
**НАУЧНАЯ СЕССИЯ: ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА:
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ**

ВЫЧИСЛИМАЯ МОДЕЛЬ ЭКОНОМИКИ ЗНАНИЙ*

© 2009 г. В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Н. В. Бахтизина

(Москва)

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время основными факторами, тормозящими развитие страны, являются:

- приоритет развитию сырьевого сектора, не сопряженному с развитием обрабатывающих отраслей (в первую очередь, наукоемких);
- ориентация на краткосрочные цели;
- значительная недооценка человеческого капитала;
- нарушение преемственности научных и технических знаний;
- чрезмерное сокращение оборонно-промышленного комплекса, в котором сосредоточены российские высокие технологии.

Опыт западных экономик показывает, что для устойчивого развития страны необходимо развитие наукоемкого сектора. Это особенность современной экономики или “экономики, базирующейся на знаниях”, одной из отличительных особенностей которой является повышение доли нематериальных активов в капитализации компаний.

Для оценки уровня развития страны удобно рассматривать ее через призму следующих секторов народного хозяйства (Дежина, 2001):

- отрасли добычи и первичной обработки сырья;
- отрасли тяжелой промышленности (материало- и трудоемкой);
- высокотехнологичные отрасли, которые характеризуются низкой материало- и трудоемкостью, но высокой долей затрат на НИОКР в добавленной стоимости;
- отрасли “мягких” технологий (soft technology), включающих разработку программного обеспечения, системной интеграции и т.д.

В странах с новой экономикой, основанной на знаниях, доля последних двух отраслей высока. Пока в России ситуация, скорее, обратная, однако резервы для изменения отраслевой структуры экономики в сторону увеличения высокотехнологичных отраслей, несомненно, есть. Здесь необходимо отметить следующее: развитие приоритетных отраслей новой экономики невозможно без активного вмешательства государства, поскольку представители частного капитала сами по себе едва ли захотят вкладывать средства в сектора с высокими рисками и большими сроками окупаемости. Для них гораздо прибыльнее и надежнее размещать свои капиталы в сырьевых отраслях.

Государственная финансовая поддержка инновационной и научной деятельности осуществляется несколькими организациями, созданными при участии государства. К ним относятся: Российский гуманитарный научный фонд (РГНФ); Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ); Российский фонд технологического развития (РФТР); Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия); Венчурный инновационный фонд (ВИФ).

Следует особо отметить, что финансовые возможности государственных фондов весьма ограничены. Например, бюджеты Фонда содействия и РФТР в совокупности составляют около 3% от всех расходов государственного бюджета на гражданскую науку.

Что касается расходования средств федерального бюджета на науку, то в соответствии с Федеральным законом “О науке и государственной научно-технической политике” на финансирование научных исследований и экспериментальных разработок гражданского назначения из федерального бюджета должны выделяться средства в размере не менее 4% от всей расходной части

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект 07-02-00155а), Гранта Президента РФ (проект 2407.2007.6), Российского фонда фундаментальных исследований (проект 08-06-00277а).

федерального бюджета. В реальности, указанная сумма никогда не выделялась, т.е. имело место прямое нарушение действующего законодательства.

Более того, Счетной палатой РФ было выявлено, что уровень расходов был установлен без достаточной научной проработки. Но даже с учетом выполнения требований действующего законодательства финансирование науки в России по сравнению с другими развитыми странами находится на низком уровне.

Отсутствие необходимого финансирования привело к негативным последствиям. По данным РАН только по 95 научным учреждениям первоочередная потребность на обновление научного оборудования составляла 300 млн. долл. США. В 2000 г. на эти цели РАН выделено 88 млн. руб., а в 2001 г. — 295.1 млн. руб., что несопоставимо с реальными потребностями. При этом в период 1992–1998 гг. научные учреждения РАН были практически лишены возможности приобретать современное научное оборудование за счет средств федерального бюджета (Сводный аналитический доклад, 2003).

При рассмотрении “Основ политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу” на совместном заседании Совета безопасности Российской Федерации, президиума Государственного совета Российской Федерации и Совета при Президенте Российской Федерации по науке и высоким технологиям было принято решение об увеличении бюджетного финансирования на развитие науки (Сводный аналитический доклад, 2003). При этом увеличение финансирования ориентировано на норму, определенную в Федеральном законе “О науке и государственной научно-технической политике”, о котором уже говорилось выше. Иными словами, целевые показатели опять не получили должного научного обоснования, но помимо этого также не понятен срок достижения указанных нормативов. Следовательно, ситуация в научной сфере, с учетом ее хронического недофинансирования и с предполагаемым в дальнейшем объемом средств федерального бюджета, выделяемых на это направление, вряд ли сможет быстро измениться к лучшему.

Попробуем количественно оценить эффективность финансовых вложений в инновационную составляющую российской экономики, а также в сектор науки и образования. Для этого разработана математическая модель, в которой выделены сектор науки и образования и инновационный сектор. В данную работу включены предварительные результаты экспериментов, которые достаточно показательны и свидетельствуют об эффективности вложений в научно-образовательный сектор в долговременном плане.

1. ИНСТРУМЕНТЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИНАНСОВЫХ ВЛОЖЕНИЙ В ЭКОНОМИКУ ЗНАНИЙ

В литературе описывается довольно большое число моделей с учетом факторов научно-технического развития, в том числе с учетом накопления знаний. Эти модели относятся к классу моделей экономического роста, берущих свое начало от моделей Смита, Рикардо и Солоу. С 1990-х годов в экономической теории получили развитие модели с эндогенным научно-техническим прогрессом (НТП), среди которых наиболее известными являются модели, предложенные П. Ромером (Romer, 1990) и К. Джонсом (Jones, 1998). В этих моделях учитываются показатели: знания, полученные в результате проведения НИОКР, человеческий капитал и технологии. В модели Ромера темп НТП определяется в зависимости от числа исследователей и производительности их труда. Иными словами, предполагается, что темп НТП растет с увеличением числа исследователей, что, вообще говоря, не всегда соответствует действительности. В модели Джонса, которая является развитием модели Ромера, дополнительно учитывается уровень технологического развития. В обеих моделях также предполагается, что количество ученых и специалистов, производящих знания, пропорционально численности жителей страны.

С подробным обзором разработанных зарубежом моделей знаний можно ознакомиться в работах А.Е. Варшавского (Варшавский, 1984, 2003).

Не углубляясь в математические подробности моделей этой волны, следует отметить, что в них проблематично отследить мультипликативный эффект на остальную экономику от воздействия на инновационную сферу. Напротив, предлагаемая нами модель позволяет сделать это, причем как в среднесрочном, так и долгосрочном периоде.

Другой отличительной особенностью нашей модели является приложение теории вычислимых моделей общего равновесия к моделированию экономики знаний.

Следует отметить, что это первая, насколько нам известно из литературы и частной информации, динамическая модель большой размерности, рассматривающая сектора “экономики зна-

ний” (или новой экономики) в отдельности и учитывающая их взаимосвязь с остальной экономической системой.

С помощью разработанной модели можно получить количественные оценки от воздействий на экономическую систему, выражающихся в изменении следующих показателей:

- 1) объема инвестиций, направляемых организациям науки и образования, инновационно-активным предприятиям и прочим предприятиям и организациям России;
- 2) ставок НДС, налога на прибыль предприятий и организаций, налога на имущество, налога на доходы физических лиц и ЕСН;
- 3) заработной платы работников организаций сектора науки и образования, предприятий инновационного сектора и прочих предприятий и организаций России;
- 4) ставок депозитов для предприятий и физических лиц;
- 5) объема социальных трансфертов домашним хозяйствам России (пенсии, пособия и т.д.);
- 6) объема денежной массы в экономике.

Рассмотрим некоторые особенности вычислимых моделей общего равновесия, известных в литературе как CGE модели (Computable General Equilibrium), к классу которых относится разработанная нами модель.

2. КРАТКАЯ СПРАВКА О CGE МОДЕЛЯХ

Любая CGE модель представляет собой систему уравнений, решением которой является общее экономическое равновесие, как правило, сводящееся к уравниванию спроса и предложения на рынках товаров и услуг, рассматриваемых в модели. Равновесие достигается путем итеративного пересчета с помощью соответствующих прикладных пакетов.

CGE модели можно определить в трех ключевых аспектах.

1. CGE модели включают в себя экономических агентов, результаты деятельности которых находят отражение во всей экономической системе. Именно поэтому эти модели называются *общими*. Обычно в число агентов входят домашние хозяйства, максимизирующие полезность от приобретаемых ими товаров и услуг, и фирмы, максимизирующие свою прибыль. В качестве экономических агентов могут выступать правительства и торговые союзы.

2. CGE модели включают в себя систему уравнений, решение которой позволяет найти равновесие на рынке каждого товара, услуги и фактора производства. Благодаря этому модели становятся *равновесными*.

3. CGE модели выдают количественные результаты, что позволяет называть их *вычислимыми*.

Термин “*равновесные*” не должен смущать нас на том основании, что реальные состояния экономики могут быть далеки от равновесия. Технология вычислений по CGE модели позволяет имитировать процесс движения к равновесию. И если реальные цены, к примеру, неравновесны, то данная технология позволяет выявить, почему это происходит и как далеко еще до равновесия.

CGE моделям посвящено большое количество литературы, однако в нашей стране моделям этого класса не уделялось должного внимания. Среди публикаций последних лет можно указать (Макаров, 1999; Макаров, Бахтизин, 2001; Бахтизин, 2003; Бахтизина, 2003; Бекларян, 2002; Бестремянная, Бахтизин, 2004; Макаров, Бахтизин, Бахтизина, 2005; Макаров, Бахтизин, Сулакшин, 2007; Alekseev, Tourdyeva, Yudaeva, 2003). В них были описаны недавно созданные CGE модели России и ее регионов, а также проведен большой обзор зарубежных аналогов.

3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ¹

Модель представлена семью экономическими агентами. Первые три из них являются агентами-производителями.

Экономический агент № 1 – сектор науки и образования, оказывающий услуги по обучению студентов и производству знаний. Сюда входят образовательные учреждения (государственные и негосударственные), оказывающие услуги по предоставлению высшего образования, а также организации науки.

¹ Полное описание модели приведено в (Макаров, Бахтизин, Сулакшин, 2007; Макаров, Бахтизин, Бахтизина, 2007).

Экономический агент № 2 — инновационный сектор, представляющий собой совокупность инновационно-активных предприятий и организаций России.

Экономический агент № 3 — прочие отрасли экономики России.

Экономический агент № 4 — совокупный потребитель, объединяющий в себе домашние хозяйства России.

Экономический агент № 5 — правительство (федеральное, региональные и местные правительства, внебюджетные фонды; некоммерческие организации, обслуживающие домашние хозяйства, например политические партии, профсоюзы, общественные объединения и т.д.).

Экономический агент № 6 — банковский сектор, включающий Центральный банк России и коммерческие банки.

Экономический агент № 7 — внешний мир.

Производственные возможности первых трех агентов-производителей модели задаются с помощью модифицированной производственной функции Кобба–Дугласа. Значение производственной функции показывает добавленную стоимость (конечный продукт), произведенную соответствующим сектором:

$$Y_{i(t)} = A_i^r \left(0.5(K_{i(t-1)} + K_{i(t)}) \right)^{A_i^k} \left(D_{il(t)}^{p1} + D_{il(t)}^{p3} \right)^{A_i^l} \times \\ \times \exp \left(\alpha_i \left(\sum_{\lambda=1}^{t-1} D_{iz(\lambda)}^{p1} / (t-1) \right) + \beta_i \left(\sum_{\lambda=1}^{t-1} D_{ir(\lambda)}^{p1} / (t-1) \right) + \gamma_i \left(\sum_{\lambda=1}^{t-1} D_{im(\lambda)}^{p1} / (t-1) \right) \right), \quad (1)$$

где $i = 1, 2, 3$ — номер экономического агента; компонентами производственной функции являются: основные фонды (для функции берется среднее значение стоимости на начало и конец года — $K_{i(t-1)}$ и $K_{i(t)}$, соответственно); спрос на рабочую силу, оплачиваемую по государственной (P_{3l}) и рыночной (P_{1l}) цене; A_i^r — коэффициент, относящийся к регулированию размерности; A_i^k — коэффициент, относящийся к основным фондам; A_i^l — коэффициент, относящийся к труду; α_i — коэффициент, относящийся к затратам сектора на новые знания (в первую очередь результаты НИОКР); β_i — коэффициент, относящийся к затратам сектора на образовательные услуги; γ_i — коэффициент, относящийся к затратам сектора на инновационные товары.

Требуется пояснения последний множитель производственной функции, точнее, выражение степени при экспоненте, описывающий влияние затрат сектора на знания, обучение и инновационный продукт на добавленную стоимость. Формула (1) учитывает нормированный спрос на эти факторы производства в предыдущих периодах.

Следует подчеркнуть некоторые отличия функции, используемой в нашей модели, от других функций, в которые входит научно-технический прогресс (НТП).

В экономической науке наибольшее распространение получили функции с экзогенным НТП, благодаря возможности применения достаточно простой процедуры оценки параметров. Учет НТП может осуществляться в виде параметра, влияющего на: 1) фактор труда; 2) фактор капитала; 3) объем производства. В последнем случае, чаще всего применяемом на практике, НТП представлен в виде экспоненциально возрастающей функции времени с постоянным темпом прироста НТП. Иными словами, в этом случае динамика параметров НТП не определяется в рамках экономической системы, которую они описывают.

Из уравнения (1) видно, что в функции, в которой НТП также представлен как экспоненциальный множитель, затраты на знания, обучение и инновационный продукт представляют собой эндогенные величины. Таким образом, используемая нами производственная функция относится к классу функций с эндогенным НТП, о которых уже говорилось во введении. Принципиальное отличие нашей функции от других функций этого класса состоит в учете всех затрат на производство знаний, а также в учете капитала (в отличие, например, от функции Ромера).

Ниже представлена концептуальная схема, отражающая работу модели в общем виде (рис. 1). На рисунке приняты следующие обозначения: в прямоугольниках приведены экономические агенты; в кружках названы рынки, на которых происходит торговля соответствующим товаром между рассматриваемыми в модели экономическими агентами; c^1 — рынок конечных товаров для домашних хозяйств; c^2 — рынок конечных товаров, идущих на экспорт; g^1 — рынок конеч-

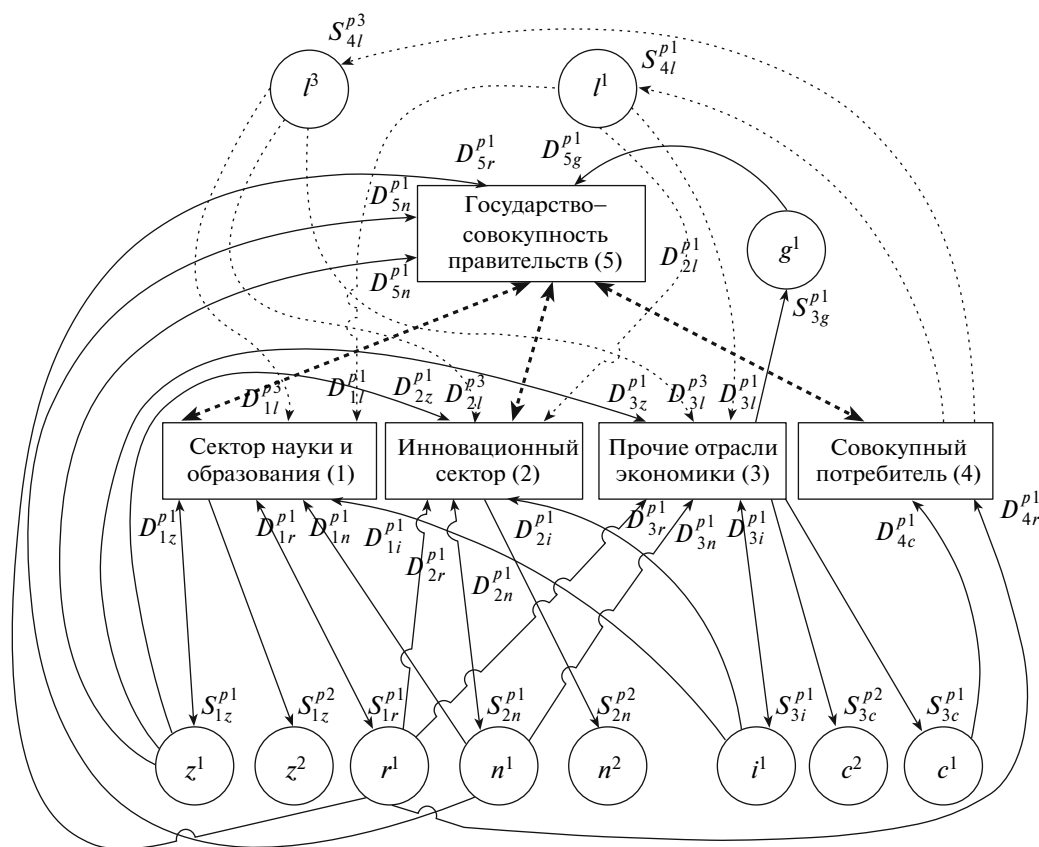


Рис. 1. Концептуальная схема работы CGE модели с инновационным сектором, где $\cdots \rightarrow$ — действия агентов, связанные со спросом и предложением рабочей силы; $-\cdots \rightarrow$ — налоговые платежи и субсидии.

ных товаров для экономического агента 5; l^1 — рынок инвестиционных товаров; l^1 — рынок рабочей силы, оплачиваемой предприятиями частной формы собственности; l^3 — рынок рабочей силы, оплачиваемой из средств государственного бюджета; n^1 — рынок инновационных товаров; n^2 — рынок инновационных товаров, идущих на экспорт; z^1 — рынок знаний; z^2 — рынок знаний, идущих на экспорт; r^1 — рынок образовательных услуг. Входящая на рынок стрелка означает, что агент предлагает товар на рынке, а исходящая стрелка — что агент покупает товар.

I. Сектор науки и образования (экономический агент № 1) предоставляет услуги, распределяемые по трем направлениям.

1. Услуги для инновационного сектора и прочих отраслей экономики (в основном выполнение НИОКР), услуги для экономического агента № 5, включающие, в соответствии с методологией СНС, услуги нерыночной науки. Кроме того, часть услуг по предоставлению знаний сектор потребляет сам. В модели этому набору услуг соответствует переменная S_{1z}^{p1} .

2. Услуги для экономического агента № 5 (включающие, в соответствии с методологией СНС, услуги бесплатного образования), услуги по обучению на платной основе для инновационного сектора, прочих отраслей экономики и домашних хозяйств. Кроме того, часть образовательных услуг сектор потребляет сам. В модели этому набору услуг соответствует переменная S_{1r}^{p1} .

3. Услуги для внешнего мира — в частности, выполнение работ по научным грантам S_{1z}^{p2} .

II. Инновационный сектор (экономический агент № 2) производит продукт, распределяемый по двум направлениям.

1. Инновационные товары для внутреннего рынка. Под инновационными товарами понимается конечная продукция, произведенная на основе различного рода технологических и прочих форм инноваций. В соответствии с методологией Росстата этот показатель соответствует объему

отгруженной инновационной продукции. Произведенная сектором продукция потребляется всеми секторами-производителями (в том числе и самим сектором) в качестве затрат на исследования и разработки и как затраты на технологические инновации, а также экономическим агентом № 5 (имеется в виду государственное финансирование инновационной деятельности с помощью средств ряда фондов, например Российского фонда технологического развития, Фонда содействия и венчурного инновационного фонда). В модели этому набору товаров соответствует переменная S_{2n}^{p1} .

2. Инновационные товары для внешнего мира — S_{2n}^{p2} .

III. Прочие отрасли экономики (экономический агент № 3) производят продукт, распределяемый по четырем направлениям.

1. Конечные продукты для домашних хозяйств S_{3c}^{p1} , включающие потребительские товары текущего потребления (продукты питания и т.д.), товары длительного потребления (бытовая техника, автомобили и т.д.), а также услуги.

2. Конечные продукты для экономического агента № 5 S_{3g}^{p1} , состоящие из:

а) конечного продукта для государственных учреждений (по методологии СНС — расходы государственных учреждений на приобретение конечной продукции), включающего в себя бесплатные услуги для населения, оказываемые предприятиями и организациями в области здравоохранения, культуры (услуги образования здесь не рассматриваются, так как их предоставляет экономический агент № 1), и услуги, удовлетворяющие потребности общества в целом, т.е. общее государственное управление, охрана правопорядка, национальная оборона, нерыночная наука, жилищное хозяйство и т.д.;

б) конечного продукта для некоммерческих организаций, обслуживающих домашние хозяйства, в него входят бесплатные услуги социального характера.

3. Инвестиционные товары — затраты на улучшение произведенных и произведенных материальных активов (затраты на создание основного капитала) S_{3i}^{p1} . В соответствии с методологией СНС этот вид товара определяется как сумма валового накопления основного капитала и изменения запасов материальных оборотных средств “минус” стоимость приобретенных новых и существующих основных фондов (за вычетом выбытия).

4. Экспортные товары S_{3e}^{p2} . Поскольку одной из составляющих рассмотренных ранее товаров являются импортные товары, то во избежание двойного счета, в экспортные товары входит только чистый экспорт (т.е. экспорт без импорта).

Для производства товаров и услуг агенты-производители № 1–3 покупают факторы производства:

1) рабочую силу (по государственным и рыночным ценам) D_{1l}^{p3} , D_{1l}^{p1} , D_{2l}^{p3} , D_{2l}^{p1} , D_{3l}^{p3} и D_{3l}^{p1} ;

2) инвестиционные товары D_{1i}^{p1} , D_{2i}^{p1} и D_{3i}^{p1} ;

3) инновационные товары D_{1n}^{p1} , D_{2n}^{p1} и D_{3n}^{p1} ;

4) услуги по предоставлению знаний (к примеру, НИОКР) D_{1z}^{p1} , D_{2z}^{p1} и D_{3z}^{p1} ;

5) образовательные услуги (обучение на платной основе) D_{1r}^{p1} , D_{2r}^{p1} и D_{3r}^{p1} .

IV. Совокупный потребитель (экономический агент № 4) покупает конечные товары D_{4c}^{p1} , производимые прочими отраслями экономики. Помимо этого домашние хозяйства пользуются платными образовательными услугами D_{4r}^{p1} . Также сектор формирует предложение рабочей силы S_{4l}^{p1} (для предприятий частной формы собственности) и S_{4l}^{p3} (для бюджетной сферы).

V. Экономический агент № 5 устанавливает налоговые ставки, определяет доли бюджета, идущие на субсидирование производителей и на социальные трансферты, а также расходует средства своего бюджета для покупки конечных товаров D_{5g}^{p1} , произведенных прочими отраслями экономики. Помимо этого агент покупает еще и инновационные товары D_{5n}^{p1} , а также услуги нерыночной науки D_{5z}^{p1} и бесплатного образования D_{5r}^{p1} .

VI. Банковский сектор определяет проценты для привлеченных депозитов.

4. МЕХАНИЗМЫ ДОСТИЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ РЫНКАХ

В процессе итеративного пересчета модели (о котором будет сказано ниже) на рынке каждого товара и услуги уравниваются совокупный спрос и предложение в соответствии с двумя различными механизмами, применяемыми в зависимости от способа установления цены. Следует отметить, что в большинстве случаев единицами измерения цен являются их индексы относительно базового периода.

1. Механизм уравнивания на рынке с ценами, устанавливаемыми государством. Допустим, что суммарный спрос D_s^p на товар не равен суммарному предложению этого товара S_s^p , т.е. справедливо одно из неравенств — $D_s^p > S_s^p$ или $S_s^p > D_s^p$. Для устранения дисбаланса вводится корректирующий коэффициент, называемый *индикатором дефицитности* $I = S_s^p / D_s^p$, который умножается на величину спроса, корректируя ее на каждом шаге итерации. Как видно, индикатор дефицитности есть частное от деления предложения продукта на его спрос. В итерационном процессе индикатор дефицитности стремится к единице.

Поскольку в моделях в ряде случаев суммарный спрос D_s^p на товар есть сумма спросов нескольких агентов, то в реальности введенный нами коэффициент корректирует долю бюджета каждого агента, идущую на покупку соответствующего товара.

Предположим, что D_1^p — спрос агента 1, а D_2^p — спрос агента 2 на один и тот же товар по цене P . Спрос обоих агентов в модели определяется следующими соотношениями: $D_1^p = O_1^p B_1 / P$ и $D_2^p = O_2^p B_2 / P$, где O_1^p , O_2^p — доли бюджетов B_1 , B_2 первого и второго агента, соответственно. Для корректировки совокупного спроса доли O_1^p , O_2^p следует умножить на индикатор дефицитности I .

2. Рыночный и теневой механизмы уравнивания спроса и предложения. Этот механизм стандартен и выглядит следующим образом: $P[Q+1] = P[Q] + (D_{s[Q]}^p - S_{s[Q]}^p) / C$, где P — цена товара, Q — шаг итерации, а C — положительное число, называемое *константой итераций*. При его уменьшении экономическая система быстрее приходит в состояние равновесия, однако при этом увеличивается опасность ухода цены в отрицательную область.

Отметим, что в случае государственной цены на товар или услугу равновесие достигается посредством изменения доли бюджета, а в случае рыночной и теневой цены — за счет изменения самой цены. В CGE моделях, разработанных на Западе, механизм уравнивания спроса и предложения с помощью изменений доли бюджета не используется. Поэтому такие модели более ограничены. В них не может быть адекватно представлен механизм ценообразования для продуктов и услуг, который называется рационированием.

Подсчитаем теперь число рынков в нашей модели: конечные товары для домашних хозяйств, конечные товары для экономического агента № 5, а также инвестиционные и инновационные товары, образовательные услуги и услуги по предоставлению знаний продаются на шести внутренних рынках. Помимо этого в модели рассматривается три внешних рынка: рынок инновационных товаров n^2 , рынок знаний z^2 и рынок прочих экспортных товаров c^2 . Таким образом, имеем $6 + 3 = 9$ товарных рынков и 2 рынка рабочей силы.

5. ПРОЦЕСС КАЛИБРОВКИ МОДЕЛИ

После записи всех формул в пакет для численного разрешения CGE моделей и наполнения переменных модели статистической информацией наступает один из важнейших этапов построения модели — этап ее калибровки.

Калибровка модели это процесс, заключающийся в подгонке некоторых неизвестных экзогенных переменных до таких значений, при которых интегральные эндогенные показатели модели (такие как ВВП, объем производства в физических единицах, индекс потребительских цен и т.д.) совпадали бы с показателями официальной статистики. Важно подчеркнуть, что в процессе калибровки изменяются только неизвестные экзогенные параметры и, соответственно, чем их больше, тем больше степеней свободы при калибровке модели, что, конечно же, плохо, поскольку в этом случае есть риск подобрать некорректный набор значений изменяемых параметров.

В этой связи при построении модели авторы стремились к максимальному ее наполнению данными официальной статистики, а в случае ее отсутствия — к сокращению числа переменных модели для достижения разумного баланса между известными и калибруемыми параметрами.

Как правило, на первом этапе калибровки происходит подбор параметров производственных функций. Вообще говоря, эти параметры желательно рассчитать с помощью эконометрических методов, но, к сожалению, из-за недостатка статистической информации это не всегда возможно сделать. В этой связи для приближенной оценки параметров производственной функции можно использовать отношения учитываемых в уравнении факторов производства к объему выпуска продукции (т.е. вклад факторов в выпуск). Для этого необходимо переоценить все факторы производства в сопоставимые с выпуском единицы измерения. К примеру, вместо количества работников отрасли использовать сумму всей заработной платы этих работников и т.д. Полученные таким образом коэффициенты представляют собой грубые оценки параметров (базовые значения), которые затем калибруются до совпадения расчетных показателей с фактическими.

Как правило, из статистических данных нам известны пропорции распределения произведенного экономического объектом продукта, поэтому после калибровки значений выпуска проведем калибровку неизвестных долей бюджета экономических агентов таким образом, чтобы совокупный спрос на определенный вид продукции совпал с его предложением. Это чисто техническая работа, являющаяся, однако, достаточно трудоемкой, поскольку при этом могут разбалансироваться аналогичные показатели на других рынках. Для некоторого облегчения работы целесообразно до определенного момента фиксировать некоторые эндогенные параметры.

Таким образом, можно сказать, что основными калибровочными параметрами модели служат коэффициенты производственных функций и доли бюджета экономических агентов.

Следует отметить специфику калибровочных параметров. Подбор коэффициентов производственных функций — грубая калибровка, поскольку они постоянны на всем временном интервале, рассматриваемом в CGE моделях, и в этом случае мы просто приводим в соответствие числовой порядок расчетных и фактических значений выпуска. В то же время правильная подгонка коэффициентов производственных функций — одна из важнейших задач, возникающих при построении CGE моделей, так как сама функция является, по сути, технологией переработки экономического агентом ресурсов в продукты, а, значит, от этого зависит, к примеру, эффективность финансовых вложений в отрасль (или другой рассматриваемый субъект экономики).

С другой стороны, неизвестные доли бюджета экономических агентов представляют собой более тонкие калибровочные параметры. Они меняются в каждом временном интервале, и, следовательно, за счет их в том числе возможна более тонкая подгонка эндогенных значений выпуска, которые рассчитываются с помощью производственных функций. При этом важно, чтобы изменчивость калибровочных переменных была незначительной, поскольку эти параметры, по сути, являются статистическими характеристиками CGE модели. Здесь уместна аналогия с эконометрическими уравнениями. При расчете последних мы получаем фиксированные для всего оцениваемого периода коэффициенты, аппроксимирующие вычисляемое уравнение к некоторому набору точек. Соответственно при подборе калибровочных коэффициентов также следует избегать их сильного изменения, поскольку иначе «статистические характеристики» всей модели будут свидетельствовать о чересчур сильной подгонке к фактическим значениям в ущерб качеству результатов, получаемых с ее помощью.

Учитывая отсутствие достаточно длинных рядов данных по затратам соответствующих секторов нашей модели на знания, обучение и инновационную продукцию, параметры используемых производственных функций оценивали описываемым выше методом. После расчета вклада соответствующего фактора каждый параметр был незначительно подкорректирован с целью лучшей аппроксимации интегрального показателя модели — ВВП. Окончательное значение каждого параметра приведено в табл. 1.

После этого была произведена более точная калибровка модели за счет изменения долей бюджета. В модели рассматриваются доли бюджета для каждого агента-производителя, идущие по следующим основным направлениям: 1) оплата рабочей силы; 2) оплата услуг по предоставлению знаний; 3) оплата образовательных услуг; 4) покупка инновационных товаров; 5) затраты на инвестиции; 6) уплата налогов. При этом основными калибруемыми параметрами были доли бюджетов, идущие на оплату рабочей силы. На рис. 2 представлены их изменения для каждого агента-производителя, а также целевой показатель — ВВП России в ценах 2000 г. Как видно из рисунка, кривые имеют независимый характер и в этой связи нельзя говорить о сильной подгонке модели. Естественно, что параметров для точной калибровки было больше, но для экономии места были приведены только основные.

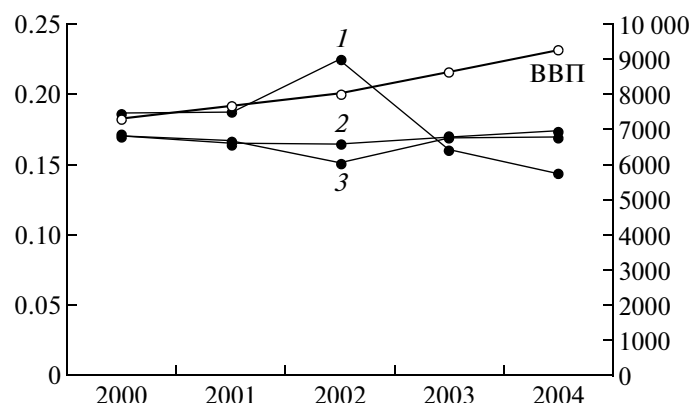


Рис. 2. Основные калибруемые параметры модели (для трех агентов производителей) и ВВП России в ценах базового периода (2000 г.).

6. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Как правило, при проведении вычислительных экспериментов с CGE-моделями меняют один (или несколько) экзогенный параметр и запускают модель на пересчет.

Пересчет уравнений модели происходит до совпадения совокупного спроса и предложения на рынке каждого товара и услуги, рассматриваемых в модели, посредством итерационного процесса с помощью соответствующих прикладных пакетов. Сходимость модели достигается примерно на 10000 шаге итераций (хотя это, безусловно, зависит от конкретной модели).

На рис. 3 изображен итерационный процесс сходимости к равновесному состоянию. Как уже говорилось выше, на каждой итерации происходит корректировка долей бюджета экономических агентов (в случае государственной цены) или изменение цены (в случае рыночного или теневоего механизма уравнивания спроса и предложения).

Более подробно процесс вычислений выглядит следующим образом. Допустим, что была изменена доля бюджета агента-производителя, идущая на покупку какого-либо фактора производства. Что дальше? При пересчете модели, т.е. на следующей итерации, меняется спрос агента на данный вид фактора производства. Соответственно нарушается баланс спроса и предложения на этом рынке, в результате чего получается новая равновесная цена. Одновременно с этим меняется бюджет агента, поскольку теперь изменилась сумма потраченных средств на покупку фактора производства и, как следствие, в следующий момент времени он стал располагать большими (или меньшими) средствами для покупки всего остального. Соответственно возникает дисбаланс на других товарных рынках. Однако это далеко не все, поскольку изменившаяся ситуация на рынках затрагивает других участников экономической системы и приводит к пересмотру их

Таблица 1. Параметры производственных функций трех агентов-производителей

Параметры	Экономические агенты		
	1	2	3
A_i^r	1.21	1.39	1.11
A_i^k	0.367	0.753	0.642
A_i^l	0.732	0.271	0.435
α_i	7.22E-03	7.51E-03	1.88E-03
β_i	1.25E-02	1.51E-02	3.77E-03
γ_i	9.83E-03	1.10E-02	2.75E-03

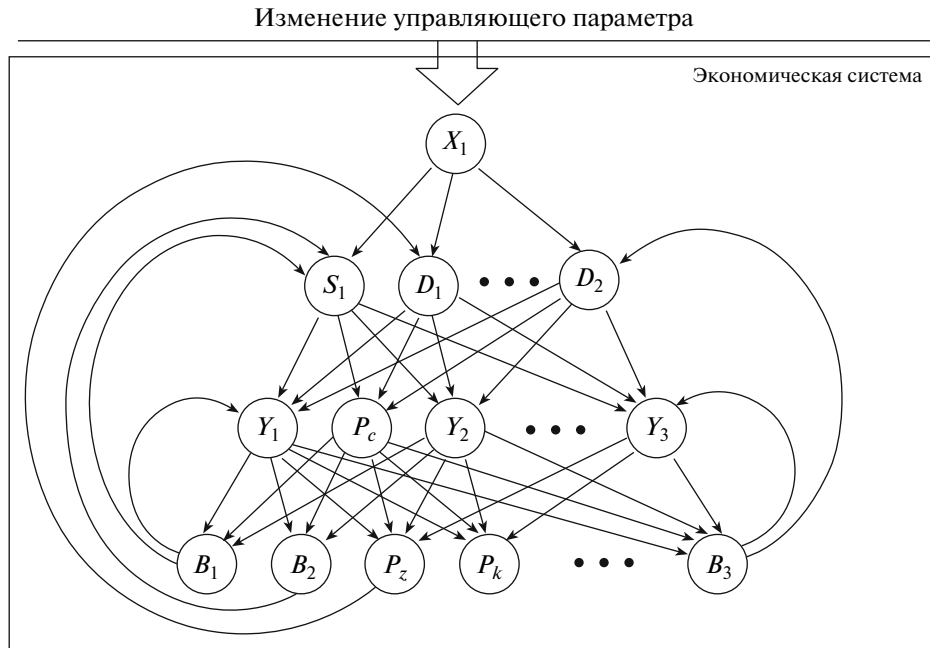


Рис. 3. Последовательность изменения эндогенных параметров модели (концептуальный взгляд) и обратная рекурсия.

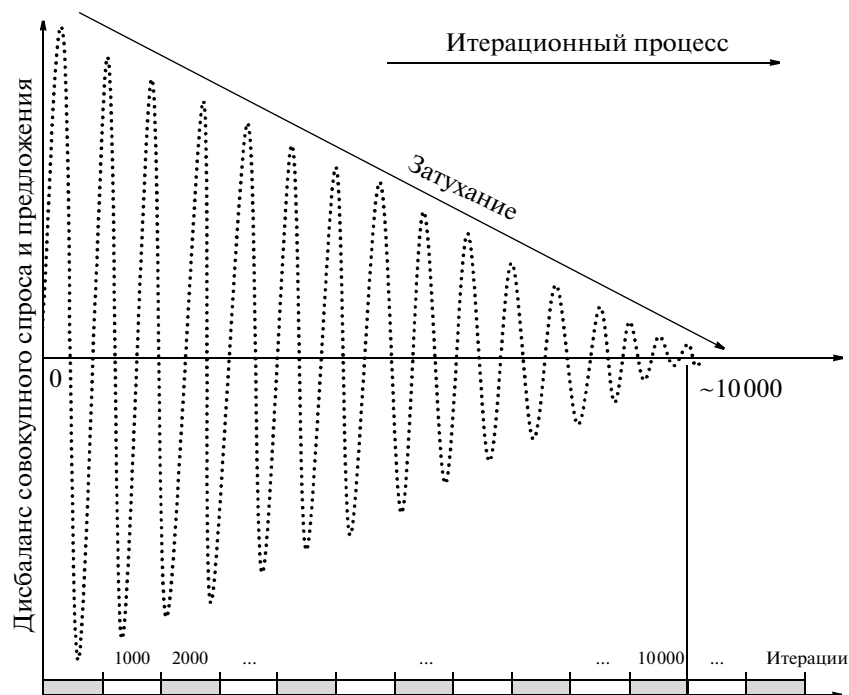


Рис. 4. Процесс затухающих флуктуаций при пересчете моделей.

поведенческой стратегии. Таким образом, возникает дерево изменений всех эндогенных параметров модели (рис. 3) с обратной рекурсией.

Другим важным аспектом проведения экспериментов является то, насколько сильно был изменен экзогенный параметр (или параметры) модели, т.е. насколько сильный шок испытала экономическая система.

Таблица 2. Основные макроэкономические показатели России (2000–2004 гг. — откалиброванный период, 2005 г. — проверяемый период)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
ВВП России в ценах базового периода (2000 г.)						
Расчетные показатели	7305.6	7677.6	8041.8	8632.7	9249.4	9909.2
Фактические показатели	7305.6	7677.6	8041.8	8632.7	9249.4	9841.4
Индекс потребительских цен, в % к предыдущему году						
Расчетные показатели	20.2	18.6	15.1	12	11.7	11.2
Фактические показатели	20.2	18.6	15.1	12	11.7	10.9

Это обстоятельство можно проиллюстрировать следующим образом (рис. 4). Чем сильнее вмешательство извне, тем больший дисбаланс вносится в начальный момент времени на рассматриваемые в модели рынки и тем дольше будет происходить поиск равновесия. Вообще говоря, процесс поиска можно ускорить, изменяя значения *константы итераций* и *индикатора дефицитности*. При уменьшении константы итераций сходимость достигается быстрее, однако при этом возникает опасность ухода цены в отрицательную область (особенно в случае значительно-го изменения экзогенного параметра).

Как видно из рис. 4, поиск баланса между скоростью расчетов и их безопасностью (в плане недопустимости ухода цен в область отрицательных значений) также имеет большое значение.

7. АДЕКВАТНОСТЬ МОДЕЛИ – РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ПРОГНОЗ

Перед проведением вычислительных экспериментов необходимо проверить адекватность модели с целью выявления ее способности давать точные прогнозные значения.

Модель была откалибрована на период с 2000 по 2004 г. При этом известны фактические значения интегральных показателей модели (ВВП и индекса потребительских цен) за 2005 г. Для проверки адекватности модели значения всех экзогенных показателей модели продлили на проверяемый период. При этом их калибровка не проводилась. Таким образом, после расчета эндогенных переменных можно посмотреть отклонение данных, полученных в результате расчетов, от фактических значений.

В табл. 2 представлены расчетные и фактические значения для ВВП и индекса потребительских цен России. Данные показывают, что за проверяемый период расчетные значения незначительно отклонились от фактических, что дает основания предполагать получение относительно достоверных оценок на весь рассматриваемый период (до 2015 г.).

8. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Как уже говорилось во введении, с помощью разработанной модели мы хотим количественно оценить эффективность финансовых вложений в инновационную составляющую российской экономики, а также в сектор науки и образования.

Под финансовыми вложениями в упомянутые сектора нами понимаются:

- а) затраты на технологические инновации предприятий из средств федерального бюджета и бюджетов субъектов Федерации;
- б) финансирование науки и образования из средств федерального бюджета.

Предполагается проведение четырех блоков расчетов:

- 1) увеличение упомянутых выше вложений в 2 раза;
- 2) вложение такого же объема средств в прочие отрасли экономики страны (т.е. увеличение объема субсидий реальному сектору);
- 3) вложения обозначенных средств непосредственно в основные фонды первых двух секторов;
- 4) вложения средств в основные фонды прочих отраслей экономики.

Если первые два блока подразумевают расходование поступивших средств согласно существующей структуре (на заработную плату, промежуточную продукцию, инвестиции, уплату на-

Таблица 3. Результаты первого и второго блоков расчетов: индекс ВВП России в сопоставимых ценах (2007 = 100%)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Вложения в отрасли новой экономики								
После вложений	106.66	112.89	123.10	132.17	141.81	152.03	163.13	175.13
Базовый вариант	106.69	114.03	121.97	130.37	139.50	149.15	159.50	170.60
Вложения в прочие отрасли экономики								
После вложений	106.71	114.80	122.81	131.40	140.75	150.63	161.32	172.82
Базовый вариант	106.69	114.03	121.97	130.37	139.50	149.15	159.50	170.60

Таблица 4. Результаты третьего и четвертого блоков расчетов: индекс ВВП России в сопоставимых ценах (2007 = 100%)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Вложения в отрасли новой экономики								
После вложений	107.20	115.60	124.82	134.70	145.48	156.93	169.35	182.71
Базовый вариант	106.69	114.03	121.97	130.37	139.50	149.15	159.50	170.60
Вложения в прочие отрасли экономики								
После вложений	106.80	114.49	123.71	133.16	143.98	156.28	168.86	180.89
Базовый вариант	106.69	114.03	121.97	130.37	139.50	149.15	159.50	170.60

логов и т.д.), то для последних двух блоков предполагается покупка готовых основных фондов, которые дадут эффект, начиная с первого года их эксплуатации.

Определим величины финансовых потоков. В 2006 г. затраты на технологические инновации предприятий из средств консолидированного бюджета России составили 7.54 млрд. руб., а расходы на науку из средств федерального бюджета — 97.363 млрд. руб., а расходы федерального бюджета на высшее профессиональное образование — 155.091 млрд. руб.

Пролонгированные значения этих величин в 2008 г. составили примерно 9.67 млрд. руб., 130.4 млрд. руб. и 232.21 млрд. руб., соответственно. Таким образом, общий объем дополнительно инвестируемых средств по четырем описанным выше схемам составляет примерно 372.52 млрд. руб. или 15.85 млрд. долл. (по курсу 23.5 руб. за 1 долл.).

Вложения обозначенного объема средств (в рамках модели) будет осуществляться ежегодно с 2008 по 2015 г. После проведения экспериментов станет ясно, в какую сферу экономики вложения являются более прибыльными в долгосрочном периоде.

Полученные нами результаты первых двух блоков расчетов представлены в табл. 3, где базовый вариант предполагает инерционное развитие экономики без каких-либо дополнительных финансовых вложений.

Для большей наглядности приведем полученные результаты в виде графика, отражающего прирост (снижение) ВВП России относительно базового варианта развития экономики (рис. 5). Как видно из графиков, в долгосрочном периоде (2015 г.) вложения в экономику знаний приводят к дополнительному приросту ВВП почти на 5% к 2007 г. (по сравнению с базовым вариантом развития экономики). Следует отметить, что вложения в эти сектора являются более эффективными, нежели субсидирование прочих отраслей экономики, хотя первые два экспериментальных года (2008—2009 гг.) демонстрируют некоторое снижение темпов прироста ВВП (даже по сравнению с инерционным вариантом развития).

Как уже говорилось, последние два блока расчетов предполагают вложения того же объема средств непосредственно в основные фонды, которые дадут эффект, начиная с первого года их эксплуатации. Полученные нами результаты представлены в табл. 4, а также для большей наглядности в виде графика (рис. 6).

Как видно из расчетов, в этом случае вложения средств в сектора новой экономики являются также более эффективными по сравнению с финансированием прочих отраслей экономики. Следует отметить, что вложения средств непосредственно в основные фонды дают более весо-



Рис. 5. Прирост (снижение) ВВП России относительно базового варианта развития экономики, в %.

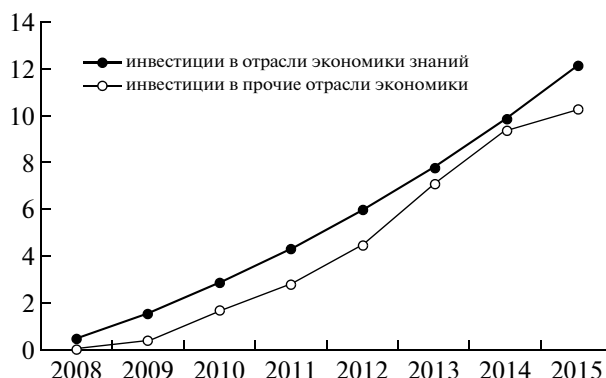


Рис. 6. Прирост ВВП России относительно базового варианта развития экономики, в %.

мый эффект с позиции увеличения темпов роста ВВП. В отличие от предыдущих расчетов в два первых экспериментальных года снижения темпов роста не происходит.

Может показаться, что эффект от государственных инвестиций не так значим, как хотелось бы. Но развитие высокотехнологичных отраслей может и не дать быстрой отдачи (хотя к 2015 г. мы получили бы 5% дополнительного прироста ВВП по сравнению с базовым вариантом развития). Главное — поддержать пока еще имеющийся в стране мощный научно-технический потенциал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бахтизин А.Р. (2003): Вычислимая модель “Россия: Центр — Федеральные округа”. Препринт #WP/2003/151. М.: ЦЭМИ РАН.
- Бахтизина Н.В. (2003): CGE модель конкурирующих партий России. Материалы IV всероссийского симпозиума “Стратегическое планирование и развитие предприятий”. М.: ЦЭМИ РАН.
- Бекларян Г.Л. (2002): Анализ эффективности экономической политики России с помощью вычислимой модели общего равновесия, описывающей взаимодействие совокупного потребителя, совокупного производителя и государства. Препринт # WP/2002/143. М.: ЦЭМИ РАН.
- Бесстремная Г.Е., Бахтизин А.Р. (2004): Вычислимая модель “Социальная Россия”. Препринт #WP/2004/173. М.: ЦЭМИ РАН.
- Варшавский А.Е. (1984): Научно-технический прогресс в моделях экономического развития. М.: Фин. и стат.
- Варшавский А.Е. (2003): Развитие экономики знаний и необходимость обеспечения преемственности в экономической науке России. В сб. “Прогнозирование темпов и факторов экономического роста” (составитель Суворов А.В.). М.: МАКС Пресс.
- Дежина И.Г. (2001): Обеспечение эффективных механизмов осуществления инновационной деятельности в российской экономике. М.: ИЭПП.
- Макаров В.Л. (1999): Вычислимая модель российской экономики (RUSEC). Препринт # WP/99/069. М.: ЦЭМИ РАН.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. (2001): Эффективный способ оценки государственной политики // *Экономика и управление*. № 4.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бахтизина Н.В. (2005): CGE модель социально-экономической системы России со встроенными нейронными сетями. М.: ЦЭМИ РАН.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бахтизина Н.В. (2007): CGE модель экономики знаний. Препринт #WP/2007/223. М.: ЦЭМИ РАН.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сулакшин С.С. (2007): Применение вычислимых моделей в государственном управлении. М.: Научный эксперт.
- Alekseev A., Tourdyeva N., Yudaeva K. (2003): Estimation of the Russia Trade Policy with the Help of the Computable General Equilibrium Model. CEFIR Academic papers.
- Jones C. (1998): Introduction to Economic Growth. N.Y.: W.W. Norton & Company.
- Romer P. (1990): Endogenous Technological Change // *J. of Polit. Econ.* October.