

*На правах рукописи*

**Горбачев Владимир Александрович**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫЧИСЛИМЫХ МОДЕЛЕЙ РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ  
ЭКОНОМИКИ**

05.13.18 – математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Москва–2012

Работа выполнена на кафедре нелинейного анализа и оптимизации  
Российского университета дружбы народов

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,  
доцент  
**Оленев Николай Николаевич**

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,  
профессор  
**Братусь Александр Сергеевич**

кандидат физико-математических наук,  
доцент  
**Бобрикова Екатерина Васильевна**

Ведущая организация: **Центральный экономико-математический  
институт РАН**

Защита состоится « 30 » марта 2012 г. в 15 ч. 30 мин. на заседании  
диссертационного совета Д 212.203.28 при Российском университете дружбы  
народов по адресу: г. Москва, ул. Орджоникидзе д. 3, ауд. 110.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Российского  
университета дружбы народов по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-  
Маклая, д. 6. (Отзывы на автореферат просьба направлять по указанному  
адресу.)

Автореферат разослан « » февраля 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

М.Б.Фомин

## Общая характеристика работы

### Актуальность темы.

Мировой опыт CGE моделирования содержит существенные разработки по анализу последствий глобализации, увеличения объемов внешней торговли, изменений внутри национальной экономики (последствия налоговой или пенсионной реформы, регулирование естественных монополий, монетарной политики, структурные изменения, политика направленная на поддержку определенных отраслей). Эта проблематика весьма актуальна для России.

Однако, в России существует проблема разрозненности и нехватки статистики экономических показателей в разрезе регионов. Эта проблема существенно осложняет процесс прогнозирования развития экономики регионов. Как следствие, региональные модели создаются редко и практически все они являются эконометрическими, статичными. Такие модели дают хорошие прогнозы по узкому набору показателей, но сложны в проектировании, не могут быть оперативно перестроены (например, для ввода дополнительного агента, продукта, связи и др.) и не применимы ко всем регионам (для различных регионов строятся разные модели).

Перечисленные проблемы решаются за счет применения нормативной CGE модели и метода идентификации параметров данной модели, который позволяет выявить недостающие из статистики параметры, опираясь на имеющуюся статистику с применением высокопроизводительных вычислений на современной суперкомпьютерной технике.

Преимущество проектирования CGE моделей заключается в том, что переход от математической модели к вычислительному эксперименту может быть осуществлён уже на ранних этапах моделирования, что позволяет заблаговременно вносить поправки в проект, а также частично решить проблемы возможности повторного использования частей существующих компьютерных моделей в

качестве строительных блоков для моделей новых. CGE модели позволяют исследователю безболезненно вносить изменения - добавлять новых агентов и новые переменные, дополнять статистику и т.д., так как «расширяемость» и масштабируемость моделей была заложена в их сущность.

В диссертационной работе подробно рассмотрен частный случай вычислимых моделей общего равновесия (Computable General Equilibrium Model CGE) – нормативная балансовая модель общего равновесия, представляющая собой систему балансовых динамических уравнений, в которой перераспределение запасов благ и денег описаны посредством нормативов. Такая модель применена для прогнозирования развития региональной экономики, а также для оценки экономических последствий политики Регионального Правительства.

Построенная модель показала на примере реальных исследований свою высокую продуктивность. Продолжение интеграции данной модели применительно к конкретным регионам является необходимым шагом на пути решения задач развития экономики России. Ведь модель позволяет заблаговременно и точно спрогнозировать эффекты от проводимой политики, принимаемых управленческих решений; выявить скрытые зависимости в экономике. При этом реализация модели не несет в себе высоких материальных затрат. А структура модели позволяет адаптировать модель к каждому из регионов РФ. Модель имеет большое число уравнений и параметров с довольно простой структурой, что позволяет с помощью высокопроизводительных вычислений сделать ее полезной для практического применения.

Таким образом, данная модель имеет особую практическую значимость и актуальность.

**Целью диссертации являлись** разработка численного метода решения задачи идентификации параметров нормативной вычислимой модели общего равновесия в условиях недостатка статистики с применением параллельных вычислений на суперкомпьютерах.

Работа включает в себя:

1. Создание единообразного описания нормативной модели экономики региона.
2. Аналитическое исследование предложенной модели и обоснование пригодности данной модели к прогнозированию региональной экономики.
3. Разработку устойчивых численных методов и алгоритмов поиска работоспособного варианта нормативной модели региональной экономики, их реализация в виде программного обеспечения.
4. Разработку алгоритмов для решения задачи идентификации нормативной модели с последующим анализом результатов.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Построить общий вид нормативной вычислимой модели общего равновесия, провести аналитическое исследование модели с применением результатов теории автономных систем дифференциальных уравнений.
2. На основе классических численных методов решения задачи Коши разработать алгоритм построения работоспособного варианта нормативной вычислимой модели общего равновесия.
3. Реализовать полученные алгоритмы в виде компьютерных программ, осуществить верификацию путем сравнения результатов расчета со статистическими данными.
4. Построить численный метод решения задачи идентификации параметров нормативной модели общего равновесия в условиях недостатка статистики с применением параллельных вычислений на суперкомпьютерах

**Научная новизна.** Основные результаты диссертации являются новыми. Новизна проявляется в следующих элементах исследования:

➤ Впервые предложен и исследован частный вид CGE модели, в котором потоки благ описаны с применением нормативов. Обоснована пригодность для массового использования при прогнозировании региональной экономики или сектора экономики.

➤ Впервые проведено аналитическое исследование нормативной модели в окрестности состояния равновесия и приведена экономическая интерпретация полученных результатов.

➤ Впервые проведено численное исследование нормативной модели с применением классических методов вычислений. Получен работоспособный вариант модели. Проведены сценарные расчеты. Полученные результаты интерпретированы экономически.

➤ Впервые построен алгоритм идентификации модели в условиях недостатка статистических данных с применением параллельных вычислений на суперкомпьютерных системах.

**Теоретическая и практическая значимость.** Диссертация имеет теоретический и практический характер. Полученные результаты могут быть распространены на все регионы России. Проведенные сценарные расчеты позволят определить оптимальную и сбалансированную политику для эффективного развития регионов.

Построенная модель показала на примере реальных исследований свою высокую продуктивность. Продолжение интеграции данной модели применительно к конкретным регионам является необходимым шагом на пути решения задач развития экономики России. Ведь модель позволяет заблаговременно и точно спрогнозировать эффекты от проводимой политики, принимаемых управленческих

решений; выявить скрытые зависимости в экономике. При этом реализация модели не несет в себе высоких материальных затрат. А структура модели позволяет адаптировать модель к каждому из регионов РФ. Модель имеет большое число уравнений и параметров с довольно простой структурой, что позволяет с помощью высокопроизводительных вычислений сделать ее полезной для практического применения.

Таким образом, данная модель имеет особую практическую значимость и актуальность. А полученные результаты важны как для теории CGE моделирования, так и для методологии прогнозирования развития экономики. Они могут быть полезны:

➤ Председателю Правительства РФ и Региональным Правительствам для реализации системы прогнозирования развития региональной экономики, а также для тестирования и анализа предложений по модернизации региональной экономики;

➤ специалистам РУДН, факультета ВМиК МГУ им. М.В. Ломоносова, факультета инноваций и высоких технологий МФТИ, ВятГУ и других ВУЗов для проведения специальных курсов связанных с математическим моделированием (например, по CGE моделированию) и в качестве пособия по практическому применению параллельных вычислений.

### **Обоснованность и достоверность полученных результатов**

Обоснованность полученных результатов следует из того, что на всех этапах аналитического и численного решения задач использовались строгие и проверенные методы: метод Эйлера численного решения задачи Коши для системы дифференциальных уравнений, свойства автономных систем дифференциальных уравнений, принцип максимума Понтрягина, методы редукции задачи оптимального управления к задаче нелинейного программирования, схема разностной

аппроксимации задачи оптимального управления с первой степенью точности и т.п. Полученные автором результаты не содержат противоречий.

Достоверность результатов подтверждается их согласованностью с результатами других авторов, полученных ими при рассмотрении частных случаев CGE моделей. Также полученные на основании анализа численных экспериментов выводы не противоречат предположениям относительно исследуемых экономических систем, сделанными другими авторами на основании качественного анализа теоретических и статистических данных.

**Апробация работы.** Результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих семинарах и конференциях:

1. IV Всероссийская научная конференция "Математическое моделирование развивающейся экономики и экологии" ЭКОМОД-2009.
2. Международная конференция по исследованию операций (ORM-2010).
3. 53-я Всероссийская научная конференция МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук».
4. Научный семинар студентов и аспирантов кафедры нелинейного анализа и оптимизации РУДН на базе ВЦ РАН.
5. Научный семинар лаборатории ВЦ РАН в ВятГУ.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, 3 из которых опубликованы в изданиях **одобренными** ВАК.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, трех глав, разбитых на параграфы, заключения и списка литературы, содержащего 38 наименований. Объем диссертации – 108 страниц.

## Краткое содержание работы

Во введении приведены актуальность темы диссертационных исследований, цель работы, методы исследований, научная новизна и практическая значимость результатов, выносимые на защиту положения, обоснованность и достоверность полученных результатов, а также краткое содержание диссертации.

**Первая глава** диссертации дает исторический обзор развития теории общего равновесия и вычислимого моделирования. Основные теоретические результаты теории CGE моделирования получены такими знаменитыми учеными как Л. Вальрас, К. Эрроу, Ж. Дебре, П. Срафф, К. Чемберлин, Р. Хикс, П. Негиши, М. Маршак. CGE моделям посвящено большое количество иностранной литературы, однако в нашей стране моделям этого класса не уделяется должного внимания. Тем не менее, в публикациях последних 10 лет (В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин Л.А. Бекларян, А. Алексеев, Н. Турдыева, К. Юдаева, Г.Е. Бесстремьянная) были описаны созданные CGE модели России и ее регионов, а также был проведен большой обзор зарубежных аналогов. Использование нормативных моделей общего равновесия инициировано школой экономического моделирования Вычислительного Центра РАН.

Приведены общепринятые классификации: макро CGE модели и модели вальрасовского типа, неоклассические CGE модели (инвестиции уравниваются со сбережениями на уровне, обеспечивающем полную занятость), кейнсианские (инвестиции могут быть на уровне, не обеспечивающем полную занятость, необходимы государственные расходы и налоги, помогающие уравновесить рынок заемных средств), некейнсианские (жесткость номинальной заработной платы, несовершенная конкуренция) и др.

Обсуждены плюсы и проблемы использования CGE моделей.

**Во второй главе** приведено описание построенной математической модели, ее

аналитическое исследование. Также разобран частный режим – квази - сбалансированного роста.

Структурно модель представляет собой набор дифференциальных и стационарных уравнений, многие из которых нелинейны. Динамика материальных и финансовых балансов выражается через изменение запасов продуктов, факторов производства и денег таким образом:

- имеется исчерпывающий список  $N$  всех экономических агентов;
- имеется исчерпывающий список  $M$  всех материальных благ, циркулирующих в экономике;

- в каждый момент времени  $t$  весь наличный объём блага  $i \in G$  разделен без остатка между агентами, так что в распоряжении каждого агента  $v \in N$  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 к другому.

Последнее предположение точно записывается в виде уравнения материального баланса:

$$Q_i^v = X_i^v - C_i^v - V_i^v - J_i^v - \sum_{\mu \in N} (h_i^{\nu\mu} - h_i^{\mu\nu}), \quad i \in \bar{I}, v \in \bar{V},$$

где  $X_i^v$  - объём выпуска (выпуск) или получения из внешней природной среды блага  $i$  у агента  $v$ ;

$C_i^v$  - конечное потребление блага  $i$  агентом  $v$ . Потребленное благо не оказывает дальнейшего воздействия на экономические процессы;

$V_i^v$  - текущие затраты,  $J_i^v$  - материальные затраты. Это тоже форма потребления, но, в отличие от конечного потребления  $C_i^v$ , потоки  $V_i^v$  и  $J_i^v$  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);

$h_i^{v\mu}$  - поток блага  $i$  от агента  $v$  к агенту  $\mu$ . Антисимметричная форма члена  $\sum_{\mu \neq v} (h_i^{v\mu} - h_i^{\mu v})$ , описывающего передачи благ, выражает представление о том, что блага не возникают и не исчезают при передаче.

Особенностью нормативной модели является использование нормативов в качестве параметров модели рыночных взаимоотношений экономических агентов, что сокращает время построения модели, однако увеличивает число неизвестных параметров. Идентификация этих параметров-нормативов осуществляется сравнением рассчитанных по модели значений экономических макропоказателей с исторической статистикой, при этом необходимо применение высокопроизводительных вычислений на суперкомпьютерных системах.

При помощи комплексного аналитического аппарата проведено исследование построенной модели, подробно рассмотрены возможные случаи поведения модели в окрестности положения равновесия. В предположении, что правая часть модельной системы дифференциальных уравнений линейна (т.е. цены и заработные платы кусочно-постоянны, а производственная функция есть сумма объема капитала и труда) показано, что возможны опеределенные случаи поведения интегральных кривых в окрестности точки покоя: О-кривые (обобщенный узел) -  $Z_k(t, \omega) \rightarrow 0$  при  $t \rightarrow \infty$ ; обобщенное седло (первого, второго и третьего рода); обобщенный фокус - все интегральные кривые будут асимптотическими; обобщенный центр.

Для случая нелинейной модельной системы предложен способ исследования поведения решений при помощи вспомогательной линейной системы, которая строится так, чтобы иметь схожие свойства с нелинейной модельной системой.

**В третьей главе** произведена постановка задачи идентификации модели в условиях дефицита статистических данных, построен метод решения данной задачи, приведено решение данной задачи для односекторной модели экономики Кировской области, рассчитанное на кластере ВЦ РАН. Наконец, в заключении приведен прогноз возможного развития и варианты использования разработанных методов, а также перспективы дальнейшей работы в этом направлении.

Для постановки задачи идентификации рассмотрим модельную систему уравнений:

$$(1) \dot{\vec{Z}} = f(\vec{Z}, \vec{\omega}) .$$

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  $\alpha$  нам известна из статистики, а часть  $\omega$  нет. Без ограничения общности будем считать, что  $\alpha$  входит в функцию  $f$ . В новых обозначениях мы можем поставить задачу оптимизации, которая и будет задачей идентификации параметров и начальных значений модели:

$$(2) \begin{cases} \dot{\vec{Z}}_1 = f_1(\vec{Z}, \omega_1), \vec{Z}_2 = f_2(\vec{Z}, \omega_2); \\ \vec{Z}_1(t_0) = \vec{s}_0, \vec{Z}_2(t_0) = \vec{\omega}_2 \\ \varphi(\vec{Z}_1(t_j) - \vec{s}_j) \rightarrow \min_{\omega \in (\omega_1, \omega_2) \in \mathbb{R}} \end{cases}$$

Где в качестве критерия  $\varphi$  может быть взят индекс близости временных рядов Тейла, или иной критерий близости (среднее квадратичное отклонение, корреляция).

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 (около 40 лет).

В настоящее время разработаны несколько способов редукции задачи оптимального управления к задаче нелинейного программирования. Рассмотрим простейший способ, который сводит задачу к исследованию некоторой функции от управления. Рассмотрим общий случай – пусть для определенности речь идет об отыскании минимума функционала

$$(3) \varphi = \varphi(\vec{Z}_1(t_j) - \vec{z}_j),$$

при условии, что векторы  $\vec{Z}$  и  $\vec{\omega}$  связаны дифференциальным уравнением:

$$(4) \dot{Z} = f(Z, \omega).$$

В пространстве  $(Z, \omega)$  проведем гиперплоскости  $\Sigma_i$ , такие что  $t = \tau_i$ , где  $\tau$  - шаг численного интегрирования. Предположим, что на интервале  $(i\tau, (i+1)\tau)$  управляющая вектор - функция принимает постоянное значение  $\omega_i$ . Тогда заменим уравнение (4) разностной схемой:

$$(5) Z_{i+1} = Z_i + \tau \cdot f(Z_i, \omega_i).$$

Рассмотрение простейшего аналога вполне оправдано, ибо привлечение других разностных схем, вообще говоря, не приводит к повышению точности аппроксимации.

Одним из существенных недостатков приведенной схемы в последовательной интерпретации является то, что при использовании методов спуска резко увеличивается расчетное время с увеличением интервала  $[0, T]$ . Указанные проблемы применения конечноразностного метода сегодня могут быть решены за счет применения методов параллельной глобальной оптимизации использованием высокопроизводительных вычислений на суперкомпьютерах.

Для улучшения результатов и повышения быстродействия можно воспользоваться результатами из области решения задач многоэкстремальной (глобальной) оптимизации. Приведем предлагаемую Нижегородской научной школой постановку данной задачи:

$$(1) \quad \varphi = \varphi(z^*) = \min\{\varphi(z) : z \in \mathcal{D}, \Theta \quad z \in \mathbb{R}^N : a_i \leq z_i \leq b_i, 1 \leq i \leq N\},$$

где целевая функция  $\varphi(z)$  удовлетворяет условию Липшица с соответствующей константой  $L$ , а именно

$$(2) \quad |\varphi(z_1) - \varphi(z_2)| \leq L \|z_1 - z_2\|, \quad z_1, z_2 \in \mathcal{D}.$$

Используя кривые типа развертки Пеано  $Z(x)$ , однозначно отображающие отрезок  $[0, 1]$  на  $N$ -мерный гиперкуб  $P$ :

$$(3) \quad P = \{z \in \mathbb{R}^N : -\frac{1}{2} \leq z_i \leq \frac{1}{2}, 1 \leq i \leq N\} = \{Z(x) : 0 \leq x \leq 1\}.$$

Таким образом, исходную задачу можно редуцировать к следующей одномерной задаче:

$$(4) \quad \varphi = \varphi(z^*) = \min\{\varphi = \varphi(z_\Theta(x)) : x \in [0, 1]\}.$$

Рассматриваемая схема редукции размерности сопоставляет многомерной задаче с липшицевой минимизируемой функцией одномерную задачу, в которой целевая функция удовлетворяет равномерному условию Гельдера, т.е.

$$(5) \quad |\varphi = \varphi(z_\Theta(x')) - \varphi = \varphi(z_\Theta(x''))| \leq K \|x' - x''\|^{1/N}, \quad x', x'' \in [0, 1],$$

где  $N$  есть размерность исходной многомерной задачи, а коэффициент  $K$  связан с константой Липшица  $L$  исходной задачи соотношением  $K \leq L\sqrt{N}$ .

Использование множества отображений приводит к формированию соответствующего множества одномерных многоэкстремальных задач

$$(6) \quad \min \varphi = \varphi^j(x) : x \in [0, 1], 1 \leq j \leq L.$$

Каждая задача из данного набора может решаться независимо, при этом любое

вычисленное значение  $z = \varphi(x^i, y^i)$  функции  $\varphi(x, y)$  в  $i$ -й задаче может интерпретироваться как вычисление значения  $z = \varphi(x^i, y^i)$  для любой другой  $s$ -й задачи без повторных трудоемких вычислений функции  $\varphi(x, y)$ .

Подобное информационное единство позволяет решать исходную задачу (35) путем параллельного решения индексным методом L задач вида (41) на наборе отрезков  $[0,1]$ . Каждая одномерная задача решается на отдельном процессоре. Для организации взаимодействия на каждом процессоре создается L очередей, в которые процессоры помещают информацию о выполненных итерациях. Используемая схема не содержит какого-либо единого управляющего процессора, что увеличивает надежность выполняемых вычислений.

Локально-адаптивный алгоритм является модификацией индексного метода глобального поиска, состоящей в том, что, начиная с некоторого шага, при выборе точек итераций используется дополнительная информация – текущие оценки плотности вероятности для расположения точки искомого оптимума. Оценки плотности определяются по значениям функционалов задачи, вычисленных в точках выполненных итераций. Таким образом, плотность переоценивается после каждой итерации, причем максимумы плотности соответствуют окрестностям точек текущих оптимальных значений. Существенным параметром этого метода является целое число  $0 \leq \alpha \leq 30$ , влияющее на характер сходимости. При  $\alpha = 0$  поиск носит глобальный характер, при  $\alpha = 30$  - локальный.

Смешанный алгоритм является модификацией индексного метода глобального поиска, состоящей в том, что, начиная с некоторого шага итерации, определяемые правилами индексного метода, чередуются с итерациями, определяемыми правилами локально - адаптивного алгоритма. Частота чередования является параметром метода.

Таким образом, может быть улучшен предложенный ранее подход к

распараллеливанию поисковых методов на многопроцессорных кластерных системах, не требующий синхронизации работы процессоров и характеризуемый высокими показателями масштабируемости и надежности, впервые позволяющий эффективно использовать сотни процессоров для методов глобальной оптимизации, имеющих серьезные неявные зависимости по данным. Подход основан на новом оригинальном способе построения множества отображений типа кривых Пеано.

### **Основные выводы и результаты выносимые на защиту**

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Построен общий вид нормативной вычислимой модели общего равновесия, проведено аналитическое исследование модели с применением результатов теории автономных систем дифференциальных уравнений. Полученные результаты экономически интерпретированы. Сделано заключение о пригодности модели к прогнозированию экономики региона.

2. Разработан алгоритм построения работоспособного варианта нормативной вычислимой модели общего равновесия.

3. Построенные алгоритмы реализованы в виде компьютерных программ на языке программирования C++. Проведены численные эксперименты и сценарные расчеты на примере Кировской области. Полученные результаты сравнены со статистическими данными.

4. Построен численный метод решения задачи идентификации параметров нормативной модели общего равновесия в условиях недостатка статистики с применением параллельных вычислений на суперкомпьютерах. Даны предложения по усовершенствованию метода за счет применения результатов, полученных другими авторами при решении задач глобальной оптимизации.

## **Список работ соискателя Горбачева Владимира Александровича.**

### **Публикации из центральных изданий, рекомендованных ВАК.**

1. Горбачев В.А., Исследование решений системы уравнений в модели добывающего сектора экономики Монголии. Вестник РУДН. Серия: Математика. Информатика. Физика. Выпуск 3, 2011 год, стр. 86-91.
2. Горбачев В.А., Методика идентификации нормативной вычислимой модели региональной экономики. Вестник Тамбовского ГУ. Серия: Естественные и технические науки. Том 16, выпуск 3, 2011 год, стр. 752.
3. Гергель В.П., Горбачев В.А., Оленев Н.Н., Рябов В.В., Сидоров С.В. Параллельные методы глобальной оптимизации в идентификации динамической балансовой нормативной модели региональной экономики. Вестник ЮУрГУ. Серия: Математическое моделирование и программирование. Выпуск 9, 2011 год, стр. 4-15.

### **Публикации в трудах и тезисах конференций.**

4. В.А.Горбачев, Н.Н.Оленев Идентификация модели добывающего сектора экономики Монголии// VI Московская международная конференция по исследованию операции (ORM2010): Москва, 19-23 октября 2010 г.: Труды/Отв.ред. П.С.Краснощеков, А.А.Васин. - М.: МАКС Пресс. 2010. - 524с. С.87-88.
5. Горбачев В.А., Оленев Н.Н. Идентификация модели добывающего сектора экономики Монголии// V Всероссийская научная конференция "Математическое моделирование развивающейся экономики, экологии и биотехнологии", ЭКОМОД-2010. Г.Киров/ Сборник трудов. Киров: Изд-во ВятГУ, 2010. С.61-70
6. Горбачев В.А., Оленев Н.Н. Оптимизация параметров в модели добывающего сектора экономики Монголии// V Всероссийская научная конф. "Математическое моделирование развивающейся экономики, экологии и биотехнологии", ЭКОМОД-2010./Сборник тезисов. - Киров: изд-во ВятГУ, 2010. С.49
7. Горбачев В.А., Оленев Н.Н., Дэмбэрэл С., Халтар Д. Модель добывающего

сектора экономики Монголии и ее идентификация.// ЭКОМОД-2009. Сборник трудов. - Киров: ВятГУ, 2009. С.137-147.

8. Горбачев В.А., Оленев Н.Н. Имитационная модель добывающего сектора экономики Монголии с учетом теневого оборота// Тр. 52 научн. конф. МФТИ Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук. Ч.VII. Управление и прикладная математика. Том 1. 2009. С.23-25.

9. Горбачев В.А., Оленев Н.Н. Трехсекторная имитационная модель региональной экономики// Труды 49 научной конф. МФТИ, 2006 г. Ч.VII. С.96-98.

10. Горбачев В.А., Оленев Н.Н., Моллаверди Н., Дэмбэрэл С., Халтар Д. Модель добывающего сектора экономики и ее идентификация на кластерной вычислительной системе по данным Монголии// Тезисы докладов IV Всерос. научн. конф. «Математическое моделирование развивающейся экономики и экологии». ЭКОМОД-2009. Киров: ВятГУ, 2009. С.65.

11. Горбачев В.А., Оленев Н.Н. Численные исследования трехсекторной имитационной модели общего равновесия с теневым оборотом // Методология современной науки. Моделирование сложных систем. Тезисы докладов международной научной конференции, посвященной 75-летию Рэма Георгиевича Баранцева. 23.10-26.10.2006. Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. С.44-45.

12. Горбачев В.А., Оленев Н.Н. Численные исследования трехсекторной имитационной модели общего равновесия с теневым оборотом// Методология современной науки. Моделирование сложных систем. Тезисы докладов международной научной конференции, посвященной 75-летию Рэма Георгиевича Баранцева. 23.10-26.10.2006. Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. С.44-45.

13. Горбачев В.А., Оленев Н.Н. Имитационная модель добывающего сектора экономики Монголии с учетом теневого оборота //Тр. 52 научн. конф. МФТИ Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук. Ч.VII. Управление и прикладная математика. Том 1. 2009. С.23-25.

**Горбачев Владимир Александрович (Россия)**

**Исследование вычислимых моделей развивающейся экономики**

В диссертационной работе исследуется частный случай вычислимых моделей общего равновесия (Computable General Equilibrium Model CGE) – нормативная балансовая модель. Получены методы решения задачи идентификации модели по статистике экономических макропоказателей.

Разработана математическая модель экономики. Распределение запасов благ между экономическими агентами описаны посредством балансовых динамических уравнений. Проведено аналитическое исследование модельной системы уравнений, классифицированы возможные виды траекторий решений в малой окрестности положения равновесия. Рассмотрен частный случай квазисбалансированного роста экономики.

Построены методы идентификации параметров модели в условиях дефицита статистики с применением суперкомпьютерных систем. Программно реализовано распараллеливание вычислений в среде MPI.

**Vladimir Gorbachev (Russia)**

**Computable models of developing economy research**

In this paper regulatory balance model of general equilibrium is introduced as a special case of computable general equilibrium models (CGE). Methods for solving the problem of model identification on macro economic statistics are obtained.

Distribution of wealth between stocks are described by means dynamical equations. There are analytical study of a system of equations and the classification of possible types of trajectories of solutions in a small neighborhood of equilibrium. There are calculations and conversion of the model when considering the special case.

Methods for solving the problem of identification of model parameters are received by means of high performance computing. Parallelization of computations of parameters is implemented in the environment MPI.