молекула водорода  $H_2$ , как два атома, соединенных пружиной. Экспериментальные наблюдения показывают, что такие молекулы поглощают и испускают фотоны, частоты которых кратны частоте осциллятора, как и ожидалось. Многие другие физические системы, такие как вибрация молекул в твердом теле, могут быть аналогично аппроксимированы как система квантовых гармонических осцилляторов, поскольку предположение о линейной силе можно рассматривать как оценку первого порядка динамики вблизи минимумов потенциальной ямы. Самое главное, оказывается то, что уравнения, описывающие электромагнитные поля в квантовой физике, подобны уравнениям гармонического осциллятора с частицами, соответствующими фотонам, и основным состоянием, соответствующим энергии пустого пространства. Именно эта энергия питает появление «виртуальных фотонов», которые передают электромагнитную силу. В экономике, как показано ниже, версия осциллятора также может быть использована для моделирования динамики спроса и предложения и является основным элементом квантовых финансов.

В более общем смысле это идея представления квантовой системы как совокупности частиц, которые могут быть добавлены, удалены или переведены с помощью операторов. Действительно, другая интерпретация квантовой модели – известная как представление пространства Фока – заключается в том, что гармонический осциллятор представляет собой не одну частицу, а совокупность  $n$  фиктивных частиц, каждая из которых имеет энергию  $\hbar\omega$ . На этой картине операторы рождения и уничтожения рассматриваются как добавление и удаление этих частиц. Состояние земли или вакуума  $|0\rangle$  не имеет частиц,  $|1\rangle$  имеет одну частицу,  $|2\rangle$  имеет две и так далее. Этот метод, известный как второе квантование, лежит в основе квантовой теории поля релятивистских частиц, используемых, например, для представления систем бозонов. Как видно из следующего раздела, он также может быть применен к таким вещам, как активы, где здесь  $n$  относится к числу удерживаемых единиц.

Другая переносимая на экономику вещь – это различная природа классических и квантовых систем. В то время как классический гармонический осциллятор – это просто вес, подпрыгивающий на пружине, где такие величины, как положение, импульс и энергия, могут быть точно вычислены, квантовая версия лучше описывается с точки зрения потенциальности. Мы можем только вычислить вероятность того, что измерение даст определенный результат; а сложность квантового поведения означает, что даже это может быть легко сделано только для относительно простых систем. В экономике это ставит сильный предел тому, сколько можно получить от использования редуционистских методов.

## 6. Квантовый рынок

В приведенных выше примерах мы видели, что когнитивное состояние человека, или состояние квантового гармонического осциллятора, может быть смоделировано как элемент гильбертова пространства. Кроме того, отдельные частицы, находящиеся в наложенных состояниях, можно рассматривать в двойном смысле как совокупность фиктивных частиц в отдельных состояниях. Мы можем сделать нечто подобное для экономики в целом и смоделировать ее как совокупность взаимодействующих частиц в гильбертовом пространстве. В качестве отправной точки мы рассмотрим упрощенный финансовый рынок. Я буду следовать здесь подходу, описанному покойным физиком-теоретиком Рутгерсом Мартином Шаденом в статье 2002 года о квантовых финансах, см. эту статью для деталей и приложений.<sup>17</sup>

Предположим, что рынок состоит из совокупности агентов (инвесторов)  $j = 1, 2, \dots, J$ , покупающих и продающих активы типов  $i = 1, 2, \dots, I$ . Каждый агент имеет наличные деньги (или долг)  $x^j$ . Рынок может быть представлен как гильбертово пространство  $H$ , с базисом

$$B := \{|x^j, \{n_i^j(s) \geq 0, i = 1, \dots, I\}, j = 1, \dots, J\}.$$

<sup>17</sup> Schaden, M. (2002), 'Quantum finance', Physica A 316(1), pp. 511-538.

Здесь  $n_i^j(s)$  – количество активов  $i$  с ценой  $s$  долларов, принадлежащих инвестору  $j$ .

Индивидуальное базисное состояние представляет собой рынок, где цена каждой ценной бумаги и денежная позиция каждого агента точно известны. Базисные состояния ортогональны в том смысле, что если рынок находится в состоянии  $|m\rangle$ , то он не может быть в другом состоянии  $|n\rangle$ , поэтому если  $m \neq n$ , то скалярное произведение  $\langle m|n\rangle = 0$ . В общем случае состояние рынка (волновая функция)  $M$  никогда не известно точно и вместо этого представлено линейной суперпозицией базисных состояний  $|n\rangle$  в  $B$ :

$$|M\rangle = \sum_n A_n |n\rangle,$$

где  $A_n$  – комплексные числа, а  $w_n = |A_n|^2$  – вероятность того, что рынок находится в состоянии  $|n\rangle$ .

Фазы  $A_n$  остаются неопределенными на этом этапе, но являются ключом к пониманию таких эффектов, как интерференция. Как и в квантовой физике, эти эффекты легче увидеть при рассмотрении отдельных транзакций. Склонности каждого агента к покупке или продаже актива сами по себе могут быть смоделированы как квантовые явления, которые, как уже обсуждалось, испытывают интерференционные эффекты, и они могут взаимодействовать, чтобы повлиять на рынок в целом. Мы вернемся к этому ниже.

Если мы определим основное состояние  $|0\rangle$  как рынок, на котором агенты не держат никаких активов, включая денежные средства, то мы можем построить реальный рынок, передавая агентам денежные средства и активы. Этот подход аналогичен тому, который используется в квантовой механике многих тел для моделирования поведения набора бозонов, поэтому доли добавляются или удаляются из учетной записи агента с помощью оператора рождения  $\hat{a}_i^{\dagger j}(s)$  и оператора уничтожения  $\hat{a}_i^j(s)$ . Создание денег осуществляется с помощью оператора перевода формы

$$\hat{c}^{\dagger j}(s) = \exp\left(-s \frac{\partial}{\partial x}\right),$$

что увеличивает количество наличных денег, удерживаемых агентом  $j$ , на  $s$  единиц валюты. Аналогично Эрмитов сопряженный оператор  $\hat{c}^j(s) = \hat{c}^{\dagger j}(-s)$  понижает денежное содержание агента  $j$  на сумму  $s$ .

Хотя это может быть неочевидно из этих сухих уравнений, и мы не рассматривали такие факторы, как создание денежных объектов через выпуск долга, деньги все еще имеют очень особую (но обычно заниженную) роль в квантовой модели. В отличие от других активов, они имеют стабильную определенную цену. В первую очередь, без денег невозможно назначить цену другим активам. Тот факт, что эти активы имеют неопределенную стоимость, придает деньгам их дуалистические свойства, сочетая в себе как стабильные числа, так и нестабильные значения. Хотя актив не может иметь отрицательную цену, агент может иметь отрицательную сумму денег. Наконец, деньги часто создаются в первую очередь за счет кредитов, которые приводят к запутыванию, как описано ниже.

Покупка и продажа одной единицы актива агентом  $j$  по цене  $s$  представлена операторами рождения и уничтожения в сочетании с денежными переводами, которые отражают обмен денег:

$$\begin{aligned}\hat{b}_i^{\dagger j}(s) &= \hat{a}_i^{\dagger j}(s)\hat{c}^j(s), \\ \hat{b}_i^j(s) &= \hat{a}_i^j(s)\hat{c}^{\dagger j}(s).\end{aligned}$$

Мы можем построить произвольное состояние рынка из состояния вакуума, используя эти операторы для последовательной передачи денежных средств и ценных бумаг каждому агенту. Чтобы изучить, как волновая функция рынка развивается со временем, мы пишем

$$|M\rangle_t = \hat{U}(t, t_0)|M\rangle_{t_0},$$

где  $\hat{U}(t, t_0)$  – унитарный линейный оператор. Динамическое поведение системы определяется Гамильтонианом  $\hat{H}(t)$ , который снова удовлетворяет уравнению Шредингера

$$i \frac{\partial}{\partial t} |M\rangle_t = \hat{H}(t)|M\rangle_t.$$

Затем можно разработать Гамильтонианы для таких вещей, как денежный поток, торговля ценными бумагами и т. д. (Хотя математика обычно сложнее, чем для чего-то вроде гармонического осциллятора). Как показали Schaden и другие исследователи, они, в свою очередь, могут быть использованы для получения статистических свойств рынков.

Переменные этой системы могут быть свободно интерпретированы в терминах физических аналогий. Цены актива (или, точнее, его логарифм) подобны позиции. Как и в физике, существует отношение неопределенности, включающее цену актива и импульс изменения цены. Создание денег или активов добавляет энергию (измеренную Гамильтонианом) к общей энергии системы. Те же самые методы, используемые для изучения многочастичных квантовых систем, могут затем применяться для предсказания поведения рынка либо в закрытой форме, либо путем явного моделирования каждого агента.

В качестве простого примера Гамильтониана в финансах рассмотрим случай сберегательного инструмента, содержащего начальную сумму денежных средств  $x_0$ , которая накапливается по процентной

ставке  $r$ . Классическим Гамильтонианом для этой системы является  $H = rxq$ , где (в классической нотации)  $q$ -сопряженная переменная  $x$ .<sup>18</sup> Тогда мы имеем

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \frac{\partial H}{\partial q} = rx \\ \frac{dq}{dt} &= -\frac{\partial H}{\partial x} = -rq.\end{aligned}$$

Решение тогда дает

$$\begin{aligned}x &= x_0 e^{rt} \\ q &= q_0 e^{-rt},\end{aligned}$$

из чего следует, что Гамильтониан постоянен во времени:

$$H = rxq = rx_0 e^{rt} q_0 e^{-rt} = rx_0 q_0.$$

Обратите внимание, что изменение  $q_0$  не влияет на результат для  $x$ , поэтому мы можем установить  $q_0 = 1$ , тем самым  $q = e^{-rt}$  – это стоимость одной единицы валюты, приведенная к моменту  $t = 0$ .

По аналогии с физической системой количество денег  $x$  можно интерпретировать как имеющее размерность длины  $L$ . Импульс  $q = m\dot{x}$  имеет единицы  $MLT^{-1}$  (масса, умноженная на скорость за время), сила, действующая на импульс  $s = \dot{q} = m\ddot{x}$ , имеет единицы  $MLT^{-2}$ , а работа, выполняемая силой, имеет единицы  $ML^2T^{-2}$ . Поскольку система взрывается по размеру (поэтому становится менее плотной) без ввода энергии, член инерционной массы не является постоянным, а уменьшается экспоненциально, с решением  $m = m_0 e^{-2rt}$ , где  $m_0 = \frac{q_0}{rx_0}$ . Как и в ядерном реакторе, масса преобразуется в другую форму энергии.

Чтобы квантовать систему, мы снова заменяем Гамильтониан  $H$  и классические переменные  $x$  и  $p$  операторами. Поскольку Гамильтониан должен быть Эрмитовым, мы должны записать его в симметричной форме как

$$\hat{H} = \frac{r}{2} (\hat{x}\hat{q} + \hat{q}\hat{x}).$$

Затем можно использовать стандартные методы, чтобы показать, что распределение вероятностей денежных запасов соответствует тому, что ожидалось от классического случая (как отмечает Шаден, квантовый подход вступает в свои права только тогда, когда будущие доходы неопределенны). Можно провести аналогию с Гамильтонианом многозонной системы  $\hat{H} = \hbar\omega \left( \hat{N} + \frac{1}{2} \right)$ . Процентная ставка  $r$ , которая, как и  $m$ , имеет единицы обратного времени, играет роль частоты (другой способ рассматривать ее как частоту фиксированного платежа), в то время как начальная инвестиция играет роль оператора числа  $\hat{N}$  (плюс  $\frac{1}{2}$  вклад основного состояния). В случае однократного денежного перевода величины  $s$  в момент времени  $t = t_0$  Гамильтониан становится  $\hat{H}(t) = s\delta(t - t_0)\hat{q}(t)$ , где дельта функция  $\delta(t - t_0)$  имеет значение 1 при  $t = t_0$  и 0 в другие моменты времени.

Модель денежного потока рассматривает счет как черный ящик, который волшебным образом производит деньги по фиксированной ставке  $r$ . Нет никаких входов или выходов, поэтому Гамильтониан остается постоянным, даже когда номинальная сумма денег увеличивается бесконечно. В то время как такие изолированные системы не существуют в реальности, простая модель в сочетании с идеей рождения квантовых денег поучительна в том, как инфляция происходит в чем-то вроде рынка жилья. Как подчеркивается в книге, деньги создаются частными банками каждый раз, когда они выдают ипотеку. Если предположить, что ипотечное кредитование продолжается устойчивыми темпами, то денежная масса будет расти с некоторой скоростью  $r$  (на рисунке 3 в *Quantum Economics* денежная масса Канады растет с годовой скоростью около 6,5 процента, поэтому  $r = 0,065$ ). Если эти деньги затем используются для повышения цен на дома, то рост цен на дома будет отслеживать рост денежной массы, даже если реальная стоимость домов остается неизменной.

Важное различие между наличностью и ценной бумагой заключается в том, что в то время, как деньги во время сделок сохраняются в постоянном количестве, купленная ценная бумага эволюционирует в суперпозицию состояний, каждое из которых имеет различные цены с амплитудами, определяющими вероятность продажи по этой цене. В качестве примера предположим, что конкретный инвестор изначально не имеет акций в конкретной компании, а затем приобретает одну акцию в момент времени 0 по цене  $s_0$ .<sup>19</sup> Сделав ряд упрощающих допущений и некоторые довольно сложные вычисления, Шаден

<sup>18</sup> Смотри также Bensoussan, A., Chutani, A. & Sethi, S. (2009), 'Optimal Cash Management under Uncertainty', *Operations Research Letters* 37:425-429.

<sup>19</sup> Начальное состояние  $|M_0\rangle$  может быть описано  $|M_0\rangle = \hat{b}^\dagger(s_0)|\tilde{M}_0\rangle$ , где  $\hat{b}(s_0)|\tilde{M}_0\rangle = 0$ . Здесь для ясности были поданы индексы для других акций и инвесторов, а  $\tilde{M}_0$  – состояние, в котором инвестора не имеет доли в компании (вот почему оператор аннигиляции достигает 0). В момент  $T$ , состояние эволюционирует в  $|M_T\rangle = \hat{U}(t, t_0)|M_0\rangle$ . Вероятность того, что инвестор может продать одну акцию по цене  $s$  может быть вычислена при рассмотрении произведения  $\langle \tilde{M}_T | \hat{b}(s) | M_T \rangle$ , где  $\tilde{M}_T$  – снова состояние, которое уничтожается  $\hat{b}(s)$ .

показывает, что вероятность последующей продажи акции через время  $T$  по цене  $s$  следует логнормальному распределению, которое зависит от ожидаемой доходности и волатильности акции<sup>20</sup>. Это хорошо известный эмпирический результат, который может быть получен из стандартных стохастических подходов, поэтому служит, в первую очередь, в качестве проверки согласованности. Однако это справедливо только для промежуточных временных масштабов месяца или более, а также предполагает, что рынок находится вблизи равновесия. Квантовый подход помогает объяснить, как эта модель преломляется в более коротких временных масштабах или для активов, которые редко торгуются.

Подводя итоги этого раздела, можно представить рынок как гильбертово пространство, в котором цена актива точно известна только в момент совершения сделки. Владение и контекст важны, поэтому актив, купленный одним лицом по одной цене, отличается от того же актива, купленного другим лицом по другой цене. Как и в квантовом познании, акт измерения цены актива – в данном случае путем покупки или продажи – оказывает влияние на цену. Построив соответствующее Гамильтоново уравнение, мы можем изучить динамику эволюции рынка. Как и в физике, сложность системы означает, что поведение макроуровня часто характеризуется эмерджентными свойствами, которые не могут быть сведены к некоторому более низкому уровню. Опять же, это отличается от классического подхода, который предполагает, что активы имеют определенную внутреннюю стоимость, независимую от контекста; деньги не играют важной роли, кроме как в качестве показателя; и расчеты могут быть основаны на микроосновах индивидуальной оптимизации полезности.

Как и квантовое познание, квантовые финансы стали значительной областью исследований, и многие работы показывают эмпирические результаты. Если предположить, что рынки велики и почти эффективны, то результаты, как правило, приближаются к результатам, полученным при классическом подходе. (Действительно, исследователи до сих пор в основном склонялись к соблюдению классических предположений, таких как эффективность, в попытке воспроизвести известные результаты.) Однако квантовые эффекты становятся более важными для рынков, которые торгуются тонко, и квантовый подход может также использоваться для описания рынков, управляемых настроениями инвесторов, где существует значительная степень запутанности между участниками рынка.

В то время как квантовые финансы концентрируются на специализированном случае финансовых рынков и используются для изучения свойств активов, таких как акции или облигации, та же самая методология в принципе может быть расширена для описания рынков в целом и служить основой математического описания квантовой экономики. Опять же, деньги играют особую роль как актив с фиксированной ценой, а цена всего остального неопределенна, пока не измерится с помощью денежных операций.

#### References:

1. Автор Ahn K, Choi MY, Dai B, Sohn S and Yang B (2017). Modeling stock return distributions with a quantum harmonic oscillator. *EPL* 120(3) , 38003.
2. Baaquie BE (2007) *Quantum Finance: Path Integrals and Hamiltonians for Options and Interest Rates*. Cambridge: Cambridge University Press.
3. Bagarello F (2006) An operatorial approach to stock markets. *Journal of Physics A* 39 (22): 6823-6840.
4. Balvers R , Wu Y, and Gilliland E (2000). Mean Reversion across National Stock Markets and Parametric Contrarian Investment Strategies. *The Journal of Finance*, 55: 745-772.
5. Bouchaud J-P (2009). The (unfortunate) complexity of the economy. *Physics World*, 22, pp. 28–32.
6. Brogioli, Doriano. (2013). Violation of the mass-action law in dilute chemical systems. *The Journal of chemical physics*. 139(18): 184102.
7. Bromiley PA (2018) Products and Convolutions of Gaussian Probability Density Functions, Tina Memo No. 2003-003. Available from: <http://www.tina-vision.net/docs/memos/2003-003.pdf>
8. Busemeyer J and Bruza P (2012). *Quantum Models of Cognition and Decision* (Cambridge: Cambridge University Press).
9. Fama EF (1965). *Random walks in stock-market prices*. Chicago: Graduate School of Business, University of Chicago.
10. Fernández de Córdoba P, Isidro J, & Vázquez Molina J (2016). Schroedinger vs. Navier–Stokes. *Entropy* 18(1):34.
11. Fischer R & Braun, D (2003). Nontrivial bookkeeping: A mechanical perspective. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 324: 266-271.
12. Goldstein S, Hara T, & Tasaki H (2015). Extremely quick thermalization in a macroscopic quantum system for a typical nonequilibrium subspace. *New Journal of Physics* 17(4): 045002.
13. Gonçalves, C.P. & Gonçalves, C. (2008), 'An Evolutionary Quantum Game Model of Financial Market Dynamics – Theory and Evidence'. *Capital Markets: Asset Pricing & Valuation* 11(31).

---

<sup>20</sup> Формула  $P_T(s|s_0) = \frac{1}{s\sigma\sqrt{2\pi T}} \exp\left[-\frac{\left(\ln\left(\frac{s}{s_0}\right) - \mu T\right)^2}{2\sigma^2 T}\right]$  где  $\mu$  – ожидаемая отдача, а  $\sigma$  – волатильность.

14. Gusev M, Kroujiline D, Govorkov B, Sharov S, Ushanov D, Zhilyaev M (2015). Predictable markets? A news-driven model of the stock market, *Algorithmic Finance*, 4 (1-2), pp. 5-51.
15. Haven E, Khrennikov A & Robinson T (2017). *Quantum Methods for Social Science: A First Course*, New Jersey: World Scientific.
16. Höne KE (27 April 2017). Quantum Social Science. *Oxford Bibliographies*. Available at: <http://www.oxfordbibliographies.com/view/document/obo-9780199743292/obo-9780199743292-0203.xml>
17. Khrennikova P & Patra S (2019). Asset trading under non-classical ambiguity and heterogeneous beliefs. *Physica A* 521(C): 562-577.
18. Kondratenko, AV (2015). *Probabilistic Economic Theory*, Novosibirsk: Nauka.
19. Lecca P. (2013). Stochastic chemical kinetics : A review of the modeling and simulation approaches. *Biophysical reviews*, 5(4), 323–345.
20. Meng X, Zhang J-W, Xu J, Guo H (2015), “Quantum spatial-periodic harmonic model for daily price-limited stock markets”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 438 (15), pp. 154-160.
21. Norwich KH (1993). *Information, sensation, and perception*. San Diego, CA: Academic Press.
22. Orrell D (2017). A Quantum Theory of Money and Value, Part 2: The Uncertainty Principle. *Economic Thought* 6(2): 14-26.
23. Orrell D (2018). *Quantum Economics: The New Science of Money*, London: Icon Books.
24. Orrell D (2018a). Quantum Economics. *Economic Thought* 7(2): 63-81.
25. Orrell D & Bolouri H (2004). Control of internal and external noise in genetic regulatory networks. *Journal of Theoretical Biology* 230(3):301-12.
26. Piotrowski E W & Śładkowski J (2001). Quantum-like approach to financial risk: Quantum anthropic principle. *Acta Physica Polonica*, B32, 3873–3879.
27. Piotrowski EW, Schroeder M & Zambrzycka A (2006). Quantum extension of European option pricing based on the Ornstein Uhlenbeck process. *Physica A*. 368: 176–182
28. Qadir A (1978) Quantum Economics. *Pakistan Economic and Social Review*, 16(3/4): 117–126.
29. Rae, AIM (2008), *Quantum Mechanics* (5th edn) (London: Taylor & Francis).
30. Ramsey S, Orrell D, Bolouri H (2005). Dizzy: stochastic simulation of large-scale genetic regulatory networks. *Journal of bioinformatics and computational biology* 3 (02), 415-436.
31. Ramsey S, Smith J, Orrell D, Marelli M, Petersen T, de Atauri P, Bolouri H, Aitchison J (2006), ‘Dual feedback loops in the GAL regulon suppress cellular heterogeneity in yeast’, *Nature genetics* 38(9): 1082.
32. Roos N (2014), Entropic forces in Brownian motion, *American Journal of Physics* 82(12): 1161-1166.
33. Schaden M (2002) Quantum finance. *Physica A* 316(1): 511-538.
34. Segal W & Segal IE (1998), The Black–Scholes pricing formula in the quantum context. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95(7): 4072-4075.
35. Sokolov IM (2010) Statistical mechanics of entropic forces: disassembling a toy. *European Journal of Physics* 31: 1353–1367.
36. Titievsky K (2005) Lecture 14: Applications in Statistical Mechanics. Department of Chemical Engineering, MIT. <https://ocw.mit.edu/courses/mathematics/18-366-random-walks-and-diffusion-fall-2006/study-materials/lec14.pdf>.
37. Wendt A (2015) *Quantum Mind and Social Science: Unifying Physical and Social Ontology*. Cambridge: Cambridge University Press.
38. Whelan J and Msefer K (1994). Economic Supply & Demand. MIT System Dynamics in Education Project. Available from: <https://ocw.mit.edu/courses/sloan-school-of-management/15-988-system-dynamics-self-study-fall-1998-spring-1999/readings/economics.pdf>
39. Williams PM (1980). Bayesian Conditionalisation and the Principle of Minimum Information, *The British Journal for the Philosophy of Science* 31(2): 131-144.
40. Yukalov VI & Sornette D (2014), Conditions for Quantum Interference in Cognitive Sciences. *Topics in Cognitive Science* 6: 79-90.

David Orrell, ([leonorrell@yahoo.com](mailto:leonorrell@yahoo.com))

#### Ключевые слова

Ключевые слова: квантовая экономика, квантовые финансы, квантовое познание, энтропийные силы, гармонический осциллятор, квантовая агент-ориентированная модель

#### **David Orrell, A quantum model of supply and demand**

#### Keywords

quantum economics, quantum finance, quantum cognition, entropic forces, harmonic oscillator, quantum agent-based model

DOI: 10.34706/DE-2019-04-06  
JEL Classification: D00, D80, G10

Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.122928>

**Abstract**

This document gives a technical introduction to some of the mathematics used in quantum economics and is intended as a supplement for the book *Quantum Economics: The New Science of Money*. quantum economics, such as the quantum theory of money and value, do not rely on equations. However, the quantum formalism *is* mathematical, so to fully exploit its ideas some mathematics is useful. The aim here is to sketch out the way in which the economy can be represented mathematically using the quantum formalism, show the advantages over the classical approach, and clarify what it means to say that the economy can be treated as a quantum system in its own right.

Перевод сделан по согласованию с автором на основе свободно распространяемой версии текста Orrell, D. Introduction to the mathematics of quantum economics, размещенного в открытом доступе по адресу <http://www.postpythagorean.com/quantumeconomicmath.pdf>

### 3. ОБЗОРЫ

#### 3.1. К ВОПРОСУ О СТОИМОСТИ В СОВРЕМЕННОЙ ЭКОНОМИКЕ

Миронов В. Н., ЦЭМИ РАН, Москва

*В статье на основе литературных источников дан краткий обзор теорий стоимости и возможностей их применения в цифровой экономике. Проведенный анализ показывает, что из всех известных на сегодняшний день подходов достаточно адекватными новым требованиям могут быть только функциональный подход, восходящий к В. Парето, и поведенческие подходы.*

##### **Введение**

Понятие стоимости является фундаментальным в экономике, споры о нем актуальны по сей день. Термин «стоимость» используется экономистами-теоретиками, оценщиками, бухгалтерами и госслужащими в совершенно разном смысле, причем значение может сильно меняться и в зависимости от контекста. Подразумеваемая обычно обывателем под стоимостью «рыночная стоимость» очень редко может быть наблюдаема и найдена на практике. В специальной литературе по оценочной деятельности и теории профессиональной оценки регулярно упоминается, что «равновесная цена на рынке» и «рыночная стоимость» – это не одно и то же (Тевелева, 2018). В случае оценки стоимости актива речь следует вести скорее о стоимости в использовании или об инвестиционной стоимости, хотя нормативные правовые документы, включая стандарты оценочной деятельности, обычно предписывают определять «рыночную стоимость». В данной статье предпринята попытка сделать краткий обзор концепций понятия стоимости от истоков экономической науки до наших дней и выделить ключевые идеи, которые следует принимать во внимание, говоря о стоимости в экономике знаний и в цифровой экономике. При этом особое внимание уделено тому, как трактуется понятие «стоимость» в современных учебных пособиях, поскольку на этой основе готовятся кадры для цифровой экономики.

Теория стоимости подразумевает попытки экономистов объяснить взаимозаменяемость товаров, предполагая наличие качества, которое наделяет товары внутренней ценностью (Orlean, 2014). Таким образом, понятие стоимости является одним из ключевых в экономической теории. Исторически данный вопрос восходит к античности. Одним из первых анализ экономических связей и закономерностей общества провел древнегреческий философ Аристотель. Его размышления относительно двоякости любого товара, включающего как потребительскую, так и меновую функцию, поставило перед экономистами вопросы, не теряющие актуальности до сих пор (Соснина, 2005). Начиная с Аристотеля, возникли объективистский и субъективистский подходы к определению природы стоимости. Согласно первому из них, источником стоимости является труд, затраченный на производство обмениваемого товара. Согласно второму, основа стоимости – оценка полезности товара в сравнении его с другими товарами. Но и тут необходимо уточнение. Если мы говорим о полезности товара, то естественным образом возникает вопрос о том – для кого? При совершении сделки неявно предполагается, что полезность товара для покупателя выше, а для продавца – ниже, чем согласованная между ними цена. Тем не менее, вопрос о реальной стоимости товара не праздный. Каузальный подход предполагает, что существует некая объективная стоимость, функциональный подход, восходящий к В. Парето, основан на предположении, что никакой объективной стоимости не существует, стоимость возникает только в конкретной сделке. У этих двух фундаментальных подходов есть множество вариаций, о чем можно прочитать в специальной литературе (Тевелева, 2018, Anderson, 2013). Основными историческими вехами развития теории стоимости, согласно довольно популярной в России концепции, признаны следующие:

- затратное направление на основе теории затрат труда;
- затратное направление на основе издержек производства;
- направление маржинализма, основанное на вере в теорию предельной полезности;
- направление маржинализма, включившее, помимо понятия предельной полезности, концепцию предельных издержек производства;
- направление маржинализма, дополненное концепцией затрат труда;
- поведенческое направление на основе поведения потребителя;
- поведенческое направление, учитывающее концепцию несовершенной конкуренции на рынке;
- поведенческое направление, включившее концепцию поведения коллективных институтов (Ядгаров, 2016).

Последнее из перечисленных в данном списке направлений сформулировано очень широко, поскольку к числу институтов относится и оценочная деятельность, и налоговая система, и много чего еще. При этом разные институты даже в одной стране предлагают разные понятия «рыночной стоимости».

### **Теории стоимости на основе каузального подхода**

Дискуссии о теории стоимости традиционно восходят к работам Адама Смита, однако с точки зрения современного анализа теория стоимости на основе издержек производства «пуста и бессмысленна». Ведь заключить, что «цена вещи – это цена, покрывающая лишь денежные издержки на изготовление этой вещи, – значит объяснить цены ценами» (Блауг, 1994). В этом смысле Адам Смит вообще не создал адекватной теории стоимости. Следующий шаг сделал Давид Рикардо, показав, что однофакторная теория стоимости может объяснять формирование цен в реальном мире. Результаты Рикардо привели к созданию трудовой теории стоимости, которая может служить при определенных обстоятельствах первым приближением к проблеме определения цены, но сейчас её никак нельзя признать универсально применимой. В целом, хотя в литературе все ещё встречается обоснование затратной теории стоимости и следующей из нее концепции эквивалентности обмена товара и услуг на рынке, представляется, что данное направление теории в наши дни является несостоятельным (Устюжанина, 2003). Несмотря на то что цена отдельных товаров и услуг может быть относительно корректно рассчитана на основе теории затраченного времени и труда (например, в таких сферах, как медицина, юриспруденция, ремонт или консалтинг), затратная теория даёт абсолютно некорректные результаты для многих других областей, в частности, если дело касается стоимости объектов интеллектуальной собственности и нематериальных активов (Козырев, Макаров, 2003).

### **Маржиналистская теория**

Маржиналистская теория, получившая значительное развитие во второй половине XIX и начале XX века и связываемая, прежде всего, с именами Леона Вальраса и Альфреда Маршалла, во многом приравнивает стоимость к субъективной ценности товаров, определяемой на основе предельной полезности товаров для субъекта, которая складывается из субъективных оценок относительно способности товара удовлетворять человеческие потребности. Следующее отсюда установление стоимости товара в точке пересечения стоимости графиков предложения и спроса на однопериодном конкурентном рынке стало основой неоклассической экономической теории, до сих пор признаваемой многими западными экономистами. Концепции ведущих теоретиков предельной полезности и предельных издержек оказали конструктивное влияние на развитие теории стоимости, её оценки и управления ею. Маржиналисты заложили базис под сравнительный подход к оценке стоимости, определяемой из субъективных представлений пользователя о ценности данного объекта среди аналогов. При этом на стоимость оказывают прямое влияние полезность и редкость объекта. Важно отметить, что Альфред Маршалл не поддерживал крайних взглядов маржиналистов австрийской школы, которые полностью связали стоимость с субъективной полезностью, а экономический анализ – с психологическими факторами (Худокормов, 1994). Маршалл во многом сводил понятие стоимости к понятию равновесной цены, учитывая при этом в своем анализе определенно существующие объективные закономерности. Его воззрения стали основой для дальнейшего развития теории стоимости в рамках неоклассической теории в течение XX века. Важно отметить, что допущения, на которых базируется неоклассическая теория стоимости фирмы плохо согласуются с функционированием реальных экономических систем (Anderson, 2013). В частности, неоклассические модели подразумевают известность функций выручки и цены, наличие полной информации у менеджеров и максимизацию в течение одного периода – все эти условия выполнимы только в рамках теоретических построений.

### **Поведенческие теории стоимости**

Впоследствии экономическая теория стоимости была дополнена подходом с поведенческой точки зрения. Первыми с таким подходом к проблеме стоимости обратились родоначальники институционализма Торстен Веблен и Джон Коммонс (Ядгаров, 2016). Они в числе прочих включали в факторы, формирующие стоимость, неценовые факторы, обусловленные поведением потребителей в рамках наличия на рынке признаков монополии. Веблен относил к таким факторам человеческие склонности, привычки и инстинкты, а Коммонс – правовые основания и действия коллективных институтов. В целом поведенческие теории учитывают следующие аспекты: 1) распространение масштабов практики установления стоимости посредством переговоров и коллективных решений; 2) обусловленность толкования стоимости на основе оценки будущих благ и дохода с учетом поведения людей и их коллективных действий. Понимание важности измерения в экономике может стать дополнительным подспорьем к развитию современной теории определения стоимости активов или бизнеса в целом. Если говорить о современности, то нельзя упускать из рассмотрения институт профессиональной оценки, зародившийся в США в 30-х годах прошлого века и постепенно эволюционировавший. Сначала профессиональная оценка возникла как оценка приносящей доход недвижимости, затем сфера ее интересов расширилась до оценки практически любых активов, бизнеса и интеллектуальной собственности. При этом теоретическое обоснование оценочной деятельности основывается, прежде всего, на взглядах Альфреда Маршалла. В чем есть некоторый парадокс. Практика оценочной деятельности должна квалифицироваться как поведенческий подход к определению стоимости, а ее теоретическое обоснование – как маржиналистский.

### **Экспериментальная экономика и теории стоимости**

Развитие экспериментальной экономики дало новый импульс более глубокому пониманию теории стоимости. Больших результатов в данной области добился основатель этого направления Вернон Смит

(Микерин, Гребенников, Нейман, 2003). Его эксперименты позволили проверить фундаментальные закономерности экономической теории: установление равновесия между рыночным спросом и предложением в условиях совершенной конкуренции, и соответственно, рыночной цены, отвечающей этому равновесию, при которой стоимость, которая имеет благо для предельного покупателя, совпадает с одной для предельного продавца. В ходе лабораторных экспериментов оценки стоимости со стороны покупателей и продавцов приводят к образованию двух величин: минимальной приемлемой цены продажи и максимальной приемлемой цены покупки. Интуитивно понятно, что возможная справедливая рыночная цена блага должна лежать в промежутке между этими величинами, естественно, в том случае, если этот промежуток имеет место быть (первая величина не больше второй). Работы Вернона Смита показали, что лабораторные цены оказались достаточно близки к теоретическим стоимостям, несмотря на недостаток информации у субъектов эксперимента. Представляется, что природа стоимости в традиционной экономике обусловлена как некоторыми объективными экономическими закономерностями, так и наличием субъективных факторов оценки ценности данного блага. Возможность возникновения объективной и равновесной стоимости, которую можно считать рыночной, появляется только в определенных институциональных условиях. При этом методика оценки стоимости в рамках экспериментальных расчетов может учитывать как рыночные (объективные), так и инвестиционные (субъективные) факторы. Вместе с тем, надо признать, что в рамках лабораторных экспериментов по Вернону Смиту можно экспериментировать лишь с очень простыми типами сделок, к числу которых точно не относятся соглашения о передаче технологий, приводящие к переделу рынков, и другие крупные сделки.

#### **Экономика знаний и функциональный подход к понятию стоимости**

Функциональный подход в том виде, как он представлен в монографии (Anderson P. 2013), изначально ориентирован на оценку бизнеса, причем бизнес рассматривается как управляемая система, а стоимость бизнеса находится из решения уравнения Беллмана. Такой подход представляется наиболее адекватным для применения в экономике знаний или той экономике, которую сегодня принято называть цифровой экономикой или, как вариант, экономикой внимания. Выбор названия в данном случае более зависит от того, на какой аспект делается основной упор. Так, термин «экономика знаний» подчеркивает ценность знаний (информации) в современной экономике, термин «цифровая экономика» подчеркивает представление информации в цифровом формате, а термин «экономика внимания» – нарастающий дефицит внимания по мере цифровизации и нарастания объемов информации. Современная экономика, как бы ее ни назвать, характеризуется высокой долей нематериальных ценностей в стоимости фирмы. Иногда говорят, что «высокой долей нематериальных активов», но это может приводить к путанице, поскольку термин «нематериальный актив» используется в бухгалтерском учете, причем имеет там вполне определенный смысл. А когда мы говорим о стоимости фирмы, то речь идет о более широком наборе факторов, далеко не все из которых отражаются в бухгалтерском балансе. Более того, многие из таких ценностей не могут отражаться в бухгалтерском балансе. Типичные примеры – квалификация персонала, личная репутация руководителя фирмы. Но и те ценности, которые могут считаться нематериальными активами с точки зрения бухгалтерского учета, требуют особого подхода.

Оценка стоимости объектов интеллектуальной собственности и других объектов, по сути являющими собой *знания*, сопряжена со значительными трудностями, проистекающими из самой природы знаний. Знания имеют два важных свойства с точки зрения экономики: во-первых, их сложение идемпотентно, во-вторых, передача знаний в цифровой форме может быть осуществлено практически без потерь информации и без весомых затрат. В этой связи в экономике цифровых продуктов и услуг значительно возрастает влияние факта совершения сделки на стоимость актива. Во многих случаях стоимость нематериального актива создается благодаря привлечению внимания целевой аудитории, а также благодаря сетевым эффектам и использованию ценовых алгоритмов (Козырев, 2018). Тут открывается большой простор для применения математических методов, позволяющих уточнить, а иногда и пересмотреть интуитивные представления, на которых основывались до сих пор теории стоимости.

#### **Выводы**

Можно резюмировать, что только развитие функционального подхода к оценке стоимости с применением адекватной для цифровых активов новой математической базы способно привести к значительным результатам в понимании экономистами того, как создается стоимость в экономике знаний и как ее правильно оценивать. Уже сейчас ясно, что стоимость в цифровой экономике или экономике знаний создается не столько производителем, сколько соотношением разных факторов, из которых лишь часть контролируется менеджерами компаний, присутствующих на рынке. Значительная часть факторов находится вне зоны их контроля.

#### **Литература:**

1. Блауг М. (1994) Экономическая мысль в ретроспективе. Пер. с англ., 4-е изд. — М.: "Дело Лтд", 1994. — 720 с.
2. Козырев А.Н., Макаров В.Л. (2003) Оценка стоимости нематериальных активов и интеллектуальной собственности. – Москва, «Интерреклама», 2003 — 352 с.

3. Козырев А.Н. (2018) Стоимость и цены в экономике цифровых продуктов. Пленарный доклад. I Всероссийская с международным участием научно-практическая конференция ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИНТЕРНЕТ И ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ, Алушта, 30.05.2018
4. Микерин Г.И., Гребенников В.Г., Нейман Е.И. (2003) Методологические основы оценки стоимости имущества. М.: ИНТЕРРЕКЛАМА, 2003. — 688 с.
5. Соснина Т.Н., (2005) Стоимость: историко-методологическое исследование. Учебное пособие: Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т. 2005. — 432с..
6. Тевелева О.В. (2018) Цифровая трансформация оценочной деятельности// Цифровая экономика, № 4, 2018. — с.38-50
7. Устюжанина Е.В. (2003) Думайте деньгами: десять заповедей экономического мышления, Москва: Воскресенье, 2003, 112 с.
8. Худокормов А.Г. (1994) История экономических учений. Ч. II: Учебник/Под ред. А.Г. Худокормова. - М.: Изд-во МГУ, 1994. - 416 с.
9. Ядгаров Я.С., ред. (2016) Эволюция теории стоимости: Учебное пособие / Под ред. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 253 с.:
10. Anderson P. (2013) The economics of business valuation: towards a value functional approach. – Stanford University Press, 2013.
11. Orléan, A. DeBevoise M. B. (2014) The Empire of Value: A New Foundation for Economics. MIT Press, 2014. JSTOR

#### References in Cyrillics

1. Blaug M. (1994) Ekonomicheskaya mys' v retrospektive. Per. s angl., 4-e izd. — М.: "Delo Ltd", 1994. — 720 s.
2. Kozыrev A.N., Makarov V.L. (2003) Ocenka stoimosti nematerial'nyh aktivov i intellektual'noj sobstvennosti. – Moskva, «Interreklama», 2003 — 352 s.
3. Kozыrev A.N. (2018) Stoimost' i ceny v ekonomike cifrovyyh produktov. Plenarnyy doklad. I Vserossiyskaya s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskaya konferenciya TENDENCII RAZVITIYA INTERNET I CIFROVOJ EKONOMIKI, Alushta, 30.05.2018
4. Mikerin G.I., Grebennikov V.G., Nejman E.I. (2003) Metodologicheskie osnovy ocenki stoimosti imushchestva. М.: INTERREKLAMA, 2003. — 688 s.
5. Sosnina T.N., (2005) Stoimost': istoriko-metodologicheskoe issledovanie. Uchebnoe posobie: Samara: Samar. gos. aerokosm. un-t. 2005. — 432s..
6. Teveleva O.V. (2018) Cifrovaya transformaciya ochenochnoj deyatel'nosti// Cifrovaya ekonomika, № 4, 2018. — s.38-50
7. Ustyuzhanina E.V. (2003) Dumajte den'gami: desyat' zapovedej ekonomicheskogo myshleniya, Moskva: Voskresen'e, 2003, 112 s.
8. Hudokormov A.G. (1994) Istoriya ekonomicheskikh uchenij. Ch. II: Uchebnik/Pod red. A.G. Hudokormova. - М.: Izd-vo MGU, 1994. - 416 s.
9. Yadgarov Ya.S., red. (2016) Evolyuciya teorii stoimosti: Uchebnoe posobie / Pod red. - М.: NIC INFRA-M, 2016. - 253 s.:

*Миронов Виктор Николаевич (victor.mironov@phystech.edu)*

#### Ключевые слова

теория стоимости, оценка стоимости, экономика знаний, рыночная цена, интеллектуальная собственность.

**Victor Mironov, To the problem of the value in the modern economics**

#### Keywords

theory of value, valuation, knowledge economy, market price, intellectual property.

DOI: 10.34706/DE-2019-04-07

JEL classification: D46 Теория стоимости

#### Abstract

The article provides a brief overview of the theories of value and the possibility of their application in the digital economy on the basis of literary sources. The analysis shows that of all the approaches known to date, only the functional approach Dating back to V. Pareto and behavioral approaches can be sufficiently adequate to the new requirements.

## 4. МНЕНИЯ

### 4.1. ИНФЛЯЦИЯ ИНФЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА В ЦИФРОВУЮ ФОРМАЦИЮ

Остарков Н.А. – к.ф.н.,  
член Генерального совета «Деловой России»

*Инфляция как полноправное понятие в рамках экономического дискурса обретает определенность в конце XIX века. Строго говоря, термин «инфляция» связан с обращением бумажных денег (говорю о монетах, лучше использовать термин «порча»). Для понимания феномена инфляции важно представлять себе развернутое на двух уровнях структурное отношение: на первом уровне – это отношение «деньги – деньги», на втором – «деньги – экономическая реальность» (неважно, в каком виде она выступает коррелятом для денежной системы – в виде ли совокупности товаров или актов, реальных транзакций или их многообразных сочетаний). Отношение «деньги-деньги» раскрывается через представление о реальных деньгах, которые являются полновесными, обладающими покупательной способностью, признаваемыми в качестве настоящих денег, и «нездоровое» бытие которых в качестве не совсем реальных денег, могущих потерять свое волшебное качество быть полновесными деньгами. Первая референция: деньги реальные, полновесные – и не очень реальные, утратившие свою способность. Вторая референция: деньги (например, как эквивалент, выразитель ценности, средство обмена) – экономическая реальность, требующая своего представления в денежном формате.*

Лет двадцать назад я наивно полагал, что производство автомобилей новых моделей должно когда-то закончиться, ведь невозможно же бесконечно придумывать для них новые названия? Но производители и маркетологи нашли выход: буквенно-цифровое обозначение позволяло идентифицировать новое творение автопрома (что-то вроде АУК-4.0 TP8) и могло заменить названия лошадей, цветов, звезд, кочевых племен и экзотических животных. А уж сочетаний из букв и цифр можно придумывать бесконечно. Дело – за производством.

В автомобильной отрасли процесс идет согласно логике поступательного (но – дискретного) развития: одна модель приходит на смену другой, автомобиль нового типа завоевывает рынок и становится (опознаётся) обязательным «элементом» линейки моделей. Напомним известный парадокс Леви-Стросса: серия означающих всегда превосходит серию означаемых (которые еще надо создать, открыть, опознать) и потому – потенциально инфляционна. Она легко преодолевает внутренние ограничения: когда наметился недостаток названий для новых моделей, серия успешно «перешагнула» через преграду и перешла на уровень цифр. Проблема снята, и производство более не ограничено дефицитом означающих. Но наметилась другая проблема: как пробиться к содержанию через назойливо-абстрактное изобилие означающих. Подобные рассуждения опираются на одну неявную предпосылку: именование (или обозначение) не имеет собственной онтологии. Она – обслуживающая реальный процесс система, ее слабое необязательное отражение. В принципе сбои, происходящие в сфере обозначений, в языковых структурах легко преодолеваются, поскольку главное – это то, что происходит на стороне обозначаемого. Было бы что обозначить, а уж имя-то мы придумаем!

Этот «автомобильный» пример мы привели с одной-единственной целью: еще раз утвердиться, что понимание знаковой системы как надстройки, отражающей реальный процесс, есть обычная, устоявшаяся точка зрения, изменить которую (и даже усомниться!) будет непросто. И только философ может помыслить ситуацию, когда имена закончатся, и, следовательно, процесс создания вещей остановится (не может же быть вещь без имени!).

На этом небольшая разминка окончена, и мы переходим к теме инфляции экономической, зафиксировав для себя, что, как бы бурно не развивалось производство вещей, знаки производить гораздо легче. Учитывая возможность перехода от букв к цифре, мы всегда будем находиться в ситуации пере-производства знаков, и именно инфляция (как индикатор пере-производства знаков) будет главной нашей проблемой.

Понятие инфляции применительно к знаковому обеспечению макроэкономики добросовестно справлялось с функцией предупреждения о надвигающемся пере-производстве означающих. Журналисты и публичные эксперты вполне усвоили мантру о том, что печатать деньги – плохо, что наступит эта самая инфляция, а за нею и еще более страшное – гиперинфляция. Однако в последнее время в мировой экономике произошло нечто значительное, позволившее нам утверждать, что инфляция перестала быть однозначным индикатором проблем, а потому её странное поведение заслуживает внимательного анализа и понимания.

Для интересующихся исключительно экономическим ракурсом этой проблемы дадим краткое изложение статьи.

- 1) Понятие инфляции отражает состояние денежной системы (например, национальной валюты) в ее корреляции с глубинными экономическими процессами. Есть ряд факторов, которые влияют на уровень инфляции, интегрально «говорящей» о состоянии экономики, и на основе мониторинга инфляции можно задавать параметры регулятивного воздействия на экономическую систему в целом.
- 2) Многофакторность воздействия на инфляцию в последнее время стала настолько обширной, что свести проблему к комплексной модели, учитывающей разнонаправленные влияющие на инфляцию факторы, не представляется возможным. Поняв это, мы тем самым поставим под вопрос возможность регулирующего воздействия на экономику на основе мониторинга инфляции.

Может быть, необходимо пересмотреть экономическую модель, в которой этот индикатор имеет столь важное значение, или же вообще отказаться от этого понятия и пересмотреть его сущность в контексте изменившейся экономической формации?

Инфляция как полноправное понятие в рамках экономического дискурса обретает определенность в конце XIX века. Строго говоря, термин «инфляция» связан с обращением бумажных денег (говоря о монетах, лучше использовать термин «порча»). Для понимания феномена инфляции важно

представлять себе развернутое на двух уровнях структурное отношение: на первом уровне – это отношение «деньги – деньги», на втором – «деньги – экономическая реальность» (неважно, в каком виде она выступает коррелятом для денежной системы – в виде ли совокупности товаров или активов, реальных транзакций или их многообразных сочетаний). Отношение «деньги-деньги» раскрывается через представление о реальных деньгах, которые являются полновесными, обладающими покупательной способностью, признаваемыми в качестве настоящих денег и «нездоровое» бытие которых в качестве не совсем реальных денег, могущих потерять свое волшебное качество быть полновесными деньгами. Первая референция: деньги реальные, полновесные – и не очень реальные, утратившие свою способность. Вторая референция: деньги (например, как эквивалент, выразитель ценности, средство обмена) – экономическая реальность, требующая своего представления в денежном формате.

Инфляция – понятие-оператор этого различения (реальные деньги и деньги, теряющие свою реальность, свою покупательную силу), который позволяет анализировать и исправлять ситуацию через воздействие и понимание второго ракурса: экономика – денежная система как её отражение, система медиации, надстроенная симулятивная модель по отношению к реальной экономике. Будем считать это референциальной парадигмой инфляции, опирающейся на представление о производности денежной системы от экономики реальной, о принципиальной вторичности денежного мира, о подкрепляемых утопией непосредственных социальных отношениях, которые в принципе достижимы в процессе преодоления отчужденных форматов социальности.

В настоящее время вокруг понятия инфляции сформировался разветвленный дискурс, далеко ушедший от простейших представлений о порче монеты или избыточности денежной массы относительно товарного её наполнения. Этому способствовал целый ряд факторов глобального порядка: быстрый рост товарного производства и усложнение его структуры; превращение системы цен и социальных трансфертов в универсальные; изменение практики ценообразования под влиянием монополистических торговых систем ритейла (логистика, склады, супермаркеты, системы закупок, резко сократившаяся сфера ценовой конкуренции).

Определились факторы, детерминирующие инфляцию и приведшие к появлению различных инфляций (инфляция издержек; инфляция спроса; инфляция предложения; инфляция, обусловленная внешними факторами (курсом национальной валюты), и внутренняя инфляция).

Многоуровневое, многофакторное явление инфляции, несмотря на усложнение экономической реальности, тем не менее продолжало «работать» внутри детерминационной цепочки. Оно все еще оставалось рационально определяемым понятием, обладающим объяснительной силой и соответствующим критериям научности. До недавнего времени...

В декабре 1995 года А. Гринспен зафиксировал нетривиальное поведение инфляции в экономике США. Прозвучал первый звоночек, обратив наше внимание на то, что инфляция высвобождается из системы рациональных взаимосвязей и отношений и становится иррациональным понятием. К концу же 1990-х стало понятно, что оно, как минимум, выпадает из цепи привычных детерминаций и начинает определяться иными, отличимыми от традиционных, факторами.

В то время, наблюдая длительное время за циклами деловой активности и анализируя состояние экономики США, А. Гринспен предполагал, что на рынках облигаций и акций возникает пузырь как следствие бума на фондовом рынке, обусловленного развитием технологий. Значит, сильно выросший фондовый рынок и увеличение прибылей и дивидендов, выплачиваемых владельцам акций, должны привести к серьезному скачкообразному росту потребительских расходов. То есть прогнозировал рост инфляции на фоне резкого увеличения спроса в различных сферах экономики. В этих условиях необходимость принять решение о повышении ставки на ближайшем заседании ФРС была очевидной. Однако решение было принято парадоксальное – снизить ставку.

И далее, в 1996-м, опять бум, рост экономики, головокружительный рост ВВП (6%). Классическая стратегия требовала поднять ставку для того, чтобы замедлить экономический рост и пресечь инфляцию на корню. Но правление ФРС не испугалось и приняло решение оставить ставку на прежнем уровне.

А. Гринспен, осмысливая сложившуюся ситуацию, отмечает, что парадоксальное снижение инфляции (именно в тот момент, когда ей следовало вырасти) произошло не только в США, но и в других развитых экономиках. И это явление конца 1990-х показалось ему настолько значимым, что он говорит о необходимости пересмотреть систему мониторинга и статистики (причем не только той системы, которая отвечает за поставку эмпирических фактов), о необходимости изменить устаревшие модели. «В денежно-кредитной политике нельзя руководствоваться исключительно экономическими моделями. Как сказал бы Джозеф Шумпетер, принцип созидательного разрушения справедлив и для моделей» (Гринспен А. Эпоха потрясений. М., 2015, с. 177). Революционное заявление: необходимо пересмотреть экономическую модель, одним из ключевых понятий которой является понятие инфляции.

Изменим несколько ракурс наших рассуждений и зафиксируем следующую проблему гносеологического плана: отработанные цепочки детерминации и принятия решений (фактически – алгоритмы) становятся зыбкими, неочевидными, теряют свою объяснительную силу, но при этом продолжают работать по инерции.

В отличие от валют, апеллирующих к золоту, товарным рынкам и реальному сектору экономики, фиатные валюты ведут себя иначе. Но идеологическая машина референции «деньги – экономика» продолжает работать. Ничего не случилось, мы – все в той же системе координат, просто деньги теперь отсылают не к золоту и товарной массе, а к сильной экономике (динамика ВВП?): сильная экономика позволяет создавать большие объемы ликвидности.

Чтобы провести четкую грань между фиатной валютой и ее идеологическим прикрытием, рассмотрим следующую проблему. Когда речь идет об относительно самостоятельном поведении фиатных валют, то фиксируется не просто отсутствие рациональной связки «экономика государства – его валюта». Не надо забывать, что в огромных масштабах эмиссия фиатной валюты вообще происходит за пределами юрисдикции государства. Фиатные деньги не просто оторвались от той или иной экономики, они оторвались от юрисдикций. Это еще более обостряет проблему парадоксальной неинфляционности в условиях неконтролируемой, превосходящей все разумные пределы эмиссии, которая осуществляется и в пределах экономики государства, и за ее пределами – офшорными банками, банками, кредитующими клиентов в иностранной валюте, через выпуск деривативов, так или иначе привязанных к ведущим фиатным валютам.

Есть все основания зафиксировать еще одну серьезную проблему: понятие инфляции выпадает из рационалистических рамок прежних представлений о взаимосвязи между денежной системой и реальной экономикой. И наличие этой проблемы свидетельствует о том, что необходимо сменить экономическую парадигму. И это не только теоретические затруднения, которые можно разрешить свободным обсуждением в научных институтах и на кафедрах. Рушится парадигма работы центральных банков, нацеленных на упреждение роста инфляции.

Еще более убедительным тезис о разрушении типичной модели борьбы с ростом инфляции (а это, напомним, – главная цель экономической политики правительств и центральных банков совсем недавнего прошлого) становится после анализа японского опыта борьбы с дефляцией. Двойственность инфляции становится очевидной: инфляция это – и проблема, и решение проблемы. Да, инфляция – знак кризиса, но знак амбивалентный, поскольку обыкновенно кризис – это рост инфляции, но теперь и нулевая инфляция – тоже симптом кризиса. Рост инфляции – проблема, требующая решения, но в случае японской экономики проблема решается посредством инфляции. И основной целью денежно-кредитной политики Банка Японии становится программирование инфляционных ожиданий.

Аналогичные проблемы характерны и для стран зоны евро. Депозитная ставка ЕЦБ – отрицательная! И, с некоторой долей условности, здесь тоже можно говорить о программировании инфляции, но уже не посредством её отнесения в затраты, а через формирование инфляционно-ориентированного сознания.

Практики оказались более свободно мыслящими и готовыми к пересмотру своих представлений. Мировой финансовый кризис 2007-2009 годов привел к формированию новой парадигмы деятельности центральных банков под флагом нестандартных мер монетарной политики. Если прежде центральные банки (во всяком случае, официально) играли в основном в роль наблюдателя и регулятора, то теперь они превратились в активных участников операций на финансовых рынках.

В чем заключается нестандартность ситуации и новизна парадигмы? К нетрадиционным мерам денежно-кредитной политики (согласно определению Международного валютного фонда) относятся предоставление ликвидности коммерческим банкам на долгосрочной основе и широкомасштабный выкуп активов. Отметим, что наиболее масштабные меры по выкупу активов осуществлялись центральными банками в рамках программ количественного смягчения. «Передовиками» выступили ФРС, Банк Японии и банк Англии. Не отстал от коллег и Европейский банк, активно осуществляя программу кредитной поддержки и выкупая облигации, обеспеченные ипотечными закладными. Кредитное смягчение, прямое приобретение регулятором корпоративных облигаций или ипотечных ценных бумаг, смягчение условий фондирования на определенных рынках – все эти меры суть не что иное, как замаскированная эмиссия, которая (парадоксально!) приводила не к росту, а к снижению инфляции.

### **Инфляция как самодетерминированный процесс.**

Все, сказанное выше, относится к линейной логике анализа причин инфляции. Следующее направление анализа – анализ самодетерминации инфляции.

Мне довелось наблюдать, как работает система планирования инфляции в советских строительных банках. Да, в условиях советской экономики инфляция планировалась. В строительной отрасли, например, сметы будущего года составлялись с учётом заданного уровня инфляции. И, если при планировании в расходную часть на все материалы закладывается инфляция в 3%, нетрудно понять, какой будет реальная инфляция. Это и есть самопрограммирование инфляции: инфляция прошлого года закладывается в планы следующего, и в итоге инфляция следующего года фактически уже запланирована в определенном объёме (она, конечно, могла незначительно повыситься, но на практике формировалась в запланированном пределе).

Может показаться, что процесс самопрограммирования инфляционных процессов характерен только для плановой экономики, однако, и в условиях рыночной экономики происходит аналогичный по сути процесс. Инфляция, заложенная в издержки естественных монополий, и планирование издержек крупных корпораций и государственных компаний, исходя из условий прошлого года, – гарантированный задел для ненулевой инфляции года грядущего. Недавнее повышение ставки НДС моментально было «оприходовано» как оправдание повышения ставок тарифов естественных монополий. Отсюда вытекает особая детерминация – самопрограммирование инфляции, закладка ее параметров в основание инфляции будущих периодов. Весомый вклад в рост инфляции – рост стоимости тарифов естественных монополий и стоимости услуг крупных транспортных компаний. Зафиксируем здесь отличие этого инфляционного процесса от факторной детерминации, которое состоит в том, что это не простая линейная детерминация, а детерминация – запланированная, предвосхищающая развитие экономических реалий во времени, самодетерминация, при которой происходит самопрограммирование инфляции.

А в качестве предварительного итога нашего анализа отметим следующее. Существуют два типа инфляции. Инфляция первого типа имеет собственные причины – «естественные» факторы, формирующие объективный процесс. Инфляция второго типа – рукотворная, программируемая целеполагающими действиями или предопределяемая институционально (тарифная политика). То есть имеются условно естественная и условно искусственная инфляции. Но внутри экономической системы они переплетаются и детерминируют друг друга: фактор неверно принятого решения запускает «естественные» факторы и, наоборот, – «естественные» детерминанты могут провоцировать, усиливать регуляторику и даже приводить к ошибочным действиям регулятора. Такая микшированная реальность интерпретируется (вся целиком) как объективная из-за невозможности отделить рукотворные факторы от естественно сложившихся. Все они оказываются вписанными в одну систему. Более того, в этой многоуровневой и сложноорганизованной реальности нет критериев, позволяющих определить субъективный фактор. Система, похоже, теряет способность разграничивать, определять, что является объективным, а что субъективным. Сравните порядки такой системы и системы, в которой рукотворное воздействие (порча монеты, выпуск необеспеченных банкнот) может быть изобличено ею самой как неправомерное или зловредное вмешательство. В новой системе одно и то же воздействие может интерпретироваться и как инфляционно-порождающее, и как антиинфляционное. Очевидность верификации неправомерных или ошибочных воздействий со стороны субъекта исчезла.

### **Инфляция и ценообразование.**

**Третье направление** (линия) анализа детерминации инфляции и формирования ее показателя – анализ сферы ценообразования. Корреляция «рост цен – инфляция» выступает своеобразной дуальной системой, которая характеризует феноменологический (явленность) уровень инфляции.

Наше сомнение в этой причинно-индикативной связке (цены – инфляция) объясняется изменением представлений об идентичности товара и гомогенности пространства ценообразования.

Обозначим образовавшееся в результате проблемное поле.

1. Фрагментация товара и цены во времени (сезонность, распродажа).
2. Цена на новую модель; фрагментация понятия высокотехнологичного товара; его идентификация.
3. Многоуровневость товара (потребительская стоимость, меновая, символическая – бренд, престиж).
4. Различные цены условно идентичного товара (место продажи, бренд, уникальность (симулякр уникальности), фактор моды).
5. Фрагментация цены с учетом регионального фактора (фрукты в районах Крайнего Севера) и распределённая локальность в пределах мегаполиса (цены вещевого рынка на окраине и цены в бутиках).
6. Сетевая торговля и принципиальное различие цены товара в интернет-сетях и в реальной торговле.
7. Проблема, связанная с изменением уровня заработной платы. Конечно, она выбивается из общего ряда. Но, если вспомнить, что, согласно К. Марксу, говоря о заработной плате, мы имеем

дело с ценой товара (товара «рабочая сила»), то проблема займет законное место в ряду феноменов, разрушающих былую гомогенность товарного мира. И проблемы – с 1 по 6 – так или иначе, но связаны с заработной платой как превращенной формой стоимости рабочей силы.

Кратко очерченное нами проблемное поле требует масштабного, отдельного исследования, которое явно выходит за рамки экономического дискурса. Разнообразные варианты нарушения идентичности товарной формы указывают на то, что необходимо найти понятие товара вообще, которое позволит говорить о единстве в разных товарных формах. Это – идеальное товара, его идея (не тождественная ни одной из его многообразных форм), если говорить языком философии. Возможно, что понятие товара, его идеальная форма работает не в «реальной» экономике, а на уровне эйдетического языка, «функционализирующего» как раз в формате обращения денежной знаковой системы. В этом случае и эквивалентность обмена тоже устанавливается на языке (по алгоритмам) денежной транзакции, включенной в процесс экономического обмена. И никакой другой эквивалентности до денежной не было. Логика выведения всеобщего эквивалента из осуществляющейся в обменных процессах эквивалентности при этом ставится под вопрос. Возможно, такая идеологическая конструкция, задним числом объясняющая процесс возникновения денежного эквивалента, сложилось уже в условиях капитализма.

Теперь приведем пример, который в обобщенной форме продемонстрирует, как разрушается идентичность товара во времени. Пример важен, ибо свидетельствует о том, насколько сложно провести корреляцию между изменением цены на товар и поведением инфляции.

Предположим, нам нужно проследить за изменением цены такого товара, как капуста. Наименьшая цена на капусту будет в начале уборки (осень). Далее осенняя – подросшая – цена (заготовки, покупка для хранения). Зимняя – опять подросшая – цена сформирована с учётом такой составляющей, как цена хранения капусты. В начале лета – вновь (причем неожиданно) цена на капусту выросла, поскольку на рынке появилась свежая капуста, которая может стоить в несколько раз дороже выращенной ранее (обыкновенной). Лето – стабилизация цены.

Зафиксируем внимание на важном обстоятельстве. Цена на капусту в течение года (мы специально взяли столь прозаичный товар) представляет собой фактически цену на разный товар: капуста в начале лета, капуста осенью, капуста зимой, «обыкновенная» капуста. Разрушилось гомогенное пространство ценообразования на товар как таковой. Прежде было достаточно корректировки цены сезонным фактором – цена периода сбора урожая «обыкновенного» товара и особая зимняя цена на редкий товар. Но в наши дни благодаря чудесам современной логистики зимой появляется «обыкновенный» товар из самых экзотических мест. Отсюда вопрос: эта зимняя цена – цена того же товара, что и летом? Или у нас два товара – летний и зимний?

Аналогичным будет рассуждение и в отношении непродовольственных товаров, цена на которые при распродажах уменьшается зачастую до 70%. Эти те же товары? Вопрос можно сформулировать иначе: какую цену товара мы должны поставить в формулу расчета инфляции – самую низкую, самую высокую или среднюю (последнюю, кстати, установить не так-то просто, в случае, если нам нужна цена определенного периода)? Вопрос выходит за рамки практики расчета. Сформулируем вопрос еще строже: идентичность товара действительно имеется в течение определенного временного промежутка? А также пространственная его идентичность?

Еще один пример. Рост цен на товары бытовой техники (телевизор новой модели, стиральная машина новой модели) – это рост цен на те же товары? Предположим, что телевизор новой модели стоит на 20% больше телевизора старой модели. Как определить прирост цены? Или, возможно, никакого прироста нет, а есть новая цена на новый товар? Но ведь нам будет нужна цена рассматриваемого товара за период. А это уже – другая математика.

Еще интереснее для анализа ситуация, когда товар новой модели (продавать который предполагалось по более высокой цене с учётом роста себестоимости) стоит на 20% меньше, чем товар старой модели, распродаваемый с уценкой на 70%.

Отвлечемся от реалистичных примеров и проследим за многообразным сочетанием факторов цены в пространстве и времени, которые дают нам самые разные итоговые значения. Что произошло с ценой в сегменте товара под названием телевизор? И можно ли при расчете индекса цен в «телевизорном» сегменте умножать объём продаж телевизоров прошлого (или базисного) года на цены года текущего? Конечно, при расчете индекса цен допустимо неравномерное во времени обновление моделей. А если они обновались относительно синхронно, то это все те же телевизоры?

Можно приводить примеры и далее, анализируя дополнительную, но надстроенную на тот же субстрат товара его символическую цену, различие цен на товар в реальном магазине и в сети. Но и так очевидно, что фиксация роста цен на товары определенных групп или фиксация снижения цены – задача нетривиальная. Именно фактор роста цены выступал надежным индикатором инфляции. Теперь же им не так-то просто оперировать на практике, если, конечно, не отмахиваться от более жестко сформулированных вопросов. Современные методы математического моделирования и работа с базами данных (крупных ритейлеров и банков) позволяют так или иначе анализировать ситуацию. Но это другая – «цифровая» – реальность, а инфляции, полученная в условиях программирования анализа и прогнозирования (а иногда и программирования!) спроса посредством машинных методов обработки больших массивов данных, будет «цифровой» инфляцией.

А если признать принципиально новое качество ценообразования (дискретность товаров и цен) новой характеристикой гомогенного поля эквивалентного обмена? Или вообще перейти к парадигматике дискретного рынка, то есть рыночного поля, иным образом организованного и воспроизводимого? В любом случае, нужно использовать метод теоретической дефрагментации распадающегося рыночного пространства. Более радикальная постановка вопроса: инфляция выполняла функцию индикатора связанности (неважно какой – детерминационной, структурной или референциальной) мира товаров и мира денег. Что произойдет с индикатором в условиях убыстряющегося распада единого товарного пространства? Что он будет показывать и о чем сообщать наблюдателю?

#### **Предварительные выводы относительно многофакторной инфляции.**

Под вывеской «Инфляция» скрываются несколько инфляционных процессов (некоторые с разными полярностями с точки зрения детерминации). Более того есть еще и самодетерминация (например, когда государственные компании и монополии закладывают в свои планы уровень инфляции, который мы и получаем (по плану!) в следующем году). Проблематики разнородной инфляции можно избежать, введя понятие многофакторной инфляции. (Неплохой теоретический ход, однако, как взвешивать векторы разной направленности? Получается не обычная математика, а просто-таки квантовая механика). Но вопрос при этом остается: как быть с самодетерминацией? В самоорганизующейся системе, где порождающие её причины и условия становятся в процессе развития следствиями (производными) её функционирования, обычная линейная логика монетаристского регулирования не срабатывает. Нелучайно ведущие центральные банки переосмыслили современную политику таргетирования инфляции. ФРС, например, устанавливает для себя целевые показатели не только по инфляции, но и по безработице (хотя для ЕЦБ сделать такое практически невозможно из-за принципиально разных условий занятости в разных странах Европы).

Ещё более интересный феномен: её величество эмиссия, надёжный детерминант инфляции, вдруг отказалась от этой навязанной системой до – фиатных денег роли и стала работать против инфляции, парадоксально приводя не просто к её снижению, но к дефляционным процессам. Даже для ортодоксального экономиста становится очевидным, что эмиссия, направленно работающая на формирование конкурентной среды в потребительском секторе (эмиссия, направленная на связывание потребительского спроса или переводящая его в сферу более долгосрочного потребления), – это, как минимум, нейтральный, а по сути антиинфляционный фактор.

Понятие инфляции размывается. Теперь это – уже не строгое теоретическое понятие, а некий социально-психологический фактор, ориентир для стратегов финансирования и управления бизнес-процессами (на что настраиваем систему – на рост или на снижение цен?), фактор экономической медиаповестки: понятие – симулякр. И как теперь её (инфляцию) таргетировать?

#### **Инфляция и цифровизация экономики.**

До сих пор мы сознательно отвлекались от революционных изменений в сфере денежного обращения, вызванных переходом экономики к цифровому формату. Цифровизация экономики произошла давно, на ранних стадиях мы её просмотрели: системы межбанковских расчетов, использование различных протоколов и стандартов в процессе взаимодействия клиентов и банков не воспринимались в качестве факторов оцифровки экономических процессов. Наличие банковских систем, фондовых площадок, межбанковских платформ, работающих по заранее определенным и записанным на языке цифр алгоритмам, соответствует начальному этапу развития цифровой экономики. Цепочки реальных транзакций осуществляются без участия человека, с принципиально другой скоростью (в сравнении с ручным режимом) и по алгоритмам, которые устраняют влияние человека как мешающий фактор.

Простейший пример (ставший историей) развития банковской системы: закладка алгоритмов работы корреспондентских счетов банков в самом начале формирования системы межбанковских расчетов. Региональный банк перечисляет на свой корреспондентский счет в столичном банке некую сумму. Благодаря этому платежи клиентов регионального банка столичным контрагентам сразу осуществляются столичным банком. Прохождение платежей ускоряется на несколько суток. Без объяснений, понятно, эта простейшая финансовая схема межбанковских расчетов по сути своей цифровая. И пока ничего необычного не содержит. Но вот столичный банк, проанализировав объём платежей из региона, позволяет региональному банку осуществлять платежи в кредит лимитированного объёма. В свою очередь региональный банк установил лимит платежей для столичного банка. Это опять же приводит к серьезному ускорению денежных процессов. Фактически эмиссионные «проводки» по установлению лимитов приводят к ускорению денежного обращения, то есть запускают антиинфляционный по своей природе процесс.

Этот пример хорошо раскрывает экономическую сущность денежной транзакции. Транзакция – не отражение экономического процесса (ведь всё происходит иначе: был процесс взаимодействия, а потом мы решили выразить его в денежной форме). Она сама пролагает путь экономическому процессу. Не отражает, не обозначает, не выражает эквивалентность, но осуществляет на практике (посредством выполнения самой себя) продвижение экономического содержания, частью которого сама же и является. У транзакции есть неререференциальное (производное от мира реальных транзакций) измерение.

Денежная система, будучи по природе языковой структурой, обладает тем не менее своей онтологией. Вот элементарная схема денежной системы, схема связи, в том виде, в каком она проявила себя

через развитие цифровых технологий: – цифровая технология – эмиссия – ускорение денежного обращения – изменение экономики. Здесь нам важно было на простейшем примере зафиксировать следующую причинно-следственную цепочку: новые цифровые технологии (которые фактически запускают микроэмиссию и одновременно выступают антиинфляционным последствием) – транзакция, произошедшая в течение дня, хотя должна была разворачиваться в течение нескольких суток. Комплекс транзакций «построился» ускоренными темпами (как и дальнейшее его преобразование). Произошел институциональный, по сути, процесс на базе изменения и построения новых алгоритмов денежной системы. Этот процесс не вписывается в обычную парадигму системы разделения труда, а осуществляется в иной логике – транзакционных преобразований.

Информационные технологии не просто увеличили производительность труда, но привели к новому этапу развития через «стирание» массивов транзакций, ставших архаичными и неэффективными. Это не традиционные углубление разделение труда и специализация, повышающая производительность. Имеют место два новых феномена: (1) стирание части транзакций и замена их алгоритмами и (2) надстраивание квазикорпоративной структуры, снимающий транзакционные издержки подобно тому, как это происходит внутри компании благодаря внутренним регламентам и иному уровню доверия.

Произошедшее не вписывается в традиционный линейный процесс (новая технология – рост производительности труда – перегрев рынка – инфляция и монетаристская подморозка экономики). Департаменты межбанковских операций наших регионального и столичного банков (департаменты, конкурирующие (вообще-то!) между собой) благодаря цифровизации операций перевода денежных средств начинают действовать как единая система, система преодоления транзакционных издержек. Ни больше ни меньше: «корпорация (фирма) второго уровня», существующая над своими родными банками!

Отметим, что нечто похожее происходит в это время во всех отраслях и сферах экономики: от сферы строительства (с опорой на финансирование через ипотечные кредиты) до «портфельного» инвестирования при продюсировании фильмов ведущими телекомпаниями Голливуда.

«Корпорации второго уровня», эффективно снижая издержки, запустили процесс, который с точки зрения монетарного обеспечения, опережает возможности обычной эмиссии нецифровых денег. Что, собственно, и зафиксировали умеющие грамотно анализировать происходящее денежные власти развитых стран. Зафиксировали сначала как парадоксальное поведение инфляции (отсутствие её «запланированного» роста), а потом как переход к дефляционным экономическим процессам.

С развитием информационных технологий не просто изменился технологический уклад или резко увеличилась производительность труда, причем одновременно в различных сферах экономики. Произошел лавинообразный процесс «удаления» целых классов транзакций и параллельно с ним процесс развития (1) институциональных структур транскорпоративного уровня (которые работают подобно компаниям нового уровня, снижающим транзакционные издержки (Р. Коуз), (2) сетевых структур продвижения товаров (товары ли это теперь?), которые ориентированы на массового потребителя нового типа, потребителя эпохи маркетинга и всепроникающей рекламы, (3) совершенно иной продукции, подогнанной под условия сетевой продажи и маркетингового продвижения.

Параллельно с этими процессами (иногда не параллельно, а взаимосвязанно и взаимодополнительно) развивается и процесс построения финансовых технологий эмиссионного типа, подчиняющих себе цепочки получения прибавочной стоимости классических укладов. Эти алгоритмы (одним шагом аннигилирующие классические транзакции и запускающие в экономику новую ликвидность) создают новый экономический уклад с иными цепочками формирования добавленной стоимости – некапиталистического типа. Индикатор же инфляции, настроенный на экономику обычного капиталистического производства, не выдерживает этих перегрузок и все чаще застревает на отметке «Дефляция».

*Остарков Николай Александрович – член Генерального совета «Деловой России», эксперт «Столыпинского клуба» (n@gmail.com)*

#### **Ключевые слова**

Инфляция, дефляция, стоимость, транзакции, эмиссия

***Nikolai Ostarkov, Emission Formation. Local Money instead of Global Monopoly on the Issue***

#### **Keywords**

Inflation, deflation, value, transactions, issue

DOI: 10.34706/DE-2019-04-08

JEL classification: E 47 – Money and Interest Rates: Forecasting and Simulation

#### **Abstract**

A fundamentally new source of "profit" – however, this is a well-forgotten old one – is the rent arising from the issue of money. It is the rediscovery of the seigniorage that will change all the preconditions and make them

work in a new way, and ultimately re-subordinate, re-encode in its own way the capitalist value chain. (A. Otyrba drew my attention to this incredible ability of the issue to produce rent (seigniorage) and to the colossal importance of this rent in modern conditions.) A new formation in a new way and equips its original source. The market is no longer the primary source of economic formation, you can relax and stop stimulating its construction. The history of capitalism (=history of the economy) is re-formed into the history of the development of the emission machine programs. To begin deciphering the language of its programming will have with the concept of seigniorage.

## 4.2. ВАЛЮТЫ, ОБЕСПЕЧЕННЫЕ ДРАГОЦЕННЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Фролов В. Н. – д.э.н., Романчук А. П.  
Copernicus Gold Singapore Pte Ltd.

*В статье излагается точка зрения авторов на процесс токенизации активов, показано преимущества валют, обеспеченных драгоценными металлами. Токенизация всевозможных активов, начиная от драгоценных металлов и денежных средств, заканчивая электрической энергией, является своеобразной приметой нашего времени. В первую очередь, это обусловлено появлением технологической базы для создания криптографически защищенных реестров, например, по технологии блокчейн. Гонка блокчейн-проектов продолжается до сих пор, однако, по прошествии нескольких лет, мы видим, что с прикладной точки зрения проблема перевода активов в цифровой вид, «на блокчейн», мало где решена – есть огромное количество заявлений и намерений, но почти отсутствуют результаты.*

### Что такое токенизация?

Токенизация всевозможных активов, начиная от драгоценных металлов и денежных средств, заканчивая электрической энергией, является своеобразной приметой нашего времени. В первую очередь, это обусловлено появлением технологической базы для создания криптографически защищенных реестров, например, по технологии блокчейн. Гонка блокчейн-проектов продолжается до сих пор, однако, по прошествии нескольких лет, мы видим, что с прикладной точки зрения проблема перевода активов в цифровой вид, «на блокчейн», мало где решена – есть огромное количество заявлений и намерений, но почти отсутствуют результаты.

Этому есть несколько причин. Первая из них – это технологическая незавершенность многих проектов: очень часто лишь выпускаются токены в сети Ethereum (или какой-то иной), номинально привязываются к какому-то активу, после этого делается лишь несколько стандартных транзакций пересылки с одного кошелька на другой. На этом проект и заканчивается. Однако, распределенный блокчейн-реестр – это всего лишь самая нижняя часть реальной системы, которая отвечает, по сути, только за бухгалтерские проводки. Для запуска, например, торгового бизнеса недостаточно купить и настроить 1С. Необходимо создать большую инфраструктуру – арендовать склад, настроить логистику, купить транспортные средства, открыть счет в банке, нанять кладовщика, экспедитора, продавца, арендовать торговую точку, сделать в ней ремонт, чтобы она была привлекательной и т.п. Аналогично и с проектами по запуску токенизации – необходимо хранилище обеспечения (например, драгоценного металла), нужны поставщики, счета в банках, подключение к биржам, комплаенс-офицеры и сервисы для выполнения идентификации пользователей (KYC), требуется высокоуровневый API для использования токена сторонними разработчиками, нужны клиентские мобильные или веб-приложения, чтобы можно было легко и понятно подключиться к сервису.

Вторая причина – отсутствие фундаментальной проработки того, как должно быть построено управление обеспечением в привязке к торговле самим электронным токеном (валютой). Также нужно решить задачу эффективного управления внешними, в том числе денежными, ресурсами, чтобы не возникло ситуации, когда на рынке продана электронная валюта, а под неё нет резерва в хранилище.

Третья причина – часто отсутствует понимание того, зачем вообще нужна обеспеченная ресурсами валюта. Во многих случаях токенизацию делают лишь для отслеживания перемещения определенного товара. Однако, обеспеченная каким-либо ресурсом валюта может играть роль полноценного платежного инструмента, её могут покупать банки, брокеры, страховые компании, а также иные участники экосистемы для страхования ценовых рисков, связанных с данным ресурсом, а также всеми производными от него инструментами. Обеспеченность валюты означает, что её обладатель всегда может получить от эмитента валюты либо сам ресурс, либо его справедливую рыночную стоимость в денежном эквиваленте.

### Платформа Copernicus Gold

Все эти задачи побудили группу российских разработчиков и математиков в 2014 году приступить к решению задачи построения полноценной обеспеченной материальными и нематериальными активами валюты. В итоге был реализован проект Copernicus Gold – облачная мультивалютная платформа для эмиссии и циркуляции электронных валют и активов. В основе внутреннего расчетного ядра системы находится приватная распределенная блокчейн-сеть, выполняющая роль главной бухгалтерской книги, которая хранит все транзакции и остатки на счетах клиентов. Широкая функциональность и гибкая архитектура платформы сделали возможной реализацию на её основе большого разнообразия продуктов и решений. Спустя три года после начала разработки, в 2017, был запущен в Сингапуре первый продукт на её основе – цифровая обеспеченная золотом валюта.

### Ключевые особенности платформ:

1. *Программируемые математические модели – возможность выпускать цифровые активы, например, электронные валюты, привязанные к любому материальному или нематериальному ресурсу, конвертировать их друг в друга, в фиатные валюты и наоборот.*
2. *Встроенное автоматическое управление ликвидностью системы, конвертациями валют и ресурсов на биржах и мониторингом транзакций позволяют работать полностью в автоматическом режиме без участия человека.*
3. *Мощный открытый API для разработчиков – легкий и адаптивный механизм как для бесшовной интеграции в существующие системы, так и для создания новых продуктов, на базе платформы.*
4. *Высокая скорость обработки транзакций*
5. *Расчеты в реальном времени 24/7/365*

Платформа Copernicus Gold обладает технологической завершенностью – это не только распределенный реестр, построенный на блокчейн, но также полноценная инфраструктура для запуска проекта обращения электронных обеспеченных валют и токенов любой сложности – в нем есть система идентификации пользователей (KYC), мониторинг подозрительных операций, интеграция с большим числом финансовых институтов, готовые мобильные и веб-приложения, бэк-офис для сотрудников и пр.

В настоящий момент существует несколько проектов, работающих на базе платформы Copernicus Gold. Прежде всего это исторически первый проект Copernicus Gold Singapore ([www.copernicusgold.com](http://www.copernicusgold.com)) – платформа для инвестиций в драгоценные металлы и возможности конвертации валют по рыночным курсам. Именно для этого проекта была впервые разработана и проверена математическая модель управления запасами драгоценных металлов при непрерывном потоке заявок на покупку и продажу валюты.

Примечательно, что создание данной обеспеченной золотом валюты было выполнено на основе исследований проблемы разрушения систем золотого стандарта. Эта проблема стояла перед человечеством около 500 лет и известна как проблема Коперника-Грешема. Суть её состоит в том, что любая система лучших валют, обеспеченных каким-либо ценным ресурсом, всегда будет разрушена за счет возможности у государств неограниченно эмитировать худшие, не обеспеченные ничем фиатные валюты и скупать лучшие валюты. Команда Copernicus Gold сумела предложить не только математическое решение, но и разработала программную реализацию данной проблемы с использованием технологии блокчейн.

Математическое решение этой задачи в сочетании с уникальным алгоритмом централизованной эмиссии в распределенной сети легли в основу патента, полученного на данную систему в США. В определенном смысле, использование нашего подхода к эмиссии валюты, обеспеченной золотом, можно считать полноценной реализацией системы золотого стандарта, ставшей возможной благодаря современным технологиям.

### Наши продукты и возможности

Фактически, построение систем для эмиссии и обращения различных обеспеченных валют – это специализация проекта Copernicus Gold. В нашем портфеле есть проекты, где, например, решается одна из фундаментальных проблем в бизнесе драгоценных металлов – превращение неликвидных слитков, хранящихся у населения, в высоколиквидные цифровые валюты. Проект GoldPlus Assets ([www.goldplusassets.com](http://www.goldplusassets.com)) позволяет за счет фотографирования быстро оценить стоимость слитка или монеты из драгоценного металла и мотивировать клиента конвертировать драгоценный металл в цифровую форму, которая более удобна тем, что позволяет мгновенно превратить граммы в денежные средства и тут же их потратить.

Поскольку с технологической точки зрения блокчейн представляет собой также своеобразный обобщенный удостоверяющий центр, в нем, помимо задачи эмиссии валют, может быть также решена задача отслеживания перемещения прав владения для конкретных ценностей. Данный подход мы, например, используем для маркировки конкретных слитков золота в проекте GoldPlus Assets, а также для маркировки сертификатов возобновляемой энергии (Renewable Energy Certificate, REC) в одном из наших пилотных проектов по зеленой энергетике в США, где используется валюта, обеспеченная выработанными киловатт-часами возобновляемой энергии.

### Предлагаемые нами продукты

- *Расчетная экосистема для эмиссии и управления ликвидностью и обращением цифровой валюты/токенов, в частности, драгоценных металлов (фактически, это цифровой банк).*
- *Возможность запуска любых вариантов обеспеченных валют под любым брендом с использованием платформы.*
- *Экосистема для отслеживания передачи владения цифровых токенов, привязанных к поставкам определенных ресурсов.*



### 4.3. ДИГИТАЛИЗАЦИЯ – ЛЕКАРСТВО ОТ СКУЧНОСТИ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ

Кораблев А.В.

Президент Концерна R-Про,

Генеральный директор Института инновационных технологий в бизнесе,  
Академик инженерной академии.

*В статье обсуждаются экономические предпосылки цифровизации, на основе анализа трендов, за-  
данных ПМЭФ 2019. Статья публикуется в авторской редакции с добавлением метаданных.*

#### Бум цифровизации

Современная экономика переходит на цифровые модели управления. В России цифровизация переживает поистине "бум" – так на Петербургском международном экономическом форуме 2019, состоявшемся в июне в северной столице, подавляющее число экономических дискуссий так или иначе касались развития цифровых технологий. О дигитализации говорили топ-менеджеры практически всех индустрий – машиностроители, энергетики, логисты, банкиры, фармацевты и мн. др. Интересный факт – российская экономика в целом развивается темпами существенно ниже, чем глобальные лидеры, при этом, российская цифровая экономика в настоящее время имеет очень многообещающий тренд развития, темпами выше среднерыночных. Почему это происходит? Это парадокс, случайное и временное совпадение или же закономерность, которая имеет потенциал стать долгосрочной?

#### Макроэкономический анализ российской экономики

Попробуем ответить на эти вопросы, взяв за основу достаточно взвешенный макроэкономический анализ современного состояния российской экономики и перспектив её развития, который представил в канун ПМЭФ 2019 международный банк ING.



Рис. 1. Презентация банка ING «Состояние российской экономики 2019» в Генеральном консульстве Нидерландов в Санкт-Петербурге, приуроченная к открытию ПМЭФ 2019, 5 июня 2019.

Аналитики ING подметили, что к лету 2019 года, если искать одно слово, чтобы охарактеризовать экономику России, то можно сказать, что в настоящее время, увы, но экономика России становится скучной. Если «оцифровать» термин "скучный", переведа его в макроэкономические показатели российской экономики, то можно видеть, как представлено на

рисунке 2, что экономика РФ характеризуется, с одной стороны, низкими рисками, а с другой – медленными темпами роста.

Основная проблема российской экономики – нехватка инвестиций в программы развития, что иллюстрируется на рисунке 3. Причины этой проблемы – это и то, что в настоящее время Россия только выходит из состояния спада, который наблюдался несколько лет назад, это и санкции, которые отрезают Россию от дешевых инвестиционных ресурсов, это и правительственный курс, ориентированный на монетарное регулирование, это и медленная, но тем не менее, переориентация внешнеторговой деятельности с западных на восточные рынки, где маржинальность, а следовательно и возможности для накопления инвестиционных средств ниже и др.



Рис. 2. Общее состояние российской экономики - низкие риски, медленные темпы роста

### Инвестиции: значительно концентрированные



Рис. 3. Ключевая проблема российской экономики - нехватка инвестиций

Обратная сторона этой проблемы – долгие, дорогостоящие и высокорискованные проекты российский бизнес практически не финансирует. С другой стороны, это влияет на низкий уровень рисков в отечественной экономике, что в свою очередь, вкупе и в целом грамотным кредитно-финансовым государственным регулированием обеспечивает устойчивые финансово-денежные отношения, стабильный курс национальной валюты, рекордно низкий уровень инфляции. Но проблема нехватки инвестиций, в совокупности с санкциями на приобретенные западными высокими технологиями, является существенным тормозом роста нашей экономики.

Правительственным решением для оживления экономического климата в Российской Федерации в сложившейся ситуации стал запуск серии национальных проектов, направленных на развитие критически важных отраслей промышленности, таких как энергетика и фармацевтика и др., инфраструктурного и транспортного развития, социально-экономической сферы и здравоохранения и пр. Можно констатировать, что это решение во многом оказывает положительное влияние на российскую экономику, снимая наиболее актуальные проблемы, поддерживая занятость трудящегося населения, минимизируя сокращение государственных резервов и пр., что и подтверждает соответствующий макроэкономический анализ, результаты которого представлены на рисунке 4.

### Решение проблемы низких инвестиций: национальные проекты

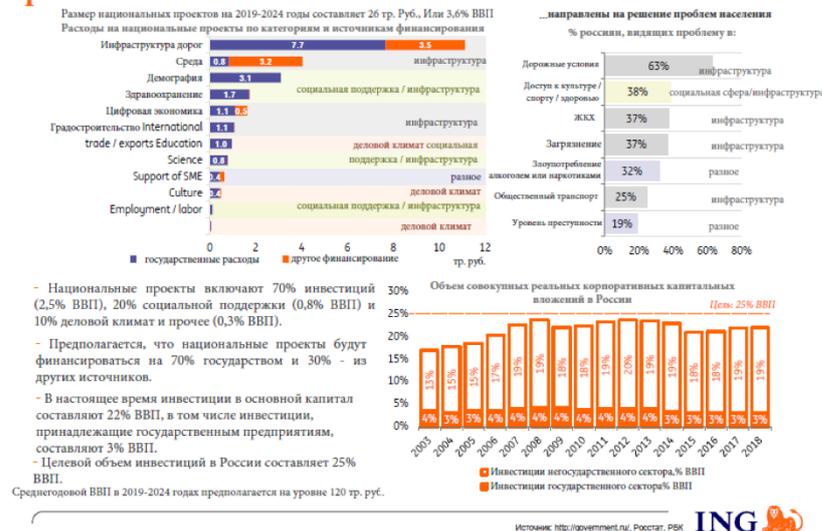
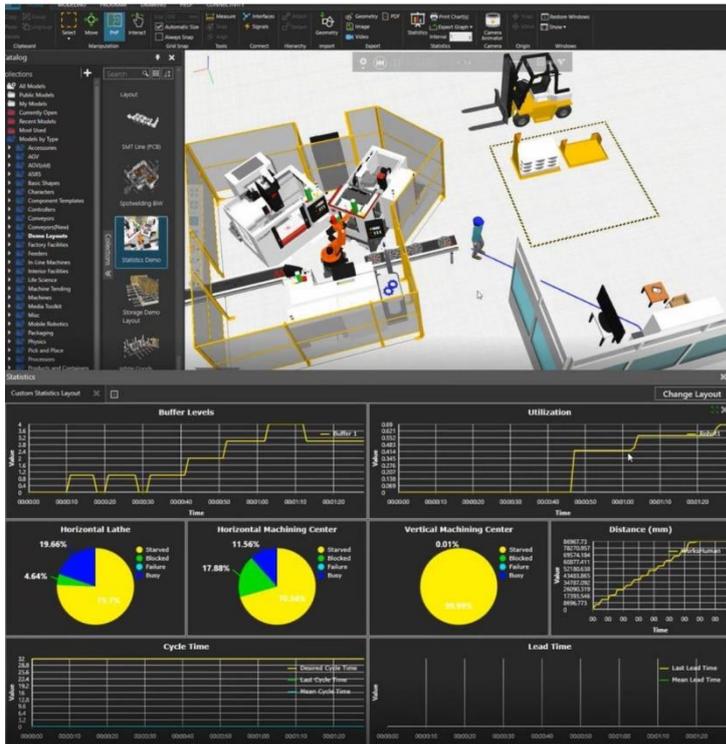


Рис. 4. Экономический анализ реализации национальных проектов.

Но вышеуказанные проблемы влияют и на ход реализуемых национальных и др. крупных, в т. ч. инфраструктурных и промышленных проектов, а также на их результативность. В условиях, когда объемы инвестиций ограничены, доступ к иностранным высоким технологиям ограничен, в условиях блокирования (отказа) высокорисковых проектов создания собственных новых технологий, национальные проекты реализуются на старой технологической платформе, что уже при создании новой инфраструктуры, промышленной продукции и пр. ведёт к невысокому уровню их производительности.

С точки зрения технологического развития, низкая производительность – это даже не проблема, это бич российской экономики. Ещё в 2012 году Президент РФ В. В. Путин издал майские указы, посвящённые решению проблемы роста производительности труда. В 2018 году Президент с разочарованием признал, что выполнить поставленные в майских указах задачи не удалось, а также, с достойным уважением упорством, определил новые цели социально-экономического развития в части роста производительности труда и создания высокотехнологических рабочих мест. А здесь ещё стоит отметить демографические изменения последних лет, которые приводят к тому, что в настоящее время численность трудящегося населения России сокращается и вкупе с низкой производительностью труда приводит к отсутствию ресурса для роста, от чего, собственно, и становится "скудно".



**Рис. 5. Цифровой двойник производства обеспечивает анализ технико-экономических данных, собранных IoT, и оптимизацию производственно-технологических процессов**

рым драйвером, который переведет процесс экономического развития на более интенсивные рельсы и высвободит, за счёт относительно быстрого эффекта, часть внутренних резервов на более глубокие технологические преобразования.

#### Какая цифровизация необходима?

Таким образом, на настоящем этапе, всеобщий акцент в российской экономике на развитие цифровой индустрии объективно целесообразен. Но мир цифровых технологий, даже в секторе B2B, очень широк. Какие же приоритеты цифровизации стоит определить, чтобы её внедрение не превратилось бы в простую дань всеобщей моде, очередное освоение бюджетов и безрезультатно потраченное время и деньги? Во-первых, и это критически важно, нашей экономике нужны не просто цифровые решения, а "умные" цифровые решения – такие решения, которые будут ориентированы на достижение экономического эффекта от их внедрения.

Здесь можно привести такой пример. В настоящее время в промышленности становится очень моден индустриальный интернет вещей (Internet of things). Некоторые компании сектора промышленной автоматизации и цифровизации насыщают производственные комплексы своих клиентов множеством всевозможных датчиков и сенсоров, снимают с них информацию на промышленные сервера, создают дата-центры. Использование же этих цифровых данных подчас оставляет желать много лучшего. Собранные большие данные влияют лишь на несколько автоматизированных параметров, используются лишь краткосрочно, а затем "разливаются" цифровыми озёрами по хранилищам и архивам. Высокую стоимость и значимость таких проектов клиентам обосновывают необходимостью построения цифровой среды, которая должна де-факто стать неизбежностью и окупаемость даст лишь в будущем. А стоимость поддержки инфраструктуры цифровых хранилищ частенько и вообще не считают. Об этой проблеме можно более подробно узнать из серии статей автора R-Pro Digital. Бизнес таких цифровых компаний – это построение сетей IoT, разработка решений промышленной автоматизации, но не повышение эффективности процессов своих клиентов. На современном этапе подобную "роскошь" отечественная промышленность себе позволять не должна. Так, например, если уж компания начинает внедрять у себя Интернет вещей, то представляется целесообразным включить в состав решения ещё и создание цифрового двойника (цифровой имитационной модели производства), целью которого будет использовать собранные с датчиков цифровые производственные данные, чтобы смоделировать все производственно-технологические процессы, спрогнозировать сценарии их возможного выполнения, выбрать наилучшие, в том числе и посредством многокритериальной оптимизации, с использованием искусственного интеллекта, осуществлять цифровой контроль и управление

#### "Лекарство от скуки"

Помочь может дигитализация! И, действительно, драйвером, способным столкнуться с мертвой точки пласт накопившихся проблем видится именно цифровая трансформация российской экономики. Каким же образом? Во-первых, в условиях, когда внедрение нового высокопроизводительного промышленного оборудования крайне затруднительно, в силу вышесказанных проблем, найти возможность повысить производительность производства за счёт его ускорения и снижения издержек, посредством внедрения цифровых технологий, не столь дорогих в сравнении с технологиями, требующими модернизации основных средств производства, но дающих эффект с прекрасным соотношением инвестиции/результаты, представляется крайне привлекательным. Во-вторых, жизненный цикл цифровизации – исследование и разработка, внедрение, полезная эксплуатация, возврат инвестиций – в среднем короче и подчас значительно, чем в случаях инвестиций в промышленные технологии. Это обстоятельство также очень важно именно в свете того, что дигитализация может выступить быст-

(см. рисунок 5). Именно такая функциональность позволит обеспечить не только фрагментарные улучшения в местах получения данных и их автоматизированного применения, но и комплексную технико-экономическую эффективность проектов цифровизации, а значит и возврат инвестиций (ROI).

Кстати, отрадно, что высшее российское руководство отчетливо осознаёт, что в настоящий момент востребована именно эта функция цифровых технологий. Так, Президент России В.В. Путин на пленарном заседании ПМЭФ 2019, говоря о цифровых трансформациях российской экономики, отметил, что основной акцент будет делаться на внедрение именно систем искусственного интеллекта, что и должно ускорить динамику экономического развития страны.

Во-вторых, абсолютно понятно, что при всех эффектах, которые может дать цифровизация, она не «миссия» и если мы говорим о реальном секторе, то повышения производительности труда до уровня мировых лидеров, без масштабной модернизации основных средств производства отечественной экономике не добиться. Очень важно, чтобы модный тренд, всеобщий «бум» не завлек нас в цифровизацию ради цифровизации, отодвинув на второй план задачи совершенствования базиса производства. Без внедрения высокопроизводительного оборудования, без роботизации процессов, без новых производственных технологий, таких, например, как аддитивное производство, без новых материалов и компонентной базы и пр., и пр. выигрывать конкурентную борьбу в современном мире невозможно. Поэтому, если смотреть на уровень развития экономики в целом, цифровизацию нужно рассматривать как драйвер, способный запустить многие модернизационные процессы, что обеспечит первичный рост и откроет более широкие возможности дальнейших трансформаций.

В этой связи целесообразно разрабатывать и внедрять такие цифровые технологии и таким образом, чтобы это способствовало наиболее эффективной последующей модернизации производств. Тема интегрированного внедрения цифровых и промышленных технологий и оптимизации таких проектов, будь то создание новых или модернизация действующих производств, крайне важная тема, однако она требует отдельного рассмотрения, вне рамок данной статьи – но о таком приоритете нельзя забывать.

Возвращаясь к примеру о целесообразности цифрового двойника при цифровизации производственных процессов, с учетом приоритета интегрированного внедрения цифровых и промышленных технологий, важно чтобы он был обеспечен в том числе и функциональностью, во-первых, моделирования и оценки эффективности проектов модернизации, а также, во вторых, средствами программирования современного оборудования – так называемого офлайн-программирования (см. рисунок 6), так как современным трендом управления оборудованием является его программирование сначала в двойнике, отладка работы в

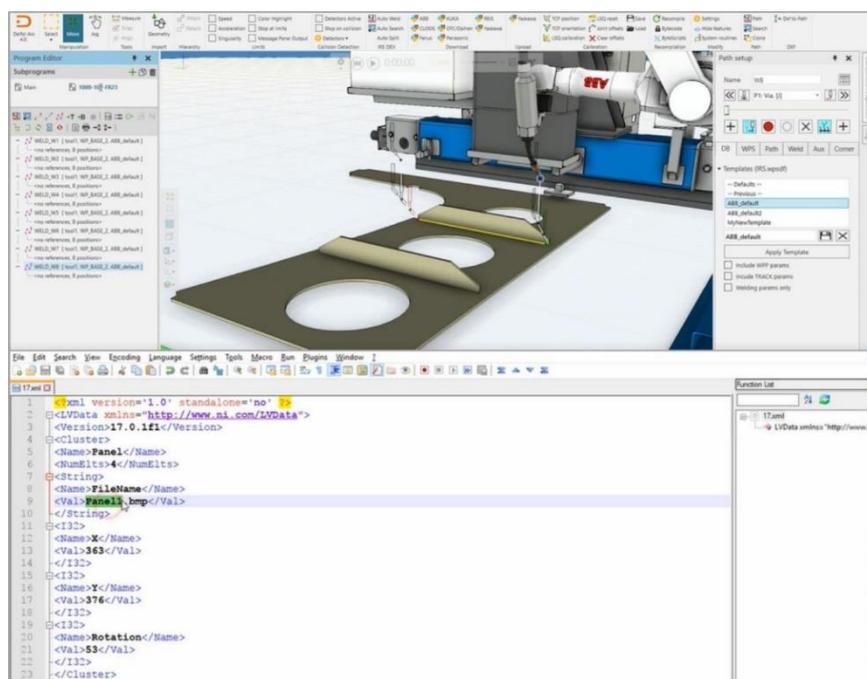


Рис. 6. Офлайн программирование роботов в цифровом двойнике.

«цифре», а затем уже запуск оптимальных производственных задач на реальное выполнение.

Таким образом, как и в этом примере, так и при прочих модернизационных проектах может быть достигнута максимальная интеграция внедрения цифровых и производственных технологий.

И еще одно обстоятельство, которое, видимо, стоит иметь в виду. В настоящее время Россия в рейтингах стран-поставщиков цифровых решений по разным оценкам находится на различных местах в конце сотни лидирующих стран. Это, безусловно, не то место, которое нам хотелось бы занимать. Сможет ли Россия, благодаря ны-

В этой связи, опять же, представляется целесообразным развивать цифровые технологии, интегрированные с промышленными, в особенности с теми, у которых имеется эскортный потенциал. Тем самым, с одной стороны, такие цифровые технологии получают дополнительный канал сбыта – совместно с промышленными технологиями, а с другой, добавляют ценность самой промышленной технологии, что может быть использовано как на внутренних, так и внешних рынках.

#### **Вместо заключения**

Делая выводы, можно подвести такой итог. Тренд на развитие цифровизации, ярко высветившийся в ходе дискуссий на Петербургском экономическом форуме 2019 года, является закономерным и объективно может быть очень полезен, так как имеет потенциал выступить драйвером для оживления отечественной экономики, в короткой и среднесрочной перспективе.

Важнейшим приоритетом развития цифровизации должен стать акцент на «умные» промышленные технологии, внедрение которых позволит обеспечить рост производительности реализуемых производственных процессов.

Статья подготовлена по материалам:

Банк ING

Росконгресс – материалы Петербургского экономического форума 2019 Компания R-Про Консалтинг

Институт инновационных технологий в бизнесе.

*Кораблев Алексей Владимирович, (korablev.a@r-p-c.ru)*

*Президент Концерна R-Про,*

*Генеральный директор Института инновационных технологий в бизнесе,*

*Академик инженерной академии.*

#### **Ключевые слова**

Цифровые двойники, умные технологии,

***Alexey Korablev, Digitalization as the Boredom of the Russian Economy***

#### **Keywords**

Digital doubles, smart technologies,

DOI: 10.34706/DE-2019-04-10

JEL classification: E 47 - Money and Interest Rates: Forecasting and Simulation

#### **Abstract**

The article discusses the economic prerequisites for digitalization, based on the analysis of trends set by the SPIEF 2019. The article is published in the author's edition with the addition of metadata.

### Общие требования к публикуемым материалам

Авторам предоставляется широкий выбор возможностей для самостоятельного размещения своих материалов непосредственно на сайте журнала в своих индивидуальных блогах. Требуется предварительная регистрация в качестве автора. Также можно присылать научные статьи на адрес редакции по электронной почте в формате word (не очень старых версий). Учитывая мультидисциплинарный характер журнала, можно ожидать появления статей с формулами, графиками и рисунками. В этом случае предпочтительно, чтобы авторы сами форматировали свои статьи и присылали их в формате pdf или контактировали с редакцией по поводу их оформления. При этом все материалы должны удовлетворять следующим требованиям к содержанию.

#### 1. Уникальность

Текст должен быть написан специально для журнала Цифровая экономика. Научная статья обязательно содержит ссылки на работы предшественников и других специалистов по теме, а в идеальном случае—их краткий анализ. Конечно, обзор литературы может включать ранее опубликованные труды самого автора, если он давно работает над проблемой. Действительно оригинального текста в материале может быть немного. Но оригинальные идеи или важные подробности присутствовать должны обязательно. В том числе возможна публикация текстов, представляющих собой развернутые версии кратких статей, опубликованных или направленных в печатные издания. Вы самостоятельно решаете, сколь уникальный текст подавать в журнал на рассмотрение, в том числе, вы можете сами поместить текст на сайте журнала и он будет доступен читателям. Вы сразу можете определить, что это научная статья, мнение или что-то иное. Но редакция и рецензенты оставляют за собой право на оценку вашего материала в качестве научной статьи, достойной публикации.

#### 2. Актуальность и польза

Ваш текст должен быть нужен и полезен, прежде всего, для читателей, а не для WebScience, Scopus или РИНЦ, хотя в дальнейшем мы планируем добиться индексации в этих системах, как и признания публикаций ВАК. Прежде чем писать статью, задайте себе вопрос—зачем? Вам нужна еще одна строка в перечне публикаций? Или у вас есть гипотеза, метод, результат, теория, новый инструмент, идея, найденная чужая ошибка?

#### 3. Профессионализм

Если вы ответили на вопрос *зачем*, то время оценить свои силы. Читая ваш текст, люди должны видеть, что его писал специалист, хорошо разбирающийся в вопросе. Пишите, прежде всего, о том, чем сами занимаетесь и что знаете отлично.

#### 5. Язык и стиль

Пишите просто. Пишите сложно. В зависимости от жанра и специфики публикации. Для *научной статьи* требование простоты выглядит недостижимым, зачастую—ненужным, а для *мнения*—вполне разумно. Если вы поборник чистоты текста, можно порекомендовать проверить его с помощью «[Главреда](#)». Конечно, следует понимать, что научная статья никогда не получит высокой оценки от этой программы.

#### 6. Типографика

Если стиль—дело вкуса автора, то типографские тонкости следует соблюдать с самого начала. Погрузите ваш текст в [Реформатор](#) (кнопка «Типографить»). Сервис заменит такие кавычки: “” на такие: «», а дефисы на нормальные тире (—). Еще одна полезная программа—типографская раскладка Бирмана.