

# ГЛОБАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ В ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОСЕКТОРНОЙ МОДЕЛИ ЭКОНОМИКИ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

В.П. Гергель, Н.Н. Оленев, В.В. Рябов, К.А. Баркалов, С.В. Сидоров

Многосекторные модели региональной экономики строятся для оценки различных возможных вариантов развития региона. Можно выделить три основных типа многосекторных математических моделей региональной экономики, которые можно использовать для практической оценки экономического потенциала региона и динамики его макроэкономических показателей. Модель межотраслевого баланса В.В. Леонтьева оказала колоссальное влияние на статистические ведомства всех стран мира, которые собирают данные, необходимые для составления межотраслевого баланса. В случае Нижегородской области трудно воспользоваться такой моделью по следующим основным причинам. Во-первых, экономика Нижегородской области чрезвычайно открыта и поэтому данных, необходимых для построения регионального межотраслевого баланса нет, есть только данные для построения межотраслевого баланса всей страны. Во-вторых, в переходных условиях изменений в экономике технологические коэффициенты (нормы прямых затрат продукции смежных отраслей на выпуск продукции отрасли) быстро меняются от году к году. Кроме того, межотраслевой баланс по природе своей является статическим, поскольку строится на основе данных целого года, и рассмотрение динамических версий его несколько искусственно. Второй тип моделей основан на составлении сложившейся иерархической структуры основных экономических агентов на рассматриваемых рынках и решении соответствующей иерархии оптимизационных задач. На построение такого рода динамических моделей региональной экономики требуется до года работы коллектива высококвалифицированных ученых из десяти человек. А в условиях постоянно меняющейся экономической ситуации в стране с переходной экономикой, когда ситуация может кардинально измениться в течение года, для поддержания такого рода моделей в действующем состоянии нужно постоянно держать команду высококвалифицированных исследователей. Многосекторные балансовые нормативные динамические модели с запасами продуктов и финансовых средств могут спасти положение, если научиться их идентифицировать.

Оценка экономического развития региона особенно важна во время переходных процессов от одной стратегии развития к другой. Для адекватности используемой модели требуется, чтобы она была должным образом идентифицирована по исторической статистике. Другими словами, требуется определить параметры модели, при которых ее поведение в прошлом соответствует историческим данным, то есть должная идентификация модели подразумевает ее верификацию по временным рядам макропоказателей изучаемой региональной экономики. Идентифицированная имитационная модель региональной экономики дает возможность получить количественную оценку динамики макропоказателей экономики региона, включая оценку экономического потенциала, включая показатели структуры человеческого капитала и его динамики.

Задача идентификации многосекторных моделей региональной экономики заключается в поиске значений неизвестных параметров модели, при которых результаты расчетов по модели временных рядов макропоказателей экономики близки к историческим статистическим данным для этих временных рядов. При этом критерием близости расчетных и исторических статистических временных рядов по всем сравниваемым макроэкономическим показателям может служить свертка критериев Тейла для каждого макропоказателя [1]. Здесь исследование сталкивается с "проклятием размерности". Число параметров, которые нельзя определить напрямую из статистики, оказывается для таких моделей настолько велико, что прямое применение параллельных вычислений на суперкомпьютерах оказывается бессильным. Требуются новые пути решения для задачи идентификации многосекторных моделей экономики с помощью параллельных вычислений.

Применение эффективных параллельных алгоритмов глобальной оптимизации, развиваемых в Нижегородском государственном университете им. Лобачевского, позволяет вплотную приблизиться к решению подобных задач. Огромное количество независимых параметров модели (до  $N=60$ ) требует применения всех возможных способов ускорения сходимости, описанных в работах [], а также построения дополнительных локальных оценок оптимума с использованием метода Хука-Дживса. Применение алгоритмов с высокой эффективностью распараллеливания на кластере ННГУ позволяет достичь предела вычислительных ресурсов.

Здесь мы рассматриваем трехсекторную нормативную динамическую балансовую модель региональной экономики, построенную в Вычислительном центре им. А.А. Дородницына РАН и задачу идентификации этой модели по данным Нижегородской области, которая решается с помощью параллельных методов глобальной оптимизации, разработанных в Нижегородском государственном университете им. Лобачевского. Идентифицированную модель экономики Нижегородской области предполагается использовать для прогноза будущего развития данного региона, а также для анализа возможных вариантов его развития.

## Описание трехсекторной модели экономики Нижегородской области

Полное описание модели обширно, оно представлено в [1]. Здесь укажем только основные положения. При построении модели экономики региона выделено восемь экономических агентов. Во-первых, три

Производителя, которые в модели представлены тремя секторами экономики Нижегородской области: первый сектор включает добывающие и инфраструктурные отрасли, (2) второй - обрабатывающие отрасли региональной экономики, (3) третий - отрасли услуг, включая финансовые услуги. Во-вторых, три основных Потребителя конечной продукции: (4) Домашние хозяйства, (5) Правительство региона, (6) Внешние для региона потребители. Замыкает модель описание поведения еще двух экономических агентов: (7) Банковской системы региона, (8) Торгового посредника. Модель экономики региона описывает динамику материальных и финансовых балансов через изменение запасов денег, продуктов и факторов производства. Модель учитывает налогообложение производителей и домашних хозяйств, а также теневой оборот в сфере производства и потребления. Производители поставляют продукцию конечного потребления на внутренние и внешние рынки, а также промежуточную продукцию в смежные сектора экономики. Домашние хозяйства потребляют конечную продукцию и предлагают труд производственным секторам экономики. Банковская система выпускает денежные средства и выдает кредиты производителям. Правительство региона формирует консолидированный региональный бюджет, собирая налоги, которые в модели представлены семью ставками: (1) налог на прибыль, (2) налог на добавленную стоимость, (3) акцизы, (4) единый социальный налог, (5) пошлины на вывоз продукции, (6) пошлины на ввоз продукции, (7) подоходный налог. Кроме того, Правительство региона распределяет полученные средства по основным экономическим агентам. Модель учитывает теневой оборот, который не облагается налогами.

Банковская система Нижегородской области не является замкнутой, большую роль в инвестиционных решениях играют филиалы Российских банков других регионов. В качестве первого приближения при описании банковской системы Нижегородской области предполагалось, что часть золотовалютных резервов Российской Федерации обеспечивает резервирование активов Нижегородской области. Считаем, что банковские активы областной банковской системы состоят из золото-валютных резервов и суммарной задолженности производственных секторов экономики региона, а пассивы – из суммарных запасов денег у контрагентов банковской системы, которые подчиняются финансовому балансу банковской системы.

Полная модель содержит более ста соотношений. Число внешних по отношению к модели параметров, которые невозможно определить напрямую из данных статистики, удалось сократить до 63 за счет использования полученных нами соотношений между параметрами на равновесном начале. Казалось бы, подобного типа нормативные модели совершенно бессмысленны, поскольку для проведения осмысленных качественных и количественных расчетов на них необходимо провести идентификацию их внешних параметров, а большая часть параметров не может быть оценена напрямую из данных экономической статистики. Нами предложена новая технология идентификации внешних параметров модели, основанная на использовании высокоскоростных параллельных вычислениях на многопроцессорной системе. Для идентификации параметров сравниваются полученные при расчетах на модели временные ряды макропоказателей экономики региона с соответствующими статистическими временными рядами. В качестве критериев близости временных рядов использован индекс несовпадения Тейла. Критерием качества идентификации параметров модели является количественное соответствие основных макроэкономических показателей статистическим показателям экономики региона за период с 2000-2010 гг.

#### **Методы глобальной оптимизации в идентификации модели**

Алгоритмы нижегородской научной школы глобальной оптимизации работают с достаточно общей постановкой задачи, где целевая функция  $f(y)$  удовлетворяет условию Липшица с соответствующей константой  $L$ , вообще говоря, не заданной, а область поиска задана гиперпараллелепипедом  $D$  и нелинейными функциональными ограничениями  $g_i(y)$ , также удовлетворяющими условию Липшица с константами  $L_i$ .

Используя кривые типа развертки Пеано  $u(x)$ , однозначно отображающие отрезок  $[0,1]$  на единичный  $N$ -мерный гиперкуб, линейно приводимый к гиперпараллелепипеду  $D$ , исходную задачу можно редуцировать к одномерной задаче на отрезке  $[0,1]$ , в которой целевая функция удовлетворяет равномерному условию Гельдера с константой  $K$ .

Различные варианты индексного алгоритма для решения одномерных задач и соответствующая теория сходимости представлены в работах [2], [3].

Параллельная версия индексного метода основана на построении множественных отображений Пеано, получаемых путём сдвига или вращения гиперкубов друг относительно друга (сдвиговые и вращаемые развёртки), что позволяет заодно и улучшать сходимость алгоритма за счёт более точной адаптивной оценки неизвестной константы Гельдера  $K$  в процессе вычислений. Целым рядом преимуществ обладает схема построения вращаемых развёрток, предложенная в работе [4] и позволяющая использовать до  $N(N-1)+1$  вычислительных ядер.

Применительно к задаче идентификации экономической модели некоторую трудность представляет выбор области поиска. Известно, что все параметры в модели неотрицательны (некоторые строго положительны). Начальный выбор границ гиперпараллелепипеда, сделанный в работе [1], привёл к тому, что найденная оценка оптимума оказалась на его границе. Последовательное расширение границ области позволило найти наилучшую на данный момент оценку оптимума, а также выявило ранее неучтенные функциональные ограничения. Кроме того, это косвенно помогло сократить размерность задачи с  $N=60$  до  $N=57$ .

### Некоторые результаты идентификации модели

Найден допустимый вариант значений параметров, при которых результаты расчетов на историческом интервале 2000-2009 гг. соответствуют статистическим данным Нижегородской области, а прогноз экономического развития дает экономически осмысленные результаты. В этом решении задачи идентификации доли теневого оборота в производственных секторах экономики области (инфраструктурном, обрабатывающем и сектора услуг) составляют, соответственно, 0.22, 0.28 и 0.49.

Для каждого сектора найдены четыре параметра степенной производственной функции типа Кобба-Дугласа от четырех производственных факторов: труда, капитала, используемой в производстве продукции двух смежных секторов. Факторы измеряются относительно к их начальным значениям. Производственные функции считаются однородными первой степени, поэтому четвертый параметр вычисляется как разница между единицей и суммой первых трех. Так, для инфраструктурного сектора Нижегородской области параметры производственной функции составляют 0.3, 0.4, 0.2, 0.1, для обрабатывающего сектора 0.4, 0.4, 0.1, 0.1, а для сектора услуг 0.2, 0.3, 0.25, 0.25.

Коэффициент прироста зарплаты при нехватке труда составляет 3.0, коэффициент прироста цены при нехватке продукта 0.06, инфляционная составляющая в росте зарплаты 0.5. Описание соответствующих параметров можно найти в [1]. Штраф за отмывание денег в каждом секторе составляет 0.01 от их количества. Доля теневых денег, которая была отмита, в каждом секторе составляет 0.1. Доли денег открытого оборота инфраструктурного сектора, идущие обрабатывающему сектору за открытый и теневой продукт, составляют 0.1, 0.15, сектору услуг 0.1, 0.2, на погашение кредита 0.03, на инвестиции в собственный сектор 0.15. Доли денег открытого оборота обрабатывающего сектора, идущие инфраструктурному сектору за открытый и теневой продукт, составляют 0.1, 0.1, сектору услуг 0.1, 0.1, на погашение кредита 0.05, на инвестиции в собственный сектор 0.25. Доли денег открытого оборота сектора услуг, идущие инфраструктурному сектору за открытый и теневой продукт, составляют 0.15, 0.05, обрабатывающему сектору 0.1, 0.05, на погашение кредита 0.05, на инвестиции в собственный сектор 0.40.

Все деньги домашних хозяйств, полученные в формальном и неформальном секторе, неразличимы, все они открыты. Доля денег домашних хозяйств на приобретение благ инфраструктурного сектора областной экономики реализуемых по открытому каналу составляет долю 0.1, на приобретение этих же благ по теневому каналу 0.1, на приобретение товаров обрабатывающего сектора по открытому каналу 0.1, по теневому 0.05, на приобретение услуг по открытому каналу 0.05, по теневому 0.15.

Доля запаса промежуточного продукта обрабатывающего сектора, используемого в качестве производственного фактора в инфраструктурном секторе, равна 0.20. Соответствующая доля запаса промежуточного продукта сектора услуг 0.30. Доля запаса промежуточного продукта инфраструктурного сектора, используемого в качестве производственного фактора в обрабатывающем секторе, равна 0.30. Соответствующая доля запаса промежуточного продукта сектора услуг 0.15.

Доля запаса промежуточного продукта инфраструктурного сектора, используемого в качестве производственного фактора в секторе услуг, равна 0.05. Соответствующая доля запаса промежуточного продукта обрабатывающего сектора 0.10.

Доли теневой продукции инфраструктурного сектора, идущие населению, обрабатывающему сектору и сектору услуг, равны, соответственно, 0.6, 0.3, 0.1. Доли теневой продукции обрабатывающего сектора, идущие населению, инфраструктурному сектору и сектору услуг, равны, соответственно, 0.6, 0.2, 0.2. Доли теневой продукции сектора услуг, идущие населению, инфраструктурному сектору и обрабатывающему сектору, равны, соответственно, 0.5, 0.2, 0.3.

Пробные вычислительные эксперименты с идентифицированной моделью показали работоспособность модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 11-07-97017-р\_поволжье\_а 12-01-00916), при поддержке ПФИ Президиума РАН №14, ПФИ ОМН РАН №3.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. В.П. Гергель, В.А. Горбачев, Н.Н. Оленев, В.В. Рябов, С.В. Сидоров Параллельные методы глобальной оптимизации в идентификации динамической балансовой нормативной модели региональной экономики // Вестник ЮУрГУ, №25(242), 2011. С.4-15. (Сер. "Математическое моделирование и программирование", вып.9.)
2. Р.Г. Стронгин Поиск глобального оптимума. М.: Знание, 1990.
3. R.G. Strongin, Ya.D. Sergeyev Global optimization with non-convex constraints. Sequential and parallel algorithms. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000.
4. К.А. Баркалов, В.В. Рябов, С.В. Сидоров Параллельные вычисления в задачах многоэкстремальной оптимизации. // Вестник ННГУ. – 2009. – №6. – С. 171-177.