

УДК 519.216, 519.866

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ НОРМАТИВНОЙ ВЫЧИСЛИМОЙ МОДЕЛИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

© В. А. Горбачев

Ключевые слова: CGE-модели; вычислимое моделирование; автономные системы дифференциальных уравнений.

В работе проведено исследование модельной системы уравнений в имитационной модели экономического сектора, идентификация вида системы и анализ поведения траекторий решения в малой окрестности точек, соответствующих состоянию равновесия исследуемой экономической системы.

Нормативная балансовая модель общего равновесия региональной экономики (см. [1]) с учетом запасов благ, денег, налогообложения и теневого сектора является частным случаем CGE модели. Эта частная модель учитывает потоки благ, по которым имеются статистические временные ряды. Таким образом, модель отражает изменения факторов, действий, предметов потребления, которые можно сравнивать с соответствующей статистикой. Структурно модель представляет собой набор дифференциальных и алгебраических уравнений, часть из которых нелинейны.

При разработке модели предполагалась некая простота математического описания поведения выделенных экономических агентов: в частности, считалось, что материальные и финансовые потоки между агентами определяются некими постоянными долями от запасов материальных благ и запасов денежных средств агентов. С другой стороны, сложность и полнота рассмотрения взаимодействий между агентами привела к тому, что сами уравнения на изменение этих запасов и на начальные данные, как бы просто они ни создавались, довольно громоздки: всего в модели N параметров и M переменных, при этом все они имеют некий понятный экономический смысл. Именно это дает надежду на то, что модель удастся согласовать со статистическими данными при активном использовании современной высокоскоростной вычислительной техники.

В модели рассматриваются следующие экономические агенты: производитель X (перерабатывающий сектор народного хозяйства), производитель Y (добывающий сектор); производитель Z (инновационный сектор), соответствующие им теневые части секторов - X' , Y' , Z' ; домашние хозяйства (население) L ; посредник, или «продавец» T ; правительство региона (государственные структуры) G ; внешние потребители и поставщики (внешний для региона рынок) O ; региональная банковская система B (включая долю центрального банка в регионе).

При построении модели сделано важное предположение, что в каждый момент времени t весь наличный объем блага i разделен без остатка между агентами, так что в распоряжении каждого агента находится запас блага $Q_i^v(t)$. Запас блага $Q_i^v(t)$ изменяется вследствие его производства (или получения из внешней природной среды) и потребления агентом v , а также вследствие передачи блага от одного агента другому. Последнее предположение

точно записывается в виде уравнения материального баланса:

$$\dot{Q}_i^\nu(t) = X_i^\nu - C_i^\nu - V_i^\nu - J_i^\nu - \sum (h_i^{\mu\nu} - h_i^{\nu\mu}),$$

где X_i^ν - объем выпуска (выпуск) или получения из внешней природной среды блага i у агента ν ; C_i^ν - конечное потребление блага i агентом ν . Потребленное благо не оказывает дальнейшего воздействия на экономические процессы; V_i^ν - текущие затраты, J_i^ν - материальные затраты. Это тоже форма потребления, но, в отличие от конечного потребления, данные потоки влияют на способность агента производить благо i . К текущим затратам относят блага, которые превращаются в производимый продукт (сырьё, комплектующие), а к капитальным – блага, накопление которых способствует этому превращению (установка оборудования, строительство зданий и сооружений); $h_i^{\mu\nu}$ - поток блага i от агента ν к агенту μ . Антисимметричная форма члена $\sum (h_i^{\mu\nu} - h_i^{\nu\mu})$, описывающего передачи благ, выражает представление о том, что блага не возникают и не исчезают при передаче.

Структурно рассматриваемая модель представляет собой нелинейную автономную систему. В общем виде запишем модельную систему уравнений в следующем виде:

$$\dot{\vec{Z}} = F(\vec{Z}, \vec{\omega}),$$

где $\vec{Z} = (\vec{Q}, \vec{W}, \vec{p}, \vec{s})$ – набор переменных модели: $\vec{Q}$ - вектор запасов материальных благ, $\vec{W}$ - вектор денежных запасов, $\vec{p}$ - вектор цен, $\vec{s}$ - вектор заработных плат, а $\vec{\omega}$ – набор параметров модели. Введем следующие обозначения: $\vec{Z} = (\vec{Z}_1, \vec{Z}_2)$, где для части переменных $\vec{Z}_1$ статистика известна $\vec{Z}_1(t_0) = \vec{s}^0$, а для $\vec{Z}_2$ нет, $\vec{Z}_2(t_0) = \vec{\omega}_2$; аналогичным образом делится и набор параметров модели $\vec{\omega} = (\vec{\alpha}, \vec{\omega}_2)$: часть параметров $\vec{\alpha}$ нам известна из статистики, а часть $\vec{\omega}_2$ нет. Без ограничения общности будем считать, что $\vec{\alpha}$ входит в функцию f . В новых обозначениях мы можем произвести постановку задачи оптимизации параметров и начальных значений модели:

$$\begin{cases} \dot{\vec{Z}}_1 = f_1(\vec{Z}, \vec{\omega}_1); \\ \dot{\vec{Z}}_2 = f_2(\vec{Z}, \vec{\omega}_2); \\ \vec{Z}_1(t_0) = \vec{s}^0, \vec{Z}_2(t_0) = \vec{\omega}_2; \\ \phi(\vec{Z}_j(t_j) - \vec{s}^j) \rightarrow \min. \end{cases}$$

Здесь в качестве критерия ϕ может быть взят индекс близости временных рядов Тейла, или иной критерий близости (среднее квадратичное отклонение, корреляция).

Поставленная задача оптимального управления очень сложна. Даже для небольшого набора уравнений непросто получить решение аналитически, а в нашем случае практически невозможно. Таким образом, единственным способом решения поставленной задачи остается применение численных методов, аналогичных, например, методам из [2]. А именно, предлагается решить данную задачу общим перебором всевозможных вариантов на некоторой достаточно подробной дискретной сети возможных значений искомых параметров с применением параллельных вычислений на суперкомпьютере.

Применение параллельных вычислений на суперкомпьютере обусловлено тем, что такое количество вычислительных операций, которое необходимо для осуществления полного перебора всех значений параметров, не сможет осилить обычный компьютер [3].

Для эффективного применения данного метода необходимо пройти подготовительный этап: при работе с экономикой, не находящейся в переходном периоде, мы можем допустить, что экономика развивается с постоянным темпом роста γ . С учетом инфляционной составляющей данное предположение можно записать в виде режима квази-сбалансированного роста для исследуемой модели. Для этого введем следующие обозначения $\vec{Z} = (\vec{Q}, \vec{P})$, где

$\vec{Q}$ – интенсивные переменные (запасы благ и денег у агентов), а $\vec{P}$ – экстенсивные переменные (цены, заработные платы). В новых обозначениях мы можем записать режим квази-сбалансированного роста:

$$\begin{cases} \vec{Q} = \vec{Q}_0 e^{\gamma(t-t_0)}; \\ \vec{P} = \vec{P}_0 e^{\delta(t-t_0)}. \end{cases}$$

Применение режима квази-сбалансированного роста к модели позволяет найти зависимости между параметрами и, выразив зависимые, сократить общее число параметров модели, снизив таким образом нагрузку на вычислительную технику в ходе решения задачи идентификации параметров. В нашем случае применение режима квази-сбалансированного роста позволило исключить 44 параметра и сократить их количество до 12.

Пересчет будет производиться по набору параметров $\vec{\omega}_1$ и начальных значений переменных $\vec{\omega}_2$, которые не могут быть определены из статистики. В качестве критерия ϕ используем индекс Тейла. Таким образом, необходимо произвести анализ каждого указанного параметра, чтобы на основании самой сущности параметра, а также основываясь на данных, полученных опытным путем в ходе вычислительного эксперимента для получения работоспособного варианта модели, произвести оценку верхней и нижней допустимых границы ω_i^- , ω_i^+ каждого параметра ω_i , при этом задается дискретная сеть с необходимым шагом разбиения для пересчета параметров $\vec{\omega} = (\omega_1, \dots, \omega_n)$.

Пересчет будем производить по всевозможным комбинациям значений параметров в рамках установленной сети значений, на каждом шаге проводим проверку критерия оптимальности и сравнение результатов.

Полученный результат можно использовать при изучении последствий изменения политики на рынке, находящемся в режиме сбалансированного роста, предварительно рассчитав начальные условия на исходном и «возмущенном» рынках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошечев А.В., Оленев Н.Н. Моделирование взаимодействующих региональных экономических систем с использованием параллельных вычислений // Труды МФТИ. 2010. Т. 2. № 1 (5). С. 92-97.
2. Оленев Н.Н., Фетинина А.И. Моделирование экономики Кировской области с применением технологий параллельного программирования // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2010. № 1 (65). С. 108-113.
3. Оленев Н.Н., Фетинина А.И. Параллельные вычисления в идентификации динамической модели Вятского региона // Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского. 2009. № 6 (1). С. 184-191.

Поступила в редакцию 26 апреля 2011 г.

Gorbachev V.A. The identification of computable model of the regional economy. In this paper we propose the CGE-model of economic sector. This model is represented by a system of differential equations. The analysis of trajectories in the points corresponding to equilibrium of investigated economic system is introduced and studied.

Keywords: CGE-models; computable modeling; independent systems of the differential equations.

Горбачев Владимир Александрович, Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация, аспирант кафедры нелинейного анализа и оптимизации, e-mail: g_vova@inbox.ru