

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АГЕНТЫ В СИСТЕМЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКОНОМИКИ «ЭКОМОД»

Шатров А. В.

В работе с позиций системной динамики на основе методологии, разработанной в Вычислительном центре им. А.А. Дородницына РАН построена имитационная модель развивающейся региональной экономики. Предложены варианты нескольких сценариев развития экономики Кировской области

Введение. В последние годы разработаны системы искусственного интеллекта (ИИ) в составе сложных моделей для более адекватного представления деятельности экономических агентов.

В работе [1] 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, реакцию других агентов) от применения результатов других сетей. В другой работе [2] рассматривается игра, в которой достигается равновесие Нэша. Один из игроков представлен нейронной сетью, обученной на множестве примеров игр с равновесием по Нэшу. Немецкий ученый Гротманн [3] 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 покупке валюты той или иной страны. Результатом одновременно принятых решений всей совокупности нейронов сети является ставка обменного курса национальной валюты.

Широкое распространение получила концепция «Вычислимой экономики агентов», реализуемая как самоорганизующаяся система. Наиболее популярным прикладным пакетом для моделирования параллельно распределенного виртуального мира является универсальный пакет *SWARM*, разработанный в *Институте Санта Фе (Santa Fe Institute)*. По своей сути *SWARM* является набором библиотек, написанных на языке *Objective-C*, служащих основой для разработок сложных мульти-агентных систем. Этот пакет в свободном доступе находится в сети по адресу <http://wiki.swarm.org>.

В работе [4] используется вычислимая модель общего экономического равновесия (Computable General Equilibrium Model, CGE модель), реализованная группой исследователей ЦЭМИ РАН под руководством академика В.Л. Макарова в виде совокупности нейронных сетей - симбиоз экономической системы и эмулятора мозга людей из рассматриваемых в модели «виртуальных обществ». Модели этого класса сами по себе являются новым направлением в прикладной экономике, получившим широкое распространение во всем мире.

В данной работе мы рассматриваем применение системы ЭКОМОД [5,6] к моделированию региональной экономики. Эффективная и надежная работа с моделью обес-

печивается тем, что модель разрабатывается в среде системы аналитических преобразований Maple 10. Всё это является основанием считать технологию создания и использования математических моделей экономических структур ЭКОМОД относящейся к системам ИИ.

Модель. Модель описывает региональную экономику в терминах одного продукта (ВРП). Основной принцип - развитие экономики рассматривается как результат взаимодействия 7 типов экономических агентов:

1. Производители (нефинансовые коммерческие организации),
2. Банки (финансовые коммерческие организации),
3. Домашние хозяйства (физические лица как потребители и трудящиеся),
4. Собственники (физические и юридические лица, как управляющие движением капитала между секторами и за пределы области),
5. Область (некоммерческие организации),
6. Центральный банк,
7. Внешняя торговля.

Агенты 6,7 в данной модели были введены для технического замыкания системы балансов.

Поведение области описывается сценариями областной экономической политики, выраженных через значения входных (экзогенных) переменных и параметров модели. Кроме описания поведения агентов, модель также описывает взаимодействия агентов.

Строго говоря, область в целом выступает в региональной экономике как производитель особых общественных благ. Эти блага называются общественными потому, что они не делятся между гражданами. Общественные блага производятся за счет затрат продукта, закупаемого в порядке областного потребления, за счет затрат труда государственных служащих, за который они получают зарплату, и за счет денежных затрат на субсидии и пособия определенным категориям граждан и организаций. Поскольку общественный продукт достается всем членам общества, то оплачивается за счет налогов. Производственная деятельность области отражается в современной системе региональных счетов балансами особой отрасли "Управление". Эта отрасль производит особый продукт и практически не создает добавленной стоимости.

В модели не описывается явно результат производственной деятельности области, а учитываются только расходы на эту деятельность.

Область, как и упомянутые выше агенты ("Банк", "Производитель", "Собственник", "Население") рассматривается в модели как единое лицо, принимающее решения относительно своих планируемых переменных. В базовой модели ЭКОМОД [2-3] этому соответствует агент «Государство». Концепцию описания региональной экономики еще следует уточнять. Можно предположить два принципиально различных подхода описания региональной экономики:

- 1) государство делегирует все полномочия региону (области) и он принимает на себя все функции агента «Государство»;
- 2) в базовую модель необходимо ввести еще одного специфического агента «Регион», определив принципы его описания и взаимодействия.

В нашей модели мы, в основном, следовали принципам описания базовой модели (*первый подход*), отдавая, однако отчет в том, что поведение субъекта федерации и самой федерации различно.

Каждый из рассмотренных ранее агентов: *Банк*, *Производитель*, *Собственник* и *Население* - представлял большую совокупность реальных субъектов экономики (финансовых коммерческих организаций, нефинансовых коммерческих организаций, физических и юридических лиц, распоряжающихся большими объемами собственности, домохозяйств живущих за счет зарплаты, пособий и сравнительно небольшой ренты). Таких агентов мы называем **массовыми**. Каждый субъект, представленный массовым агентом, контролирует небольшую часть ресурсов, представленных планируемыми переменными массового агента, и располагает ограниченной информацией.

Основное предположение относительно массовых агентов состоит в том, что за счет конкуренции, подражания и специализации субъектов массовый агент ведет себя более регулярно и рационально, чем каждый из составляющих ее субъектов. Поэтому совокупное поведение массового агента считается возможным описывать вариационным принципом - максимизацией целевого функционала в рамках технологических и институциональных ограничений. Последние как раз и выражают ограниченность информации субъектов, представленных массовым агентом.

Модельных агентов, представляющих отдельных особо влиятельных субъектов экономики, мы называем **индивидуальными** агентами. В данной модели их два – «Область» и «Центробанк».

В силу вышесказанного не считается возможным формализовать цели индивидуального агента как задачу оптимизации определенного критерия, а предлагается описывать деятельность такого агента **сценариями** его политики. Иными словами, планируемые переменные области мы задаем просто как функции времени, а затем на экспериментах с моделью сравниваем результаты, полученные при разных наборах траекторий планируемых переменных области.

При сценарном описании поведения агента различие между информационными и планируемыми переменными несколько размывается. Однако важно, чтобы переменные, задаваемые сценарием, отвечали реальным рычагам областного управления. Иначе сценарий невозможно будет сравнить с реально проводившейся политикой.

Область в модели - это индивидуальный агент, и его поведение описывается сценарием **региональной экономической политики**, включающем:

- Программу закупки продуктов областного потребления $G(t)$
- Программу трансфертов населению - выплат пособий населению и зарплаты бюджетникам за вычетом подоходного налога с этих выплат $Sub(t)$
- Программу выплат внешнего долга (или поступлений от внешних займов, смотря по знаку) $LdW(t)$

Платежи бюджета, идущие на оплату продукта, и платежи, передаваемые гражданам и организациям в денежной форме, воздействуют на экономику существенно по-разному, поэтому мы складываем зарплату и пособия, а расходы на закупки учитываем отдельно. Спецификой данной модели является учет теневого оборота.

Сценарные расчёты. Итак, имитационная модель предназначена для аналитических и прогнозных расчетов. Система производит расчет при заданных значениях входных данных и выдает значения выходных переменных и их графики в сравнении с исходными данными. Изменяя значения параметров модели, можно обыгрывать различные сценарии развития экономики Кировской области и оценивать ее экономиче-

ский потенциал в каждом частном случае. Перечислим параметры модели, которые оставались неизменными во всех сценариях:

1. Параметры производственной функции.
2. Налоговые ставки:
 - налог на добавленную стоимость – $nv = 0,18$;
 - налог на прибыль – $np = 0,24$;
 - подоходный налог – $nd = 0,13$;
 - социальный налог – $ns = 0,26$.

Остальные параметры варьировались от сценария к сценарию.

«Пессимистический» сценарий. Название этого сценария отражает степень участия и влияния Правительства на действия массовых экономических агентов. Его также можно было бы назвать «мягким» с точки зрения Собственников-производителей. В данном сценарии были выбраны и идентифицированы следующие значения параметров:

- $\varepsilon = 100$ - коэффициент, описывающий частоту проверок и величину штрафов, взимаемых налоговой инспекцией. При $\varepsilon \rightarrow 0$ санкции налоговой инспекции ожесточаются. В нашем случае санкции нежесткие.
- $i1 = 0,04$ - средний темп инфляции за весь рассматриваемый период. В нашем случае инфляция растет в среднем на 4% за квартал.
- $\xi_n = 0,1$ - норма резервирования привлеченных средств от расчетных счетов производителей. Значение взято непосредственно из нормативных документов Центрального банка.
- $\xi_s = 0,07$ - норма резервирования привлеченных средств от депозитов населения. Значение взято непосредственно из нормативных документов Центрального банка.
- $\tau_s = 1$ - параметр обращения денег легальной зарплаты.
- $\beta_a = 0,7$ - норма амортизации (обратная величина износа основных средств). В нашем случае, основные средства амортизируются в среднем за четыре месяца.
- $\sigma = 0,2$ - доля кредитов в ВРП. В нашем случае кредиты занимают 20% в общем объеме ВРП.
- $\mu = 0,5$ - коэффициент потребления купленного продукта. В нашем случае половина купленного продукта потребляется, а остальная половина переходит в запасы.
- $\beta_s = 1$ - норма привлечения депозитов (обратная величина срока привлечения депозитов). В нашем случае депозиты привлекаются на 1 квартал.
- $\delta = 0,6$ - мера риска собственника. Чем меньше δ , тем больше риск собственника не получить планируемый доход. В нашем случае риск ниже среднего уровня.
- $\beta_k = 0,06$ - норма выдачи кредитов производителю (обратная величина срока выдачи кредитов). В нашем случае в процессе идентификации модели срок выдачи кредитов оказался равным 4 года.
- $\tau_{bl} = 6,3$ - параметр обращения денег, полученных от теневой зарплаты. В результате идентификации модели получилось, что деньги, полученные от теневой зарплаты, обращаются в шесть раз быстрее, чем от легальной зарплаты.

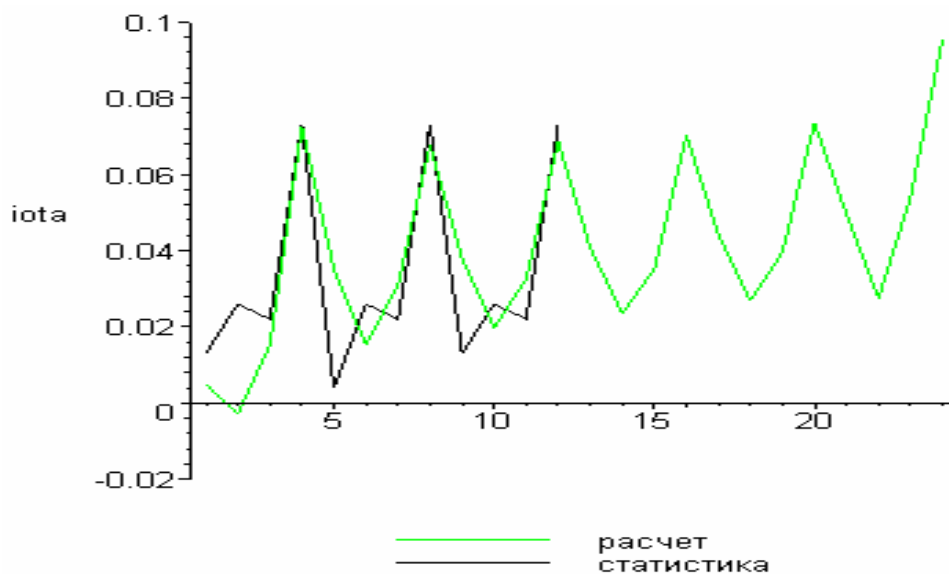


Рис. 1 – Темп инфляции

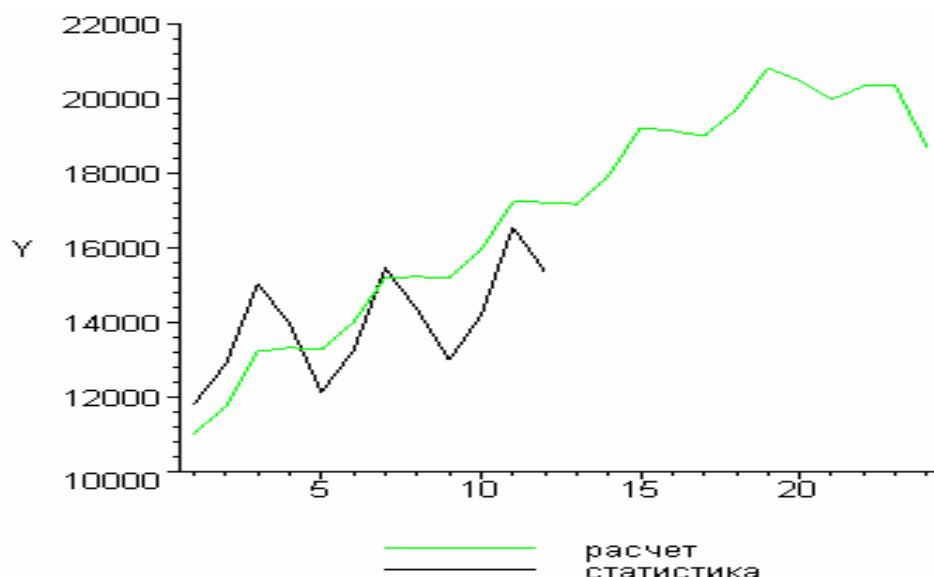


Рис. 2. – ВРП, млн. руб. в реальном выражении в ценах 2002 года

За недостатком места результаты сопоставления расчетов со статистикой для 12 кварталов 2002-2004 гг. и прогноз на три года вперед (на 12 кварталов) приведены только для двух показателей на рис. 1-2

Как видно на рис.1, инфляция воспроизводится моделью с весьма высокой точностью и отражает колебания инфляции в пределах года. Из прогноза видно, что темп инфляции в 2005-2006 гг. останется на том же уровне, что и в 2002-2004 гг., а к концу 2007 года возрастет. Значения ВРП, рассчитанные моделью (рис.2), слегка завышены по сравнению со статистическими данными, но отражают характер колебаний данного показателя в пределах года. Из прогноза было получено, что валовое накопление в 2005-2006 гг. будет возрастать высокими темпами, а в 2007 году произойдет резкий

спад реальных инвестиций. О соответствующем снижении объёмов ВРП в реальных ценах можно судить по данным на рис. 2

Работа выполнена в рамках проекта «Исследование инновационного потенциала Кировской области с целью создания центров трансфера технологий», код проекта ГК 02.449.11.7026, частично поддержана грантом РФФИ № 07-01-06048-г

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Baldassarre G.* Neural networks and genetic algorithms for the simulation models of bounded rationality theory: An application to oligopolistic markets // *Rivista di Politica Economica*. V. 12, 1997, pp. 107-146.
2. *Zizzo D.J., Sgroi D.* Bounded-Rational Behavior by Neural Networks in Normal Form Games. Nuffield College Oxford Economics Discussion Paper. 2000, No. 2000-W30.
3. *Grothmann R.* Multi-Agent Market Modeling based on Neural Networks. Thesis presented for the Degree of Doctor of Economics. Bremen University, 2002.
4. *Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бахтизина Н.В.* CGE модель социально-экономической системы России со встроенными нейронными сетями. – М.: ЦЭМИ РАН, 2005. – 152 с.
5. *Завриев Н.К., Поспелов И.Г., Поспелова Л.Я.* Уроки эксплуатации системы ЭКОМОД и новые перспективы.-М.: ФАЗИС – ВЦ РАН, 2004.
6. *Шатров А.В., Осипова О.Н.* Имитационная модель и сценарии развития экономики Кировской области / Сборник трудов летней школы ЭКОМОД-2006.- Киров, изд. ВятГУ, с.25-90

INTELLIGENT AGENTS IN “ECOMOD” MACROECONOMICS MATHEMATICAL MODELLING SYSTEM

Shatrov A. V.

Imitating model of regional economy development is constructed from positions of system dynamics on the basis of methodology developed in Dorodnitsyn Computer Center of the Russian Academy of Science. Several scenarios of the Kirov region economic development are offered