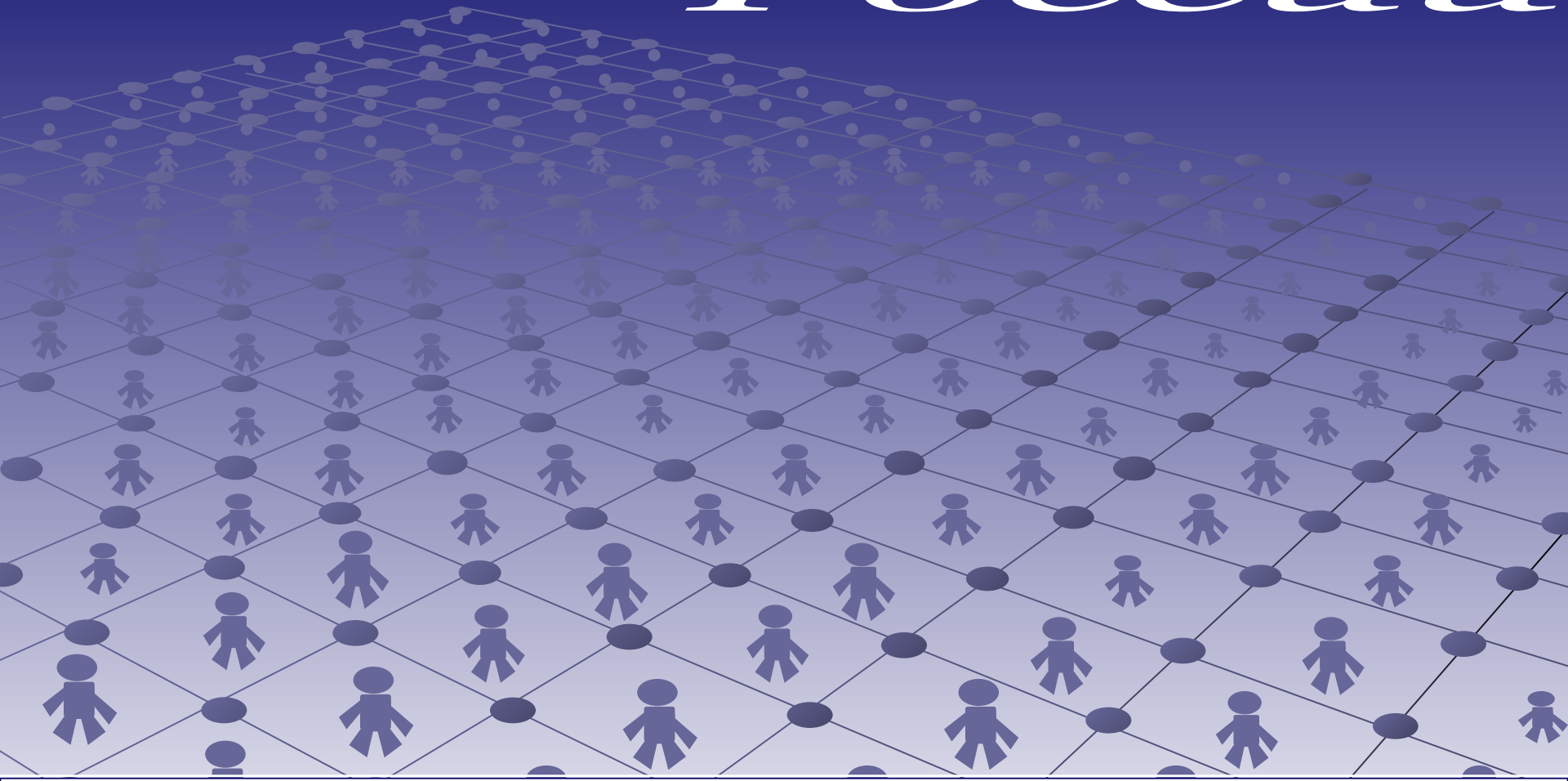
Агент-ориентированная модель социально-экономической системы России



В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, Н.В. Бахтизина

Агент-ориентированные модели (***agent-based models***) – новое средство получения знания, в последнее время все чаще используемое в общественных науках (в том числе экономических).

Основными свойствами агент-ориентированных моделей являются следующие (Джошуа Эпштейн):

- **Автономия.** Агенты действуют независимо друг от друга.
- В явном виде задано или описано **пространство**, в котором действуют агенты.
- **Ограниченная рациональность**.

Под руководством В.Л. Макарова в ЦЭМИ РАН разработана агент-ориентированная модель, где агенты – члены искусственных обществ – являются участниками экономической системы и их поведение ***ограниченно рационально***.

Согласно **классической теории поведения потребителя**, принимаемые им решения, исходят из соображений полной рациональности. *Т.е. предполагается, что человек, к примеру, всегда выбирает наилучшее действие с целью максимизировать полезность от приобретаемых им благ, или его поведение в плане поиска работы оптимально с точки зрения будущего дохода.*

При этом предполагается, что человек знает все возможности выбора и осведомлен о последствиях каждой альтернативы.

Herbert Simon (1978)

Герберт Саймон подверг резкой критике данный подход с его **«абсурдно всеведущей рациональностью»** и доказал, что такая модель поведения человека далека от реальности.

Основной аргумент Г. Саймона заключался в том, что в *основе поведения человека как работника лежит не только желание получить максимальный денежный доход, но еще и моральное удовлетворение*, связанное с удовлетворением его социальных потребностей или с реализацией творческих возможностей.

Множество альтернатив, рассматриваемых человеком гораздо меньше их реального числа и невозможно точно предсказать последствия любой из них. Кроме того, цели, достигаемые человеком, являются неоднозначными и поэтому их нельзя измерить количественно.

Herbert Simon

bounded rationality - ограниченная рациональность

основные последователи

- Gigerenzer G., Selten R. (2002): *Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox*. MIT Press
- Rubinstein A. (1997): *Modeling Bounded Rationality*. MIT Press
- Sargent T.J. (1994): *Bounded Rationality in Macroeconomics*. The Arne Ryde Memorial Lectures. Claredon Press

Агент-ориентированная модель социально-экономической системы России со встроенными нейронными сетями

Отказ от традиционного моделирования поведения человека посредством максимизации функции полезности в пользу нестандартного моделирования **ограниченной рациональности**, посредством применения технологий искусственного интеллекта.

Системы ИИ для моделирования поведения человека в социально-экономической среде

Нейронные сети	Нечеткая логика	Экспертные системы	Эволюционные вычисления	Генетические алгоритмы

равнозначны, но

Используют правила, определяемые *несколькими людьми*

Исчисляют предикаты из базы знаний, определяемой

Другие цели

Решение оптимизационных задач (*в рамках нашей модели неуместно*)

Используют данные реально проводимых опросов нескольких тысяч респондентов.

Моделирование экономических агентов с использованием технологий ИИ

Системы ИИ нашли свое применение в самых различных областях – бизнесе, медицине, физике и т.д. (**в том числе и в экономике**).

Однако эти системы в большинстве случаев используются автономно, а не в составе имитационных моделей. К примеру, **нейронные сети** используют для прогноза макроэкономических показателей, **так же как и одиночные регрессионные уравнения**.

- Beltratti A., Margarita S. and Terna P. (1996): *Neural Networks for Economic and Financial Modelling*. London: International Thomson Computer Press.
- Engelbrecht A.P. (2002): *Computational Intelligence: An Introduction*. Chichester: John Wiley.
- Garson G.D. (1998): *Neural Networks: An Introductory Guide for Social Scientists*. London: Sage Publications.

Лишь за последние несколько лет стали появляться публикации, авторы которых делятся опытом использования **систем ИИ в составе сложных моделей для более адекватного представления деятельности экономических агентов.** В то же время, моделей, использующих в качестве ИИ нейронные сети, совсем немного.

Такое отставание во времени связано, в первую очередь, с неспособностью вычислительных машин того времени численно разрешать модели большой размерности, однако сейчас **современные компьютеры позволяют проводить такие вычисления.**

Примеры 1

В работе (Baldassarre G. (1997): *Neural networks and genetic algorithms for the simulation models of bounded rationality theory: An application to oligopolistic markets* // Rivista di Politica Economica. V. 12, pp. 107-146.) рассматривается модель Бертрана, в которой агенты, каждый из которых представлен совокупностью **30 нейронных сетей**, принимают решения об установлении цены на свою продукцию.

Веса синапсов этих сетей регулируются с помощью генетических алгоритмов.

В процессе «игры», агент выбирает результаты, выдаваемые только одной сетью, просчитывая при этом последствия (прибыль, реакция других агентов) от применения результатов других сетей.

2

В другой работе (Zizzo D.J., Sgroi D. (2000): *Bounded-Rational Behavior by Neural Networks in Normal Form Games*. Nuffield College Oxford Economics Discussion Paper. No. 2000-W30) рассматривается игра, в которой достигается равновесие Нэша. Один из игроков представлен нейронной сетью, обученной на множестве примеров игр с равновесием по Нэшу. В новых играх, которые «игрок – нейронная сеть» еще не встречал, равновесие достигалось в большинстве случаев.

3

Немецкий ученый Гротманн (Grothmann R. (2002): *Multi-Agent Market Modeling based on Neural Networks*. Thesis presented for the Degree of Doctor of Economics. Bremen University) **построил нейронную сеть, имитирующую работу валютного рынка.** В отличие от прямого использования нейронных сетей для получения прогнозных оценок, в разработанной им сети каждый нейрон, являясь участником валютного рынка, «принимает решение» о покупки валюты той или иной страны. Результатом одновременно принятых решений всей совокупности нейронов сети, является ставка обменного курса национальной валюты.

4

В статье (Kooths S. (1999): *Modelling Rule- and Experience-Based Expectations Using Neuro-Fuzzy Systems*. University of Muenster. Germany. http://www-wiwi.uni-muenster.de/~09/makromat/cef99/cef99-kooths.pdf) описывается своего рода гибрид нейронной сети и системы нечеткой логики, называемый «нейронно-нечеткий генератор ожиданий» (*Neuro-Fuzzy Expectation Generator – NFEG*), встроенный в экономическую модель, в которой рассматриваются товарные и валютные рынки, а также рынки ценных бумаг и рабочей силы.

Agent-based Computational Economics

Помимо перечисленных работ по использованию систем ИИ в экономических моделях, необходимо упомянуть про новое направление в прикладной экономике – «Вычислимой экономике агентов» (***Agent-based Computational Economics, ACE***), основой которого является моделирование виртуального мира, «населенного» автономными агентами (экономическими, биологическими и т.д.). В проект по созданию подобных миров вовлечено много исследователей, разработки которых выложены на сайте **http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm**.

Управление созданным виртуальным миром, в соответствии с методологией ACE, осуществляется без вмешательства извне, т.е. только посредством взаимодействия агентов (Tesfatsion L. (2002): Agent-Based Computational Economics: Modelling Economies as Complex Adaptive Systems. http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi). При этом агенты должны обладать способностью к обучению.

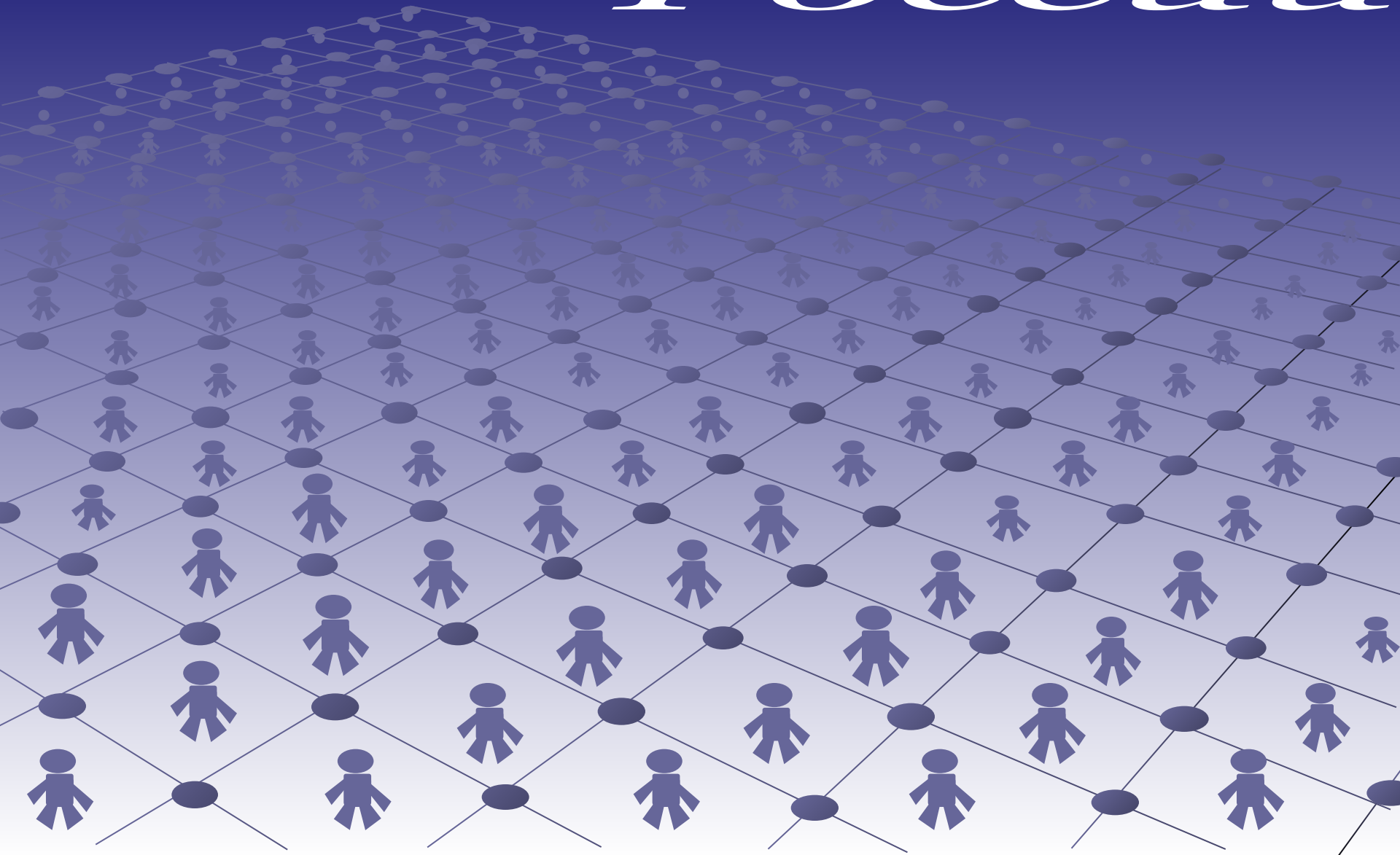
Предварительные замечания

Необходимо отметить, что практически все упомянутые выше модели, использующие ИИ, являются теоретическими (они используют абстрактные данные, а цель их разработки заключалась в проверке возможности применения такого инструментария).

В отличие от такого рода разработок, наша модель использует реальные данные и способна выдавать адекватные результаты.

Помимо этого, большинство экономических моделей, в которых используются технологии ИИ, являются итерационными, но в то же время количество итераций ограничивается самими разработчиками, которые «на глазок» определяют точку останова.

Агент-ориентированная модель социально-экономической системы России



Отличительные признаки CGE моделей

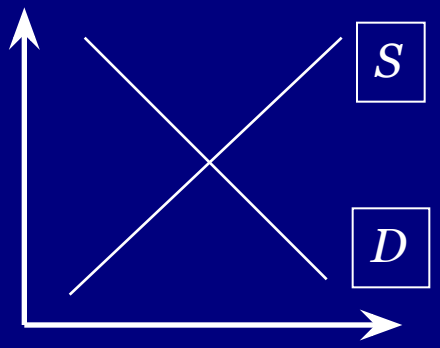
CGE

Вычислимые

GDP	7,5	7,7	7,9	8,1
Demand	1,2	1,3	1,4	1,6
Supply	1,2	1,3	1,4	1,6
Salary	2,1	2,3	2,5	2,7

Общие

Равновесные



Характеристика модели

Три сектора производителя

Государственный сектор. Сюда входят предприятия, доля государственной собственности в которых более 50 процентов.

Рыночный сектор, состоящий из легально существующих предприятий и организаций с частной и смешанной формами собственности.

Теневой сектор. Понимание теневого сектора в данной модели двоякое. С одной стороны к теневому сектору относятся нерегистрируемые в статистической отчетности экономические единицы, производящие товары и услуги, а с другой – легально существующие предприятия. В последнем случае в теневом секторе учитывается только их скрытая деятельность.

Характеристика модели (продолжение)

4 Совокупный потребитель

Этот экономический агент представлен в модели совокупностью «виртуальных обществ», которые принимают различные решения исходя из сложившейся экономической ситуации. К таким решениям относятся:

1) смена работы;
2) изменение потребительских предпочтений.

5 Правительство

представленное совокупностью федерального, региональных и местных правительств, а также внебюджетными фондами. Кроме того, в этот сектор входят некоммерческие организации, обслуживающие домашние хозяйства (политические партии, профсоюзы, общественные объединения и т.д.).

Характеристика модели (продолжение)

6 Банковский сектор

Банковский сектор, включающий в себя Центральный банк России и коммерческие банки.

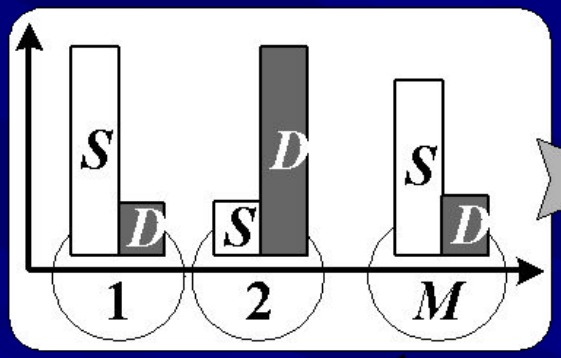
Функции в модели:

- Осуществляет эмиссию денег
- Устанавливает ставку по депозитам для предприятий и физических лиц.

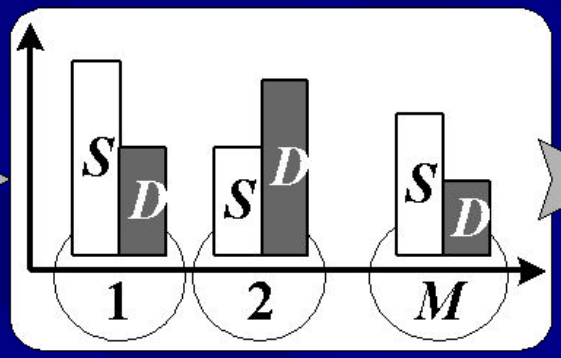
7 Внешний мир

В данной версии модели все экономические показатели внешнего мира задаются экзогенно. Это значит, что отечественные производители не могут экспортировать больше, чем внешнему миру нужно.

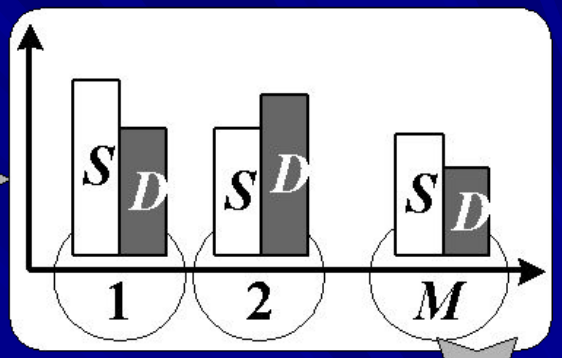
Совпадение спроса и предложения



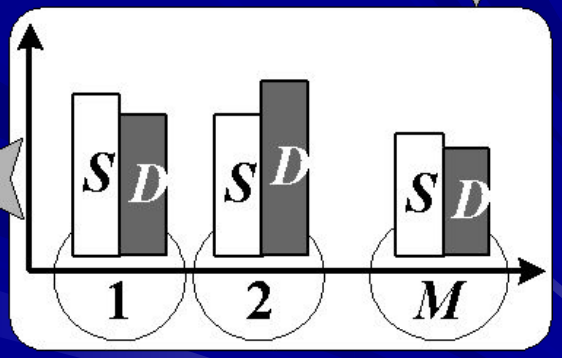
итерация **1**



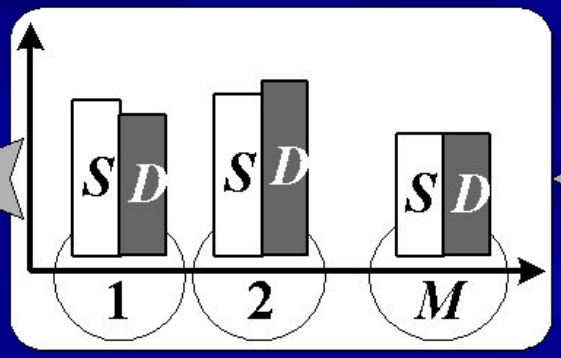
итерация **2**



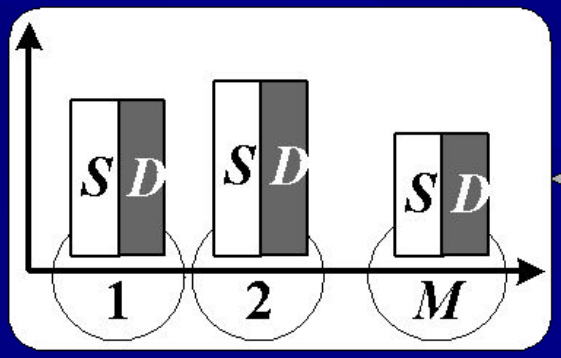
итерация **3**



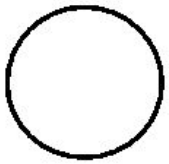
итерация **«*N*-2»**



итерация **«*N*-1»**



итерация **«*N*»**

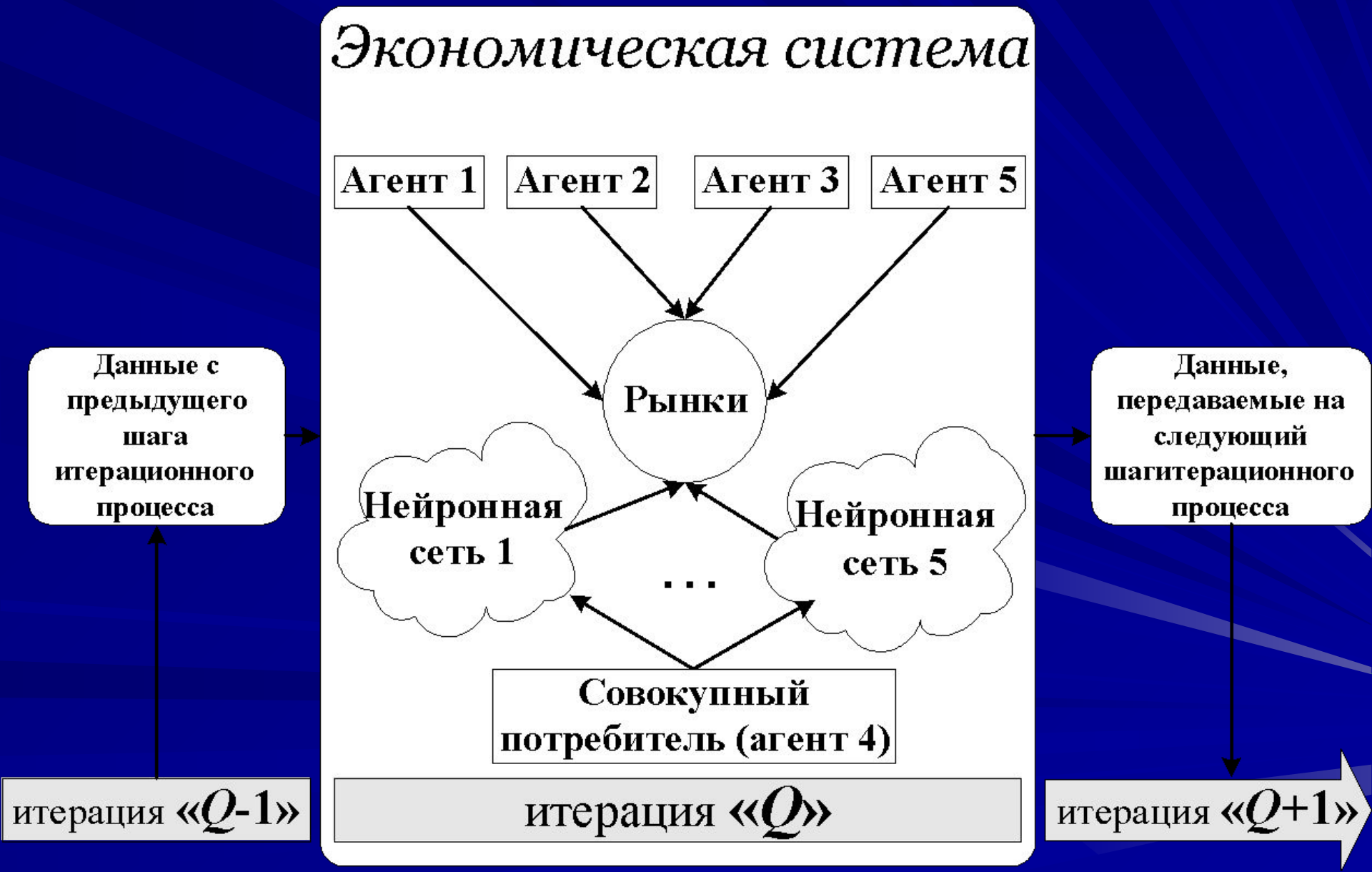


— рынок

N - количество итераций

сходимость достигается при ***N*** ≈ ***10000***

Итерационный процесс



Обработка анкет из социологических баз данных RLMS

RLMS – Russian Longitudinal Monitoring Survey или ***Российский мониторинг экономического положения и здоровья населения (РМЭЗ)*** представляет собой серию проводившихся в Российской Федерации в 1992 – 2001 гг. репрезентативных общенациональных опросов, реализованных в два этапа (две различные выборки).

Второй этап мониторинга включает в себя шесть волн обследований:

1) 5-ая волна – осень 1994 года;
2) 6-ая волна – осень 1995 года;
3) 7-ая волна – осень 1996 года;
4) 8-ая волна – осень 1998 года;
5) 9-ая волна – осень 2000 года;
6) 10-ая волна – осень 2001 года.

Каждое обследование представляет собой ответы на более чем 3 тысячи вопросов сгруппированных по трем вопросникам, включающих в себя информацию по нескольким разделам:

1) вопросник для взрослых (разделы: *миграция, работа, медицинское обслуживание, оценка здоровья, бюджет времени*);

2) вопросник для детей (разделы: *уход за детьми, медицинское обслуживание, оценка здоровья, бюджет времени*);

3) семейный вопросник (разделы: *информация о семье, жилищные условия, земледелие и животноводство, расходы, доходы*).

В среднем, в каждой волне опрашивалось около 10000 взрослых, 2000 детей и 4000 домохозяйств.

База данных RLMS находится в свободном доступе на сайте **http://www.cpc.unc.edu/projects/rlms/rlms_home.html** и, кроме того, ее можно бесплатно получить в Институте социологии РАН

В модели мы решили использовать **пять нейронных сетей**, **три** из которых определяют поведение человека в плане смены работы, а остальные **две** определяют способ распределения бюджета домохозяйства.

Нейронная сеть №1

определяющая решение работников государственного сектора о переходе в рыночный сектор или о продолжении работы в государственном секторе. Принимаемое с помощью нейронной сети решение базируется на размышлении о целесообразности дальнейшей работы в секторе, исходя из изменения своей покупательной способности.

На вход подается переменная, отражающая частное от деления индекса номинальной заработной платы и индекса потребительских цен, на выходе - **индикатор**, отражающий форму собственности предприятия-работодателя в следующий момент времени, при условии что в предыдущий момент времени человек работал в государственном секторе.

Выходная переменная нейронной сети:

$$N_1^j = \frac{\sum_{k=1}^{10}\left(\frac{1}{1+e^{-\left(\left(U_1^j \cdot r_{(1)scale}^{in} + r_{(1)shift}^{in}\right) \cdot w_1^{2k} - \tau_1^{2k}\right)}} \cdot w_1^{3k}\right) - \tau_1^3 - r_{(1)shift}^{out}}{r_{(1)scale}^{out}}$$

$r_{(1)shift}^{in}$

$r_{(1)scale}^{in}$

$r_{(1)shift}^{out}$

$r_{(1)scale}^{out}$

Параметры шкалирования входных и выходных переменных

w_1^{2k}

τ_1^{2k}

Значения весов синапсов и порогов для нейронов второго слоя

w_1^{3k}

τ_1^{3}

Значения весов синапсов и порога для нейронов третьего слоя

Входная переменная

Нейронная сеть №2

определяющая решение работников рыночного сектора о переходе в государственный сектор или о продолжении работы в рыночном секторе (в зависимости от изменения покупательной способности).

Сеть строилась аналогично предыдущей

Нейронная сеть №3

определяющая решение работников государственного и рыночного секторов о необходимости в дополнительной, неофициальной работе (в зависимости от изменения покупательной способности).

Нейронная сеть №4

определяющая доли бюджета домашних хозяйств, идущие на покупку конечных товаров по государственным, рыночным и теневым ценам (в зависимости от изменения покупательной способности).

Для построения этой сети использовались семейные вопросники

Нейронная сеть №5

определяющая доли бюджета домашних хозяйств, идущие на покупку валюты и вклады в банках (в зависимости от изменения покупательной способности).

Для построения этой сети использовались семейные вопросники

Вычислительные эксперименты:

Уменьшение объема теневого сектора

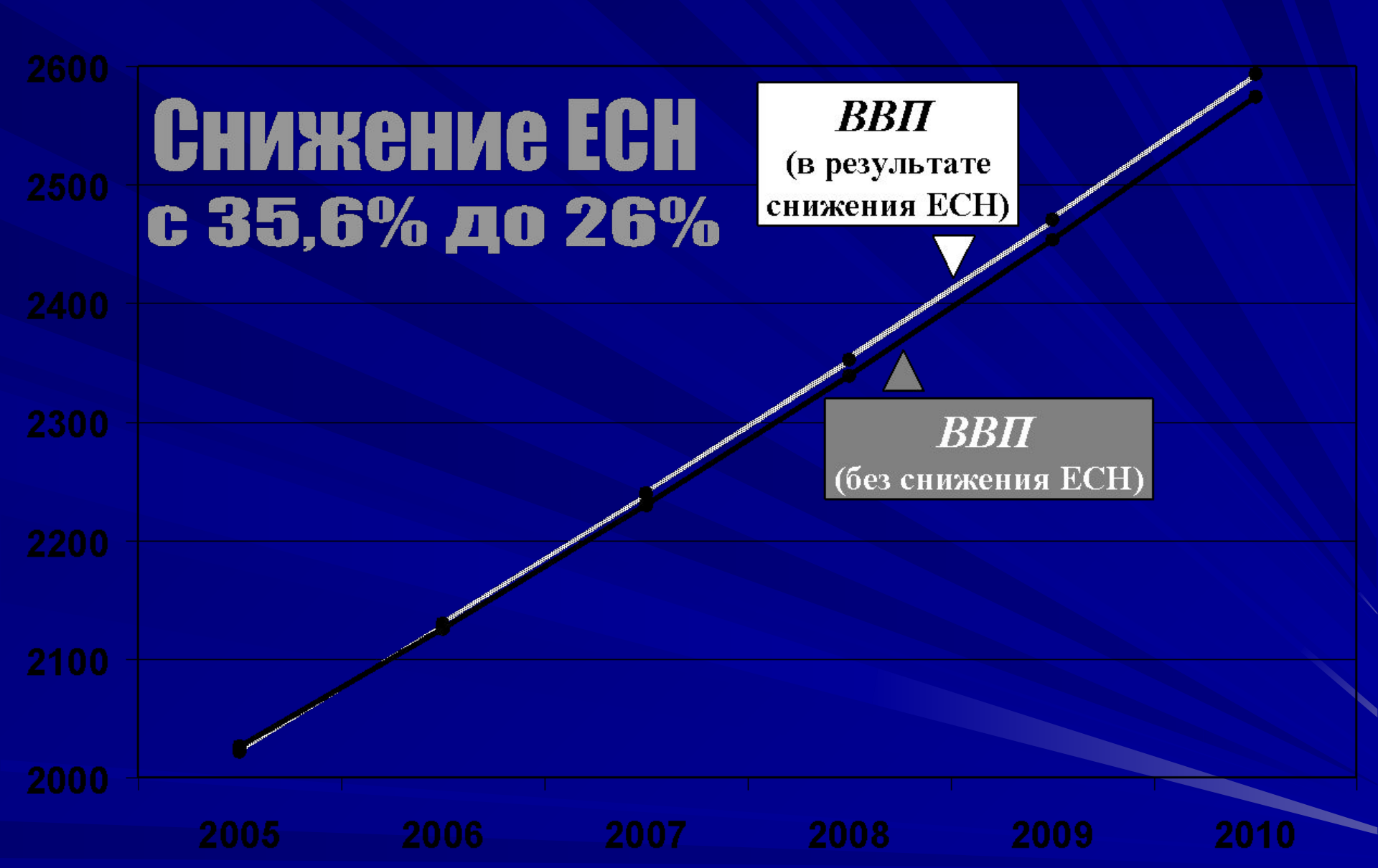
посредством снижения ставок основных налогов

1
Снижение единого социального налога

Налоговая база на одного работника, тыс. рублей в год	T^{esn}
$W_i \le 100$	26%
$100 < W_i \le 280$	
$280 < W_i \le 600$	10%
$W_i > 600$	2%

Правительство РФ рассчитывало, что снижение ЕСН обеспечит:

1. уменьшение объема теневого сектора
2. дополнительно 0,5% экономического роста.



Значения ВВП России (в ценах 1995 года) до и после снижения ЕСН, млрд. рублей

Прирост ВВП России после снижения ЕСН, в процентах

Показатели	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Количество работников теневого сектора **до снижения ЕСН**, млн. человек	9,54	9,61	9,68	9,75	9,81	9,88
Количество работников теневого сектора **после снижения ЕСН**, млн. человек	9,54	9,61	9,68	9,74	9,81	9,88
Бюджет совокупного потребителя в текущих ценах **до снижения ЕСН**, млрд. рублей	14119	16055	18152	20433	22905	25569
Бюджет совокупного потребителя в текущих ценах **после снижения ЕСН**, млрд. рублей	13907	15874	18010	20314	22799	25474

После этого эксперимента, мы продолжили снижение ставки ЕСН с целью добиться снижения численности работников теневого сектора.

Заметное уменьшение работников теневого сектора было замечено при снижении ставки ЕСН от **18%** и ниже, однако при этом заметно снизились также доходы внебюджетных фондов и, как следствие, несколько уменьшились совокупные доходы домашних хозяйств.

Дополнительный прирост ВВП России к 2010 году составил **2%** (относительно базового варианта развития экономики).

Снижение ставки НДС (проигрывались сценарии снижения до **17, 16 и 15 %%**) не оказало видимого снижения количества работников теневого сектора, но зато повлекло за собой снижение доходов федерального бюджета и, как следствие, снижение объемов субсидирования реального сектора и объемов социальных трансфертов, что, в конечном счете, повлекло за собой ухудшение макроэкономической ситуации.

Что касается налога на прибыль, то снижение ставки этого налога с **24%** до **20%** практически никак не отразилось на объеме теневой экономики, однако также как и в предыдущем случае негативно повлияло на остальную экономику.

Резюмируя, отметим, что из рассмотренных нами налогов, наиболее существенное влияние на масштаб теневой экономики оказал ЕСН. Однако снижение этого налога должно сопровождаться одновременным запуском действенных компенсирующих механизмов дополнительного финансирования образовавшихся брешей.

Спасибо за внимание !

Подробнее:
Сайт Лаборатории искусственных обществ:
www.artsoc.ru

Полное описание разработанной модели приводится в книге:

Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бахтизина Н.В. (2005): CGE модель социально-экономической системы России со встроенными нейронными сетями. – М.: ЦЭМИ РАН.

Книга будет выслана по запросу на
E-mail: albert@cemi.rssi.ru