

# MPRA

Munich Personal RePEc Archive

## **Parallel calculations in mathematical modelling of regional economy**

Nicholas Olenev

Dorodnicyn computing centre of the Russian academy of sciences

15. December 2006

Online at <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/7821/>

MPRA Paper No. 7821, posted 23. March 2008 13:07 UTC

# Параллельные вычисления в математическом моделировании региональной экономики\*

Н.Н. Оленёв

Параллельные вычисления на современной многопроцессорной технике открывают новые возможности в применении математических моделей для исследования экономики региона. Использование нормативных моделей ограничивалось сложностью их идентификации из-за большого числа неизвестных параметров. В работе предложена методика идентификации моделей экономики, представлены критерии близости и похожести временных рядов экономических показателей, используемые для косвенного определения неизвестных параметров путем сравнения расчетных показателей с их статистическими аналогами. Даны результаты численных экспериментов с балансовой нормативной многосекторной моделью экономики Кировской области, являющейся работающим прототипом модели региональной экономики.

## 1. Введение

В работе [1] предложена концепция оценки инновационного потенциала региона на основе имитационной модели. Концепция основана на том, что статистические данные, собираемые для оценки инновационного потенциала региона, как правило, несогласованны, а для их согласования нужно использовать какую-либо модель. Имитационная модель региональной экономики дает возможность получить количественную оценку динамики макропоказателей экономики региона, включая оценку показателей инновационного потенциала, главным из которых являются показатели человеческого капитала. Поддержка предпринимательской инициативы активных людей способствует раскрытию инновационного потенциала депрессивного региона, поскольку важен трансфер технологий, созданный всем мировым научным сообществом, а не только региональным. Если же регион является лидером в той или иной области техники и стремится сохранить лидирующие позиции, он начинает сам производить знания в данной области. Лидирующую позицию обеспечивает значительное сокращение инновационного цикла от создания знания до его использования за счет объединения усилий ученых и технологов. В малом бизнесе кратчайший инновационный цикл, поскольку именно производитель знания зачастую становится участником инновационного превращения своей идеи в товар.

Какие типы математических моделей экономических систем можно использовать для количественного анализа развития многосекторной экономики региона? Наиболее простой и самой известной моделью является баланс «затраты-выпуск» или межотраслевой баланс В.В. Леонтьева [2], оказавший всеобъемлющее влияние на весь мир. Во всяком случае, статистические ведомства всех стран мира собирают данные, необходимые для построения межотраслевого баланса. Модель межотраслевого баланса по природе своей стационарна, поскольку основана на данных определенного года. Иногда межотраслевой баланс записывают в динамическом виде, например, при вычислении затрат используют валовые выпуски отраслей предыдущего года. Денежные показатели модель межотраслевого баланса не содержит. Модели такого типа хорошо изучены, но проблема состоит в том, что региональные статистические ведомства, как правило, собирают данные только для межотраслевого баланса экономики России в целом, а для регионального баланса не собирают. Кроме того, нормы прямых затрат, так называемые леонтьевские коэффициенты, слишком быстро меняются от года к году, когда число отраслей мало или велико, что тем более справедливо в условиях быстро меняющейся переходной экономики.

---

\* Работа выполнена по гранту Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ (код проекта НШ-5379.2006.1), при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 04-07-90346, 04-01-00606), при поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН №15, при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (код проекта 06-02-91821 а/Г), в рамках государственного контракта 02.449.11.7026.

Другой тип динамических многосекторных моделей, используемых для количественного анализа процессов в макроэкономических системах [3], строится в отделе «Математическое моделирование экономических систем» Вычислительного центра имени А.А. Дородницына Российской академии наук на основе решения оптимизационных задач для заданной на всех рынках иерархии экономических агентов. Иерархия определяется тем, какой из экономических агентов является ведущим, а какой ведомым на том или ином рынке. В зависимости от сложившейся иерархии экономических агентов получаются различные модели. Здесь существует проблема в трудности рассмотрения множества отраслей, поскольку легко ошибиться в описании существующей иерархии агентов на каждом из рынков, что влечет необратимые последствия на построение всей модели. Кроме того, на разработку новой модели требуется около года работы высококвалифицированной команды исследователей порядка семи человек, а ситуация в переходной экономике может коренным образом меняться каждый год, поэтому требуется постоянная работа такой команды исследователей. А регионов в России много, не говоря уже о районах внутри регионов, на все регионы высококвалифицированных команд не наберешь.

Что же делать? Для построения нормативных балансовых динамических моделей требуется на порядок меньше времени. Например, на описание имитационной модели экономики Кировской области, состоящей из трех секторов [4], потребовалось несколько месяцев. Эта трехсекторная нормативная балансовая математическая модель региональной экономики учитывает налогообложение и теневой оборот. Модель разработана с целью оценки инновационного потенциала Кировской области и является прототипом многосекторной имитационной модели российского региона, предназначенной для анализа различных сценариев экономического развития. Динамика материальных и финансовых балансов в модели задана изменением запасов продуктов, факторов производства и денег. Выделены следующие экономические агенты: Правительство ( $G$ ), Производители ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ), Банковская система ( $B$ ), Домашние хозяйства ( $H$ ), Внешние потребители и поставщики ( $O$ ), Торговый посредник ( $T$ ). Производители в модели экономики Кировской области представлены тремя секторами:

- ( $X$ ) лесопромышленный комплекс, включающий лесное хозяйство;
- ( $Y$ ) комплекс новых отраслей в биотехнологии и химии, включающий науку, образование, инновационные отрасли;
- ( $Z$ ) объединение оставшихся отраслей.

Однако эта модель содержит около ста соотношений и более восьмидесяти параметров, которые невозможно определить напрямую из данных статистики. 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.

Здесь предложена новая технология идентификации внешних параметров модели, основанная на использовании высокоскоростных параллельных вычислениях на многопроцессорной системе [5]. 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 [6] и недавно построенный на основе вейвлет коэффициентов критерий похожести нелинейных временных рядов [7].

При построении и идентификации имитационной модели решаются задачи анализа и структуризации исходных данных в соответствии со структурой модели, так что по ходу построения модели решается задача выбора и системного анализа исходных статистических данных. В отличие от выводов сделанных наобум выводы и предсказания, полученные с помощью сценарных расчетов на имитационной модели, в принципе могут быть экспериментально опровергнуты, а гипотезы, на которых основана модель, могут быть обоснованно оспорены. Это дает возможность в дальнейшем модифицировать модель и на постоянно совершенствующейся модели получать более обоснованные предсказания и делать более обоснованные аналитические выводы.

## 2. Описание модели региональной экономики

Производители (сектора региональной экономики  $X, Y, Z$ ), используют в производстве труд, капитал и промежуточную продукцию смежных секторов. Производители поставляют продукцию на внутренний рынок, внешний рынок, а также на рынок промежуточной продукции. Считаем, что свои цены формируются на каждом рынке каждой продукции и изменение цен обратно пропорционально изменению запасов соответствующих продуктов. Домашние хозяйства  $L$  предлагают труд и потребляют конечную продукцию. Торговый посредник  $T$  занят перераспределением материальных и финансовых потоков. Банковская система  $B$  выпускает денежные средства, выдает кредиты производителям с целью извлечения банковской прибыли. Правительство региона  $G$  собирает налоги с производителей (налог на прибыль  $n_1$ , налог на добавленную стоимость  $n_2$  и акцизы  $n_3$ , единый социальный налог  $n_4$ , таможенные пошлины на экспорт  $n_5$ ) и домашних хозяйств (таможенные пошлины на импорт  $n_6$ , подоходный налог  $n_7$ ) и регулирует расходы бюджета.

Для учета в модели теневого оборота, мы предполагаем, что произведенный продукт производители делят на официальный и теневой, который не облагается налогами. В результате у производителя оказывается два вида денег – «белые» и «черные». «Черные» деньги могут отмываться, а запас неотмытых денег подвергается штрафным санкциям – «налогообложению» теневого сектора. У потребителя все деньги считаются «белыми», а свой доход потребитель делит по заданным нормам потребления официальных и теневых продуктов всех секторов.

Для упрощения записи будем использовать стандартные обозначения, похожие на обозначения [8], которые позволяют легко перейти к обозначениям системы построения и анализа моделей экономики ЭКОМОД [9]. Показатели и параметры модели снабжены верхними и нижними индексами, причем верхние индексы используются для агентов, а нижние для благ. При этом одни и те же символы могут использоваться для обозначения и показателей (или параметров), и верхних, и нижних индексов и при этом обозначать разные вещи. В данной работе интенсивные показатели и параметры будем обозначать строчными символами, а экстенсивные показатели и именованные индексы – прописными. Считаем, что распределение запаса каждого блага производится по нормативу:  $a_i^{nm}$  - доля запаса блага  $i$  агента  $n$ , идущая к агенту  $m$  ( $a_i^{nm} = a_i^n$ ). Считаем, что распределение денег производится также по некоторому нормативу:  $b_i^{nm}$  - доля запаса денег агента  $m$ , идущая агенту  $n$  за продукт  $i$  ( $b_i^{nm} = b_i^n$ ). Коэффициенты фондоемкости также задаются нормативами:  $c_i^m$  – норма затрат продукта  $i$  на создание единицы фондообразующего продукта агента  $m$ . Параметры производственных функций секторов заданы константами. Например, выпуск  $Y_X(t)$  продукта  $X$  экономическим агентом  $X$  (лесопромышленным комплексом Кировской области, сектором  $X$ ) описан степенной производственной функцией от используемых факторов производства (запасов  $Q$ ): труда  $L$ , капитала  $K$  и промежуточных продуктов из секторов  $Y$  и  $Z$ .

$$Y_X = \left( Q_L^X Q_L^X \right)^{\delta_L^X} \cdot \left( Q_K^X Q_K^X \right)^{\delta_K^X} \cdot (a_Y^X Q_Y^X)^{\delta_Y^X} \cdot (a_Z^X Q_Z^X)^{\delta_Z^X}, \quad (1)$$

где  $\delta_L^X + \delta_K^X + \delta_Y^X + \delta_Z^X = 1$ . Здесь и далее, если не оговорено противное, все показатели, как здесь  $Y_X(t)$ ,  $Q_L^X(t)$ ,  $Q_K^X(t)$ ,  $Q_Y^X(t)$ ,  $Q_Z^X(t)$ , считаются функциями времени  $t$ , поэтому этот аргумент для сокращения записи в формулах опускается. Все параметры, как правило, считаются константами, как здесь  $a_L^X$ ,  $a_K^X$ ,  $a_Y^X$ ,  $a_Z^X$ ,  $\delta_L^X$ ,  $\delta_K^X$ ,  $\delta_Y^X$ ,  $\delta_Z^X \in (0, 1)$ . Производство открытого  $X$  и теневого  $V$  продукта агентом  $X$  осуществляется на общих фондах, общих трудовых ресурсах и общих запасах промежуточных продуктов, а произведенная продукция (выпуск)  $Y_X(t)$  делится в заданной пропорции  $(1 - q_X) : q_X$  на открытый («белый») выпуск  $X$  и теневой («черный») выпуск  $V$ , где  $q_X$  – доля тени в общем выпуске продукта  $Y_X(t)$ . Теневой продукт используется для продажи населению и другим секторам. Предполагаем, что инвестиции могут быть только официальными. Запас своего открытого продукта  $Q_X^X(t)$  растет за счет выпуска и убывает за счет отгрузки агентам  $Y, Z, L$  (отгружает посреднику по нормативу) и себе для инвестиций  $I_X(t)$ . Считаем, что расходы на освоение инвестиций от своего продукта совпадают с доходами от них (вклад собственных средств на инвестиции за счет продукции сектора не учитываем в его валовом выпуске). На внешний рынок идет заданная доля запаса своего продукта  $X_X^{XO}(t)$ .

$$\frac{dQ_X^X}{dt} = \left( -q_X \bar{Y}_X - (a_X^{XL} + a_X^{XY} + a_X^{XZ} + a_X^{XO}) Q_X^X - c_X^X I_X \right), \quad (2)$$

где

$$I_X = \frac{b_K^X W^X}{p_X^X c_X^X + p_Y^X c_Y^X + p_Z^X c_Z^X}, \quad p_X^X = \min p_X^Y, p_X^Z, \quad X_X^{XO} = a_X^{XO} Q_X^X. \quad (3)$$

Доля тени  $q_X$  в общем выпуске определяет прирост запасов и открытого  $Q_X^X(t)$  и теневого  $Q_V^X(t)$  продуктов. Запас теневого продукта  $V$  в секторе  $X$  убывает за счет поставок домашним хозяйствам и смежным отраслям.

$$\frac{dQ_V^X}{dt} = q_X Y_X - \left( a_V^{XL} + a_V^{XY} + a_V^{XZ} \right) \bar{Q}_B^X. \quad (4)$$

Аналогичным образом описывается изменение запасов промежуточных продуктов в секторе  $X$ , изменение запасов труда и капитала.

Запас открытых («белых») денег  $W_X(t)$  у агента  $X$  прирастает при поступлении кредитов, при продаже товара на внешнем рынке и на внутренних рынках, за счет трансфертов сектору  $X$  из областного консолидированного бюджета  $T^{GX}(t)$  и поступлений «отмытых» денег из теневого оборота  $b_B^X B^X(t)$ . Он уменьшается при оплате труда  $L$ , промежуточного потребления смежных секторов  $Y$  и  $Z$ , платежах погашения кредитов и перечислениях налогов в консолидированный бюджет.

$$\begin{aligned} \frac{dW^X}{dt} = & wp_X^O X_X^{XO} + C^{BX} + \left( p_X^L a_X^{XL} + p_X^Y a_X^{XY} + p_X^Z a_X^{XZ} \right) \bar{Q}_B^X - \\ & - \left( b_Y^{XY} + b_Z^{XZ} + b_W^{XY} + b_U^{XZ} + b_L^{XL} + b_H^{XB} \right) \bar{W}^X - T^{XG} + T^{GX} + b_B^X B^X, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $w(t)$  – рублевый курс доллара,  $T^{XG}(t)$  – трансфертные платежи в консолидированный бюджет равные (сумма налоговых отчислений),  $T^{GX}(t)$  – трансферты из бюджета сектору (возврат НДС плюс субсидии и прочее). Отчисления в консолидированный бюджет агента  $X$  (лесопромышленного комплекса Кировской области)  $T^{XG}(t)$  складываются из отчислений по налогу на прибыль  $T_1^{XG}(t)$ , налогу на добавленную стоимость  $T_2^{XG}(t)$ , акцизам  $T_3^{XG}(t)$ , единому социальному налогу  $T_4^{XG}(t)$ , таможенным платежам на экспорт  $T_5^{XG}(t)$ .

$$T^{XG} = T_1^{XG} + T_2^{XG} + T_3^{XG} + T_4^{XG} + T_5^{XG}, \quad (6)$$

где

$$T_5^{XG} = n_5 wp_X^O X_X^{XO}, \quad T_4^{XG} = n_4 b_L^{XL} W^X, \quad (7)$$

$$T_3^{XG} = n_3^X \left[ wp_X^O X_X^{XO} + p_X^L a_X^{XL} + p_X^Y a_X^{XY} + p_X^Z a_X^{XZ} \right] Q_X^X, \quad (8)$$

$$T_2^{XG} = n_2 \left\{ wp_X^O X_X^{XO} + p_X^L a_X^{XL} + p_X^Y a_X^{XY} + p_X^Z a_X^{XZ} \right\} Q_X^X - b_Y^{XY} + b_Z^{XZ} + b_H^{XB} W^X - T_3^{XG} - T_4^{XG} - T_5^{XG}, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} T_1^{XG} = & n_1 \left\{ wp_X^O X_X^{XO} + p_X^L a_X^{XL} + p_X^Y a_X^{XY} \right\} Q_X^X - \\ & - b_Y^{XY} + b_Z^{XZ} + b_H^{XB} + b_L^{XL} W^X - T_2^{XG} - T_3^{XG} - T_4^{XG} - T_5^{XG} \}. \end{aligned} \quad (10)$$

Запас теневого денег прирастает при продаже теневого продукта, как конечного, - населению  $L$  и, - как промежуточного, смежным секторам  $Y$  и  $Z$ , часть  $b_B^{XG}$  запаса теневого денег успевают отмыть, часть  $b_B^{XG}$  попадает в качестве штрафных санкций в доходную часть консолидированного бюджета правительства, а часть  $b_B^{XL}$  поступает населению в качестве теневого доходов.

$$\frac{dB^X}{dt} = p_V^L a_V^{XL} + p_V^Y a_V^{XY} + p_V^Z a_V^{XZ} Q_V^X - b_B^{XL} + b_B^X + b_B^{XG} B^X. \quad (11)$$

Считаем, что агент  $X$  берет весь предлагаемый агентом  $B$  (банковской системой Кировской области) кредит, однако объем предоставляемого кредита  $C^{BX}(t)$  ограничен ликвидационной стоимостью производственных фондов, которая считается пропорциональной запасу капитала:  $C^{BX} = \sigma^X Q_K^X$ ,  $\sigma^X > 0$ . Задолженность  $Z^X(t)$  агента  $X$  банковской системе  $B$  прирастает за счет выдачи новых кредитов  $C^{BX}(t)$  и начисления текущего процента по кредитам  $r(t)$  на имеющуюся задолженность, а уменьшается в силу платежей погашения  $H^{XB}(t)$ .

$$\frac{dZ^X}{dt} = C^{BX} + rZ^X - H^{XB}, \quad H^{XB} = b_H^{XB} W^X. \quad (12)$$

Соответствующие соотношения для сектора биотехнологий  $Y$  и сектора прочих отраслей  $Z$  легко выписать по аналогии с соотношениями (1)-(12) для сектора  $X$ .

Изменение запаса  $Q_X^L(t)$  конечного продукта  $X$  лесопромышленного комплекса Кировской области, предназначенного агенту  $L$  (домашним хозяйствам области), у посредника  $T$  определяет изменение индекса потребительских цен  $p_X^L$  на продукцию  $X$  лесопромышленного комплекса.

$$\frac{dQ_X^L}{dt} = a_X^{XL} Q_X^X - \frac{b_X^{LX} W^L}{p_X^L}, \quad (13)$$

$$\frac{dp_X^L}{dt} = \alpha_X^L \left( \frac{b_X^{LX} W^L}{p_X^L} - a_X^{XL} Q_X^X \right). \quad (14)$$

Аналогично определяются изменения запасов всех других продуктов на всех рынках и изменение соответствующих цен. При этом мы предполагаем, что на разных рынках продукт одного и того же сектора выступает в ином качестве и продается по своей цене, то есть, по сути, является другим продуктом.

Считаем, что рост открытых и теневого ставок заработной платы может происходить как при нехватке кадров, так и при росте потребительских цен на продукцию сектора. Например, открытая ставка зарплаты в секторе  $X$

$$\frac{ds_L^X}{dt} = \left[ \alpha_L^X \left( \frac{b_L^{XL} W^X}{s_L^X} - a_L^{LX} Q_L^{LX} \right) + \frac{\beta_L^X s_L^X}{p_X^L} \left( \frac{b_X^{LX} W^L}{p_X^L} - a_X^{XL} Q_X^X \right) \right]_+. \quad (15)$$

Здесь используется следующее обозначение:  $A_+ = A$ , если  $A > 0$  и  $A_+ = 0$ , если  $A \leq 0$ . Считаем, что прирост заработной платы при избытке трудовых ресурсов не превышает прироста цены,  $\beta_L^X \leq \alpha_X^L$ .

Запас денег на счетах регионального консолидированного бюджета прирастает при налоговых поступлениях и убывает при трансфертах секторам экономики и домашним хозяйствам.

$$\frac{dW^G}{dt} = b_V^{XG} B^X + b_W^{YG} B^Y + b_U^{ZG} B^Z + T^{XG} + T^{YG} + T^{ZG} + T^{LG} - (b_X^{GX} + b_Y^{GY} + b_Z^{GZ} + b_L^{GL}) \bar{W}^G. \quad (16)$$

Банковская система региона не является замкнутой, большую роль в инвестиционных решениях играют филиалы Российских банков из других регионов. Поэтому в качестве первого приближения в описании региональной банковской системы считалось, что часть золотовалютных резервов Российской Федерации обеспечивают резервирование активов региона.

На этом из-за ограничений по объему оканчивается представление об описании модели.

### 3. Проблема определения параметров модели

Большое количество неопределяемых напрямую из статистики параметров модели определяем косвенным образом, сравнивая выходные временные ряды переменных модели с доступными статистическими временными рядами 1999 – 2005 гг. Временные ряды считаются похожими, если они близки как функции времени (другими словами, между значениями временных рядов существует сильная, возможно нелинейная, связь). Мера близости временных рядов рассчитывается на основе спектральных характеристик временного ряда. Причем эти характеристики робастны по отношению к наличию тренда, изменениям в уровне и масштабе ряда. В качестве критериев близости расчетного и статистического временных рядов используем коэффициент похожести, построенный на основе вейвлет коэффициентов [7], и индекс несовпадения Тейла  $E(X, Y) \in [0, 1]$  [6]. В качестве вейвлет и масштабных фильтров использовались фильтры Добеши.

Пусть  $\tilde{W}_{j,k}^X$  и  $\tilde{W}_{j,k}^Y$  - вектора спектральных характеристик временных рядов одинаковой длины  $X$  и  $Y$  соответственно. В качестве меры близости между временными рядами  $X$  и  $Y$  можно использовать косинус угла между векторами характеристик, а именно

$$D(X, Y) = \cos \alpha = \left| \frac{\sum_{j,k} \tilde{W}_{j,k}^X \cdot \tilde{W}_{j,k}^Y}{\sqrt{\sum_{j,k} (\tilde{W}_{j,k}^X)^2 \cdot \sum_{j,k} (\tilde{W}_{j,k}^Y)^2}} \right|. \quad (17)$$

Введенный коэффициент похожести  $D(X, Y)$  характеризует, насколько сильна нелинейная зависимость между временными рядами  $X$  и  $Y$  (другими словами, показывает, насколько колебания временных рядов  $X$  и  $Y$  по отношению к их линейным трендам схожи). Коэффициент похожести является мерой силы и направленности связи между сравниваемыми временными рядами и, чем он ближе к единице, тем более схоже поведение этих рядов.

Индекс Тейла  $E(X, Y)$  измеряет несовпадение временных рядов  $X_t$  и  $Y_t$  и чем ближе он к нулю, тем ближе сравниваемые ряды. Для удобства проведения расчетов, вместо индекса Тейла будем использовать коэффициент близости  $U(X, Y) = 1 - E(X, Y)$ . Чем выше он (чем ближе он к единице), тем более близки ряды.

$$U(X, Y) = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{t=t_0}^T (X_t - Y_t)^2}{\sum_{t=t_0}^T X_t^2 + \sum_{t=t_0}^T Y_t^2}}. \quad (18)$$

Декомпозиция модели на отдельные блоки дает возможность за разумное время определить независимые параметры благодаря параллельным вычислениям для перебора параметров модели на заданных интервалах их изменения с последовательно уменьшающимся интервалом изменения параметров.

Для однозначности выбора оптимального варианта можно использовать ту или иную свертку коэффициентов близости и похожести, например, если подгонка расчетных и статисти-

ческих данных для всех макропоказателей имеет примерно равную важность, можно максимизировать среднегеометрическую величину всех коэффициентов.

В формальной записи

$$K(\vec{a}) \rightarrow \max_{\vec{a} \in A}, \quad (19)$$

где

$$A = \{ \vec{a} \in R^N : a_i^- \leq a_i \leq a_i^+, 1 \leq i \leq N \}, \quad (20)$$

$$K = \sqrt[2m]{\prod_{j=1}^m D_j \vec{a} U_j \vec{a}}. \quad (21)$$

Здесь  $m$  – число макропоказателей;  $j$  – номер макропоказателя,  $j = 1, \dots, m$ .

При этом следует перебирать только те варианты значений параметров, при которых коэффициенты близости и похожести выше некоторых заданных положительных величин, например,  $D_j > 0.7$ ,  $U_j > 0.85$  ( $j = 1, \dots, m$ ) [10].

В настоящее время полный перебор по всем неизвестным параметрам, заданных на интервале, даже на самых мощных суперкомпьютерах невозможен, поскольку перебор по сетке из 10 точек на каждый интервал по 80 параметрам дает  $10^{80}$  вариантов, что примерно равно числу нуклонов в нашей Метагалактике. Значит надо использовать направленный перебор [11], сокращать число независимых параметров за счет дополнительных предположений и использовать декомпозицию модели на относительно независимые блоки, идентификацию параметров в которых можно производить независимо, используя показатели других блоков как заданные.

Для сокращения числа независимых параметров будем определять параметры производственных функций на основе статистических данных и, кроме того, исключим часть параметров за счет предположения о стационарности начальных данных. Используя систему экономико-математического моделирования ЭКОМОД [9] получены соотношения, определяющие зависимости параметров модели, благодаря чему удалось сократить число независимых параметров до 18. Это число все еще велико для использования полного перебора на современных компьютерах, значит, для прямого решения задачи идентификации нужно разработать алгоритмы глобального перебора для большого числа процессоров. В настоящее время можно использовать декомпозицию модели на блоки, в каждом из которых не более 10 искомого параметра.

Получен работоспособный вариант параметров модели, в котором параметры модели идентифицированы по порядку величины. Для этого параметры были разбиты на группы параметров, имеющих одинаковый экономический смысл. Расчеты на суперкомпьютерах МСЦ РАН, ВЦ РАН и в среде ГРИД производились с числом независимых параметров девять.

#### 4. Сценарные численные эксперименты с моделью

Численные эксперименты с моделью проводились, чтобы найти работоспособный вариант, качественно верно отражающий процессы, происходящие в экономике Кировской области. Численные эксперименты [4] показали работоспособность полной модели и отдельных ее частей (рис.1-3). Это значит, что модель можно использовать в дальнейшей работе. Внешние параметры этого варианта можно взять за основу для более точной идентификации параметров модели в будущем, а сам вариант использовать как базовый при проведении качественных сценарных расчетов.

Изменения в сценарном расчете по сравнению с базовым сценарием будем представлять вариацией изменения макропоказателей, выраженной в процентах. Если  $F(t)$  – значение некоторого макропоказателя в момент времени  $t$  в базовом сценарии, а  $S(t)$  – значение этого же макропоказателя в текущем сценарии, то вариация  $V(t)$  изменения макропоказателя  $V(t) = 100\% \cdot S(t)/F(t) - 1$ .



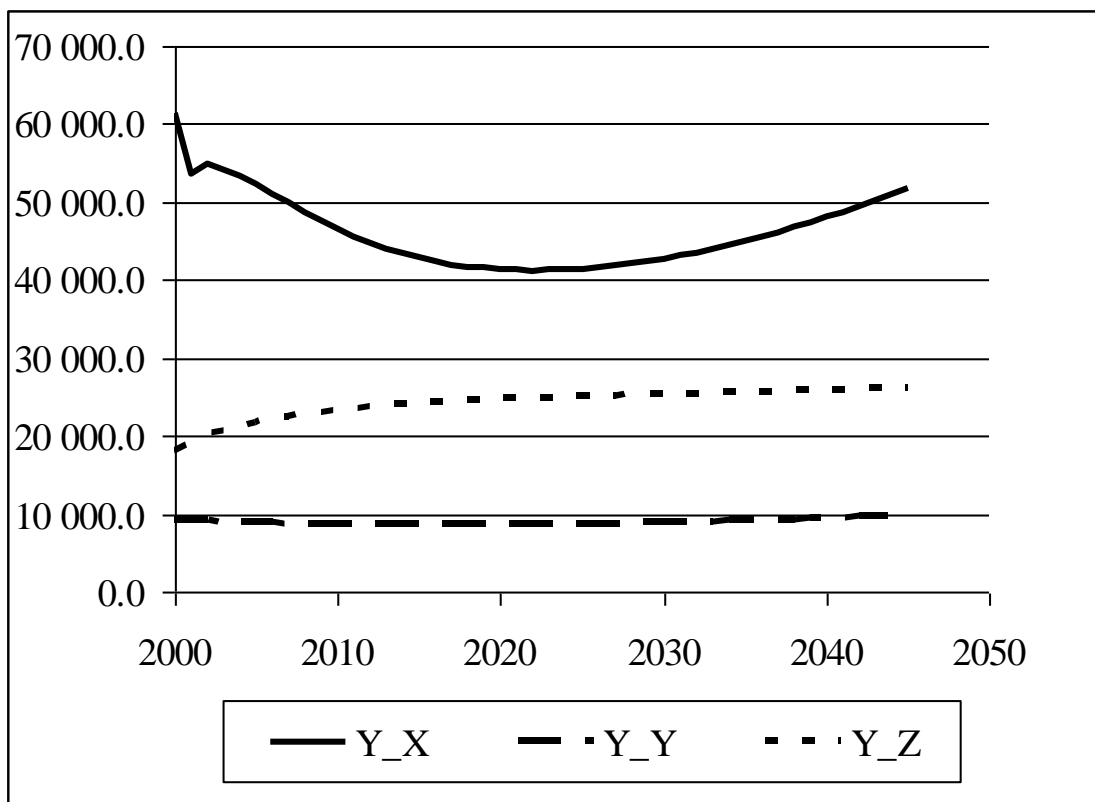


Рис.1. Выпуски продукции в секторах экономики Кировской области (Y\_X – выпуск сектора X, Y\_Y – выпуск сектора Y, Y\_Z – выпуск сектора Z)

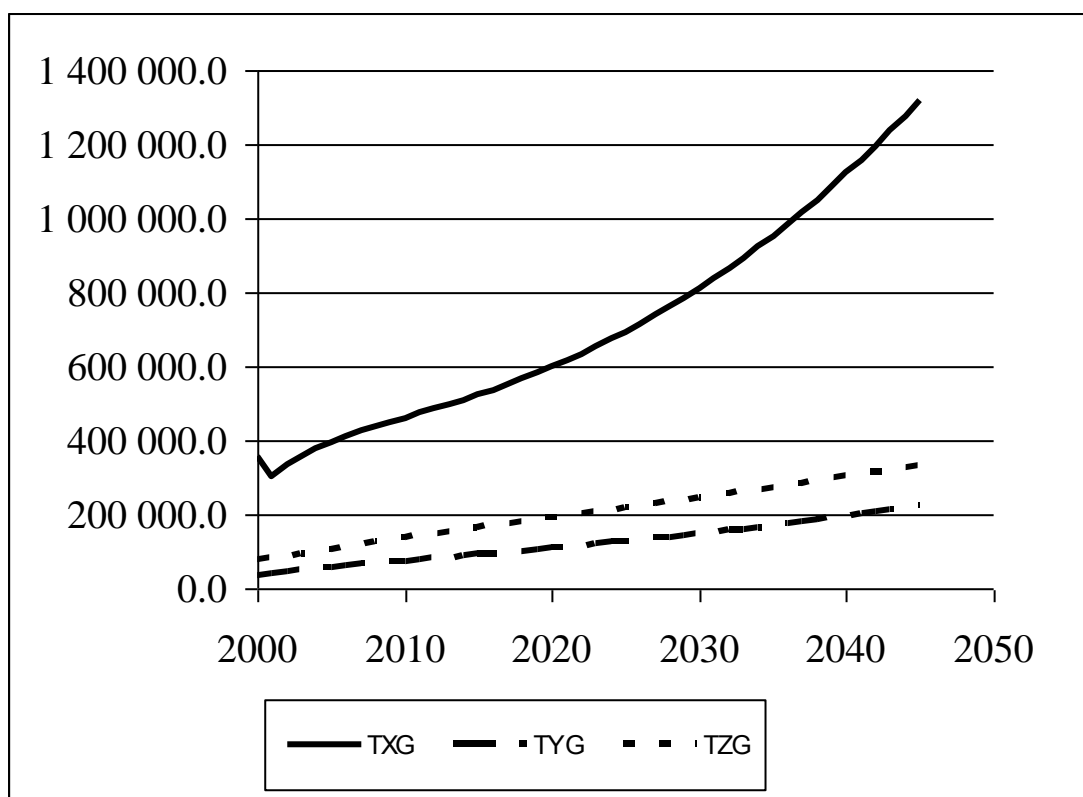


Рис.2. Налоговые отчисления производителей в консолидированный бюджет (TXG – от сектора X, TYG – от сектора Y, TZG – от сектора Z)

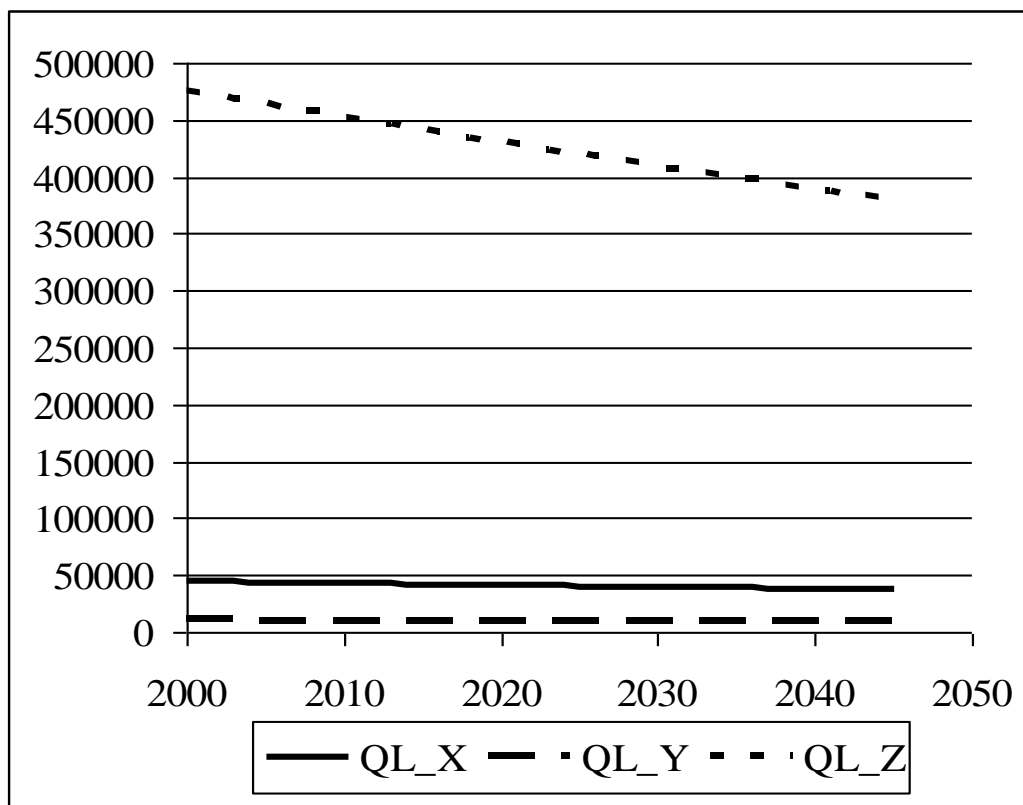


Рис.3. Предложение труда в секторах экономики  
(QL\_X – в секторе X, QL\_Y – в секторе Y, QL\_Z – в секторе Z)

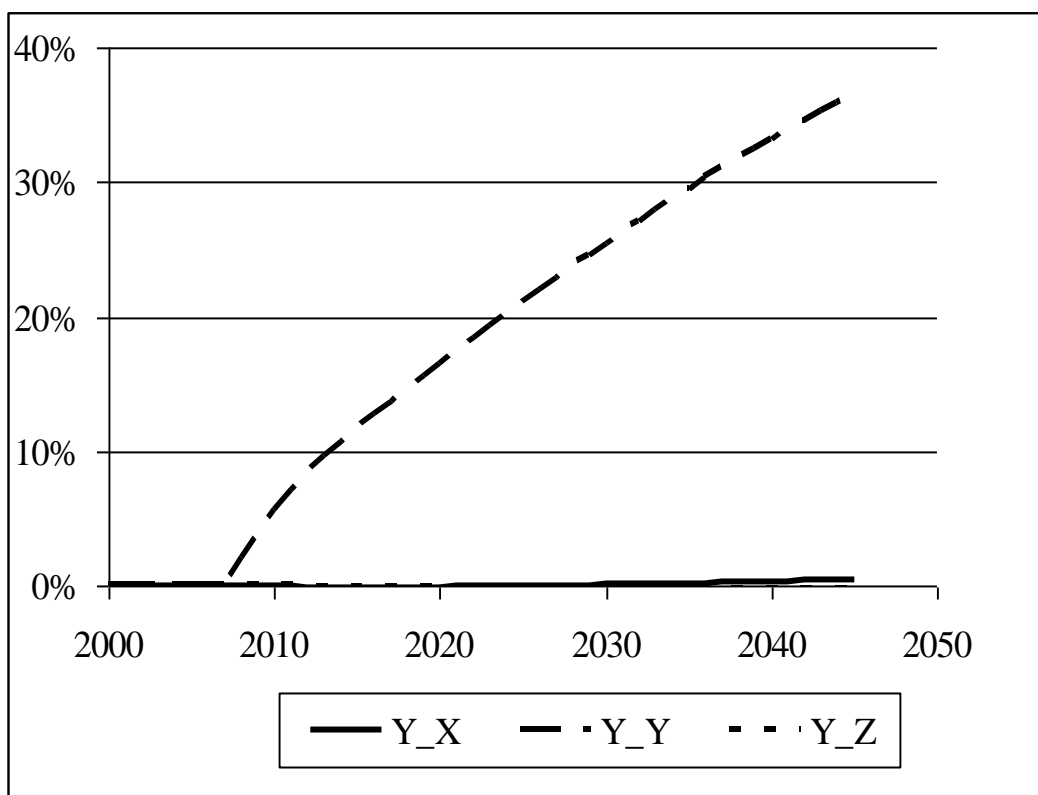


Рис.4. Вариация выпуска по секторам экономики в сценарии 1  
(Y\_X – для выпуска сектора X, Y\_Y – для выпуска сектора Y, Y\_Z – для выпуска сектора Z)

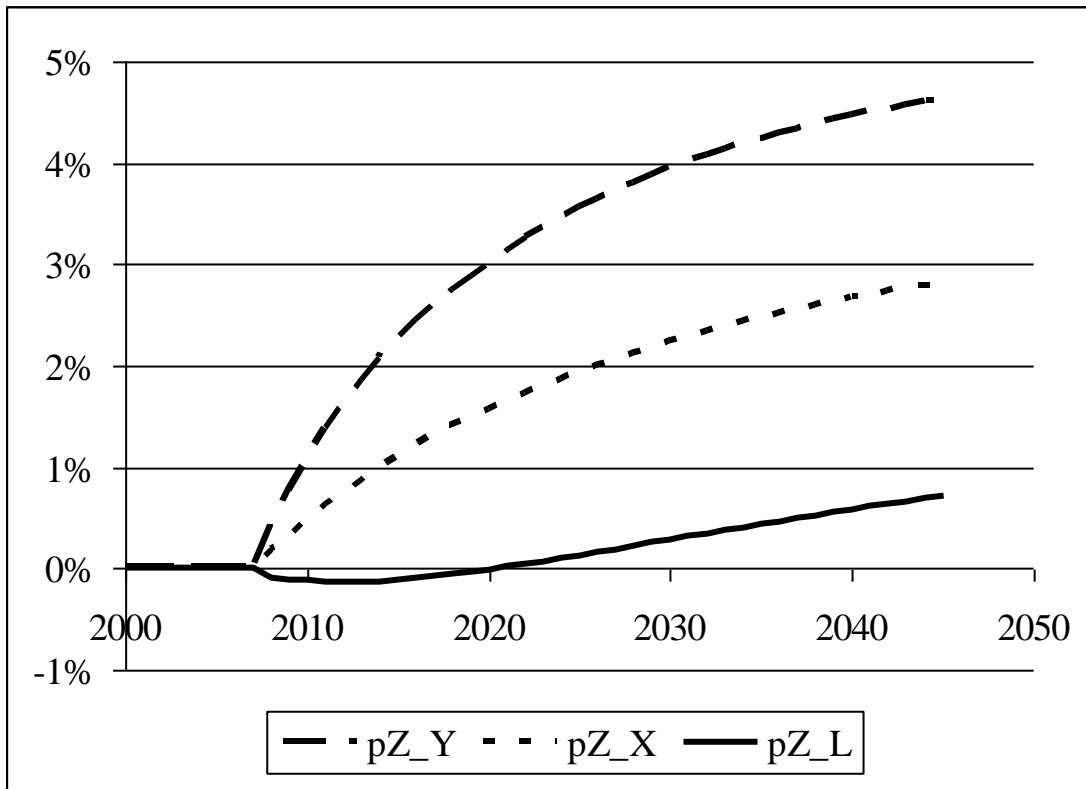


Рис.5. Вариация индексов цен на рынках официальной продукции Z в сценарии 2 (pZ\_Y – в секторе Y, pZ\_X – в секторе X, pZ\_L – на потребительском рынке L)

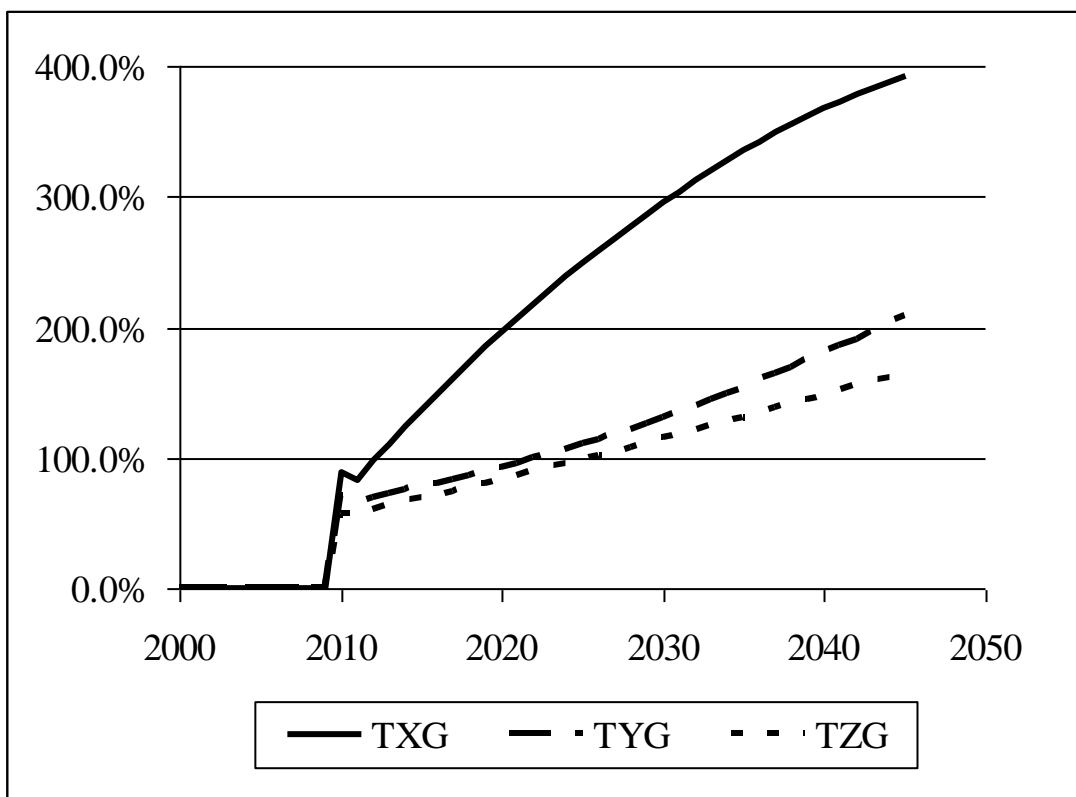


Рис.6. Вариация налоговых поступлений от секторов в сценарии 3 (TXG – от сектора X, TYG – от сектора Y, TZG – от сектора Z)

В сценарии 1 предполагается, что с 2007 года происходит увеличение трансфертов консолидированного бюджета Кировской области в сектор биотехнологий на поддержку инноваций. Но при этом структура расходов отрасли биотехнологий остается неизменной. А именно, пусть бюджетные трансферты в сектор биотехнологий возрастут с 2% до 22% консолидированного бюджета. Реальные трансферты в сектор биотехнологий  $Y$  в сценарии 1 увеличиваются немногим более чем в восемь раз в сравнении с базовым сценарием, инвестиции сектора  $Y$  возрастают на 50%, выпуск сектора через 40 лет увеличивается на треть в сравнении с базовым вариантом (см. рис.4). Прирост выпуска продукции ведет к росту объемов ее продаж по всем каналам реализации (и по официальному, и по теневому). При этом запас «белых» денег прирастает в два раза, а «черных» увеличивается на треть. Однако, эти изменения в выпусках и запасах приводят к изменению соотношения индексов цен и ставок заработной платы, при этом ставки заработной платы снижаются до 5%, а прирост «черных» денег в секторах  $X$  и  $Z$  увеличивается до 10%. Изменение структуры цен, сопровождающееся уменьшением уровня потребительских цен и ставок заработной платы, приводит падению номинальных доходов консолидированного бюджета от налогообложения секторов  $Y$  и  $Z$ , при малом росте поступлений от сектора  $X$ .

В сценарии 2 предполагается, что в результате непродуманных административных мер, начиная с 2008 года, на 20% уменьшились поставки по официальным каналам продукции смежных отраслей, при этом производственная структура секторов осталась неизменной (параметры производственных функций не изменились). В результате объемы выпуска изменились незначительно: выпуски секторов  $X$  и  $Y$  выросли, а выпуск сектора  $Z$  упал. Производственные фонды секторов немного выросли, цены на официальную продукцию изменились с разной степенью в сторону повышения (рис.5.), а на теневую – выросли все примерно на один уровень. Теневые ставки заработной платы поднялись, а официальные слегка опустились. Запасы денежных средств у всех агентов увеличились. В соответствии с ростом цен слегка увеличились и номинальные налоговые поступления, но уровень жизни занятых в официальном секторе снизился.

В оптимистическом сценарии 3 в результате мер по поддержке инновационных процессов по трансферу технологий в 2010 году произошло увеличение отдачи от всех факторов производства на 5%. Тогда выпуск лесопромышленного комплекса  $X$  удваивается через 4 года, а секторов биотехнологии  $Y$  и прочих отраслей  $Z$  через 15 лет. При этом, несмотря на рост производительности труда, немного возрастает занятость в секторах экономики. Значительно увеличивается объем производственных фондов. Индексы цен меняются разнонаправлено: в секторе  $X$  индексы цен на продукцию, реализуемую по официальным каналам, падают, а по теневым каналам растут; в секторах  $Y$  и  $Z$  все индексы цен растут. Все ставки заработной платы растут, за исключением официальной ставки сектора  $X$  лесопромышленного комплекса Кировской области. Запасы денег у всех экономических агентов возрастают, инвестиции секторов возрастают, доходы бюджета (рис.6) и домашних хозяйств возрастают.

## 5. Заключение

Предложенная в работе технология идентификации внешних параметров модели основана на использовании высокоскоростных параллельных вычислений на многопроцессорных системах, сокращении числа независимых параметров за счет предположения о равновесии региональной экономики на момент начала расчета и группировке параметров по порядку величины, исходя из их экономического смысла.

Численные эксперименты с идентифицированной моделью региональной экономики показали, что динамика макропоказателей экономики Кировской области существенно зависит от политики, проводимой Правительством региона. При административном зажимании экономической активности, экономическая деятельность уходит в тень и увеличивается инфляция. При осуществлении задуманной политики повышения производительности факторов производства за счет инновационной деятельности выпуски продукции и доходы всех агентов растут, однако, наличие теневой составляющей в производстве сохраняет высокие темпы инфляции.

Построенная в настоящей работе модель служит одним из инновационных продуктов, а полученный опыт ее идентификации и эксплуатации [12-15] тем «ноу-хау», который может быть использован в приспособлении данной модели для конкретных региональных экономических систем.

## Литература

1. Оленев Н.Н., Шатров А.В. Концепция использования имитационной модели экономики региона для исследования его инновационного потенциала. // Математическое моделирование развивающейся экономики: Сб. тр. летней школы по экономико-математическому моделированию ЭКОМОД-2006. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. – 152 с. С. 10-24.
2. Leontief W.W. Input-Output Economics. 2nd ed., New York: Oxford University Press, 1986. - 436 p.
3. Петров А. А., Поспелов И. Г., Шананин А. А. Опыт математического моделирования экономики. М.: Энергоатомиздат, 1996. – 544 с.
4. Горбачев В.А., Оленев Н.Н. Трехсекторная имитационная модель региональной экономики // Труды 49 научной конференции МФТИ, 24-25 ноября 2006 г. Ч.VII. С. 96-98.
5. Оленев Н.Н. Основы параллельного программирования в системе MPI. М.: ВЦ РАН. 2005. 80 с.
6. Тейл Г. Экономические прогнозы и принятие решений. М.: Статистика, 1971. 488 с.
7. Бурнаев Е.В., Оленев Н.Н. Меры близости на основе вейвлет коэффициентов для сравнения статистических и расчетных временных рядов // Межвузовский сборник научных и научно-методических трудов за 2005 год (Десятый выпуск). Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. С. 41-51.
8. Поспелов И.Г. Моделирование экономических структур. М.: ФАЗИС: ВЦ РАН, 2003. 194 с. (Математическое моделирование. Вып.6)
9. Поспелов И.Г., Поспелова И.И., Хохлов М.А., Шипулина Г.Е. Новые принципы и методы разработки макромоделей экономики и модель современной экономики России. М.: ВЦ РАН. 2006. 240 с.
10. Оленев Н.Н., Поспелов И.Г., Стариков А.С. Опыт идентификации вычислимой модели экономики // Труды XLVII научной конференции МФТИ. 2004. Ч.VII. С. 171-172.
11. Гергель В.П., Стронгин Р.Г. Параллельные методы вычисления для поиска глобально-оптимальных решений // Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах. Материалы четвертого международного научно-практического семинара. Самара, 2004. С. 54-59.
12. Оленев Н.Н. Параллельные вычисления для оценки параметров динамической много-секторной балансовой модели региональной экономики // Научный сервис в сети ИНТЕРНЕТ: технологии параллельного программирования: Труды Всероссийской научной конференции (18-23 сентября 2006 г., г. Новороссийск). - М.: Изд-во МГУ, 2006. - 303 с. С. 36-37.
13. Оленев Н.Н. Модель оценки инновационного потенциала Кировской области // 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.65-66.
14. 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.
15. Горбачев В.А., Оленев Н.Н. Трехсекторная имитационная модель региональной экономики // Труды 49 научной конференции МФТИ, 24-25 ноября 2006 г. Ч.VII. С.96-98.