

ЭКОМОД – ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭКОНОМИКИ¹

А. А. Петров, И. Г. Поспелов, Л. Я. Поспелова, М. А. Хохлов (Москва)

1. Особенности моделирования сложных систем

В течение последних 25 лет в отделе «Математическое моделирование экономических систем» ВЦ РАН под руководством академика РАН А. А. Петрова в рамках научного направления **Системный анализ развивающейся экономики** разработаны модели советской и российской экономики, учитывающие особенности фактически складывающихся экономических отношений и институтов. Модели позволяют дать системно согласованные качественные и количественные оценки состояния экономики, в том числе тех показателей, которые не наблюдаются экономической статистикой; проводить сценарные расчеты для оценки последствий реализации тех или иных вариантов макроэкономической политики [1–3]. Они использовались для анализа эволюции структуры советской и российской экономики, а результаты их исследования составили целую **летопись** экономической истории нашей страны в последние два десятилетия [4, 8].

Получилась последовательность моделей, каждая из которых описывает особенности одного из сменявших друг друга этапов развития экономики России. И это – в рамках одной исследовательской группы, основывавшейся на единой методологии и изучавшей экономику одной страны. Что же говорить о результатах разных исследователей, работающих в разных странах и приверженных разным теоретическим концепциям? Например, в рамках авторитетной экономической теории Дж. Кейнса построены тысячи, если не десятки тысяч математических моделей, оперирующих различными величинами и описывающих различные аспекты экономики с разных позиций.

Создание новой модели – процесс трудоемкий. Он требует около года усилий целого коллектива квалифицированных специалистов. Но главное даже не это. Новая система отношений требует новых переменных для своего описания, кроме того, у самих исследователей возникают новые идеи относительно методов описания. В результате система моделей оказывается практически лишенной преемственности. Модели, составившие нашу летопись, трудно сопоставить друг с другом, подобно тому, как несопоставимы модели, созданные разными исследовательскими группами.

Во всех областях, где исследователи сталкиваются со **сложными системами**, способными к саморазвитию (такими, как живой организм; биосфера; Земля в целом; человеческое общество и его подсистемы: технология, экономика, язык), наблюдается сходная картина. Имеется много моделей, не выводящихся как частный случай из какой бы то ни было универсальной «супермодели». Частные модели описывают, по сути, разные ракурсы исследуемой системы. Они оперируют разными наборами понятий и пренебрегают отнюдь не малыми отклонениями от учтенных в них закономерностей.

Надо отдавать себе отчет в том, что исследование сложных систем выводит нас за пределы применимости *эмпирического метода*, который обеспечил триумф естественных наук в последние 300 лет. Автору представляется, что именно эта трудность стала в значительной степени причиной того, что, несмотря на колоссальные усилия, затраченные в течение последних 50 лет, успехи науки в описании общественных и биологических процессов оказались значительно более скромными, чем успехи в опи-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (коды проектов 04-01-00600, 04-01-00606) и программы фундаментальных исследований ОМН РАН № 3.

сании неживой природы¹, Это, в свою очередь стало одной из причин падения престижа науки в конце XX в., а также одной из причин отказа от рационального планирования общественного развития.

Впрочем, как показывает наш опыт, моделирование может достаточно много сказать о сложной системе. Хорошая модель не только описывает поведение системы при сложившейся структуре отношений, но содержит описание границ собственной применимости и границ стабильности описываемой структуры. Следует также заметить, что эти модели не только объясняют эмпирические данные, но и заменяют невозможный для сложных систем полноценный эксперимент.

Надо только примириться с тем, что, во-первых, из имеющихся моделей сложной системы нельзя сложить одну, такую же полную и надежную как, например, компьютерные имитаторы технических систем, которые в настоящее время в значительной степени заменяют натурные эксперименты. Во-вторых, вряд ли когда-нибудь мы сможем предсказать, какая структура возникнет в сложной системе, когда предыдущая потеряет стабильность. Эволюция – это сотворение мира, т. е. процесс сугубо творческий.

Систему моделей сложной системы нужно, видимо, рассматривать как математическую *категорию*. Понятия теории выступают здесь не как собрания частных случаев, а как *морфизмы*, отображающие одну частную модель в других [5].

2. Каноническая форма модели

Необходимость систематически пересматривать модели вызывает потребность в инструменте, который бы проверял новые модели², а также позволял корректно заимствовать использованные ранее в другом контексте описания отдельных процессов. Такого рода проверка, разумеется, невозможна, если модель представлена просто системой абстрактных математических соотношений (или программных модулей). Однако модель – это не просто система уравнений. Уравнения и соотношения модели имеют определенный смысл, группируются в естественные блоки. Все это – информация о модели, не содержащаяся в системе ее соотношений, и именно эту информацию необходимо использовать, чтобы судить о правильности модели [6].

Обычно такого рода информацию используют, опираясь просто на термины – названия уравнений и переменных. Однако в данном случае это не удастся сделать из-за указанной выше «текучести» понятий, описывающих сложную систему, и это не предубеждение, а вывод из горького опыта первых попыток создать систему поддержки математического моделирования экономики.

Поэтому вместо классификации понятий пришлось выявить формальную структуру модели системного анализа развивающейся экономики. Мы назвали ее *канонической формой* модели [6, 7]. Модель в канонической форме представляет собой систему неравенств, уравнений (конечных или динамических), а также, возможно, локальных оптимизационных задач, разделенную на *блоки* двух типов: блоки описания **поведения** экономических агентов – **ЭА** и блоки описания **взаимодействий** экономических агентов – **ВД**.

Состояние агента задается *запасами* (количествами) материальных и финансовых активов и обязательств, находящимися в его распоряжении. Запасы изменяются вследствие производства и потребления благ, а также вследствие обменов между агентами [8].

¹ Хотя интеллектуальные и материальные ресурсы, направленные, например, на прогнозирование финансовых рынков, во много раз превосходят ресурсы, потребовавшиеся для создания атомной бомбы.

² Поскольку модель «живет» недолго, велика вероятность не заметить простую опisku в уравнениях или программах.

При обменах и передачах между агентами материальных благ, денег, финансовых обязательств выполняется простое, но важное свойство аддитивности: сколько один агент отдал, столько другой получил. В результате уравнения, описывающие изменение запасов данного блага или финансового актива у разных агентов, образуют систему **балансов**, связывающую описание действий различных агентов в единое целое. В канонической форме мы требуем указывать явно, какие из уравнений следует считать балансовыми.

Поведение агента описывается, как *выбор* значений переменных модели, относящихся к «компетенции» этого агента. Мы называем такие переменные **планируемыми переменными** агента. Как правило, планируемые переменные представляют собой материальные и финансовые *потоки*, отвечающие процессам производства, потребления и обмена. Выбор агента может быть описан как явными правилами, так и принципами оптимальности. В последнем случае значения переменных агента определяются как точка максимума некоторой *функции цели* (прибыли, полезности и т. п.).

Выбор агента стеснен *ограничениями* (равенствами или неравенствами) двух типов: *внутренними* и *внешними*. **Внутренние** ограничения связывают между собой только планируемые переменные агента. Часто это – технологические ограничения, такие, как, например: «выпуск продукта не может быть больше производственной мощности». (Разумеется, в модели это ограничение записывается не словами, а формулой). Технологические ограничения естественно связываются с *балансами* материальных благ, поскольку описывают *источники* и *стоки* этих благ.

Более важны и интересны **внешние (институциональные)** ограничения, типичным примером которых служит бюджетное ограничение: «стоимость покупки в рыночных ценах не превосходит суммы затраченных денег». Кроме планируемых агентом величин объемов покупок и денежных затрат, в бюджетное ограничение входят величины цен, агенту не подконтрольные. Таким образом, цены влияют на выбор агента.

Неподконтрольные агенту переменные в ограничениях и/или в функции цели этого агента называются **информационными переменными**. Выбор агента, описанный в соответствующем блоке, оказывается функцией информационных переменных. Фактически это не окончательный выбор, а план вида: «если цены будут такими-то, я куплю или продам столько-то». В экономике такие условные планы агентов называются функциями спроса или предложения.

Значения информационных переменных определяются в блоках, описывающих взаимодействия агентов. В процессе **взаимодействия** агенты согласовывают свои планы. Согласование планов необходимо для выполнения *балансов*. Это согласование происходит за счет фиксации подходящих значений *информационных переменных*.

Агент может участвовать в нескольких взаимодействиях. Так, домашнее хозяйство выступает покупателем на рынке продуктов, продавцом на рынке труда и кредитором на рынке депозитов. Соответственно, внутренние ограничения разбиваются на непересекающиеся подгруппы, в каждой из которых фигурируют планируемые и информационные переменные, существенные только для одного взаимодействия. Эти группы мы называем **ролями** агента (роль продавца, роль покупателя, роль кредитора).

Типичным примером взаимодействия является конкурентный рынок, на котором спрос (план покупателя) и предложение (план продавца) выравниваются за счет установления цены (информационной переменной). Однако каноническая форма допускает и другие виды взаимодействия. Например, монопольный рынок, где цена является планируемой переменной монополиста, неравновесные рынки, где спрос и предложение выравниваются лишь в среднем, или планы одной из сторон систематически не выполняются. К взаимодействиям относятся и односторонние передачи активов в связи с от-

ношениями собственности (дивиденды), власти (налоги), социальной ответственности (пособия). В каноническую форму укладывается, например, модель плановой экономики [2]. В качестве информационных переменных в этой модели выступают не цены, а планы, и еще – уровни дефицитности и качества продукции.

Перечисленные выше структурно-классификационные характеристики: разбиение соотношений на блоки, описывающие агентов и взаимодействия; разделение переменных на планируемые и информационные; выделение внутри блоков модели балансовых уравнений и групп ролевых ограничений, каждая из которых связана с определенным взаимодействием, – все это представляет собой информацию о модели, не содержащуюся в системе ее математических соотношений.

Каноническая форма – это строго определенный формальный объект. Допустимый синтаксис соотношений и заголовков групп описан в нотации Бэкуса-Наура, а возможные способы размещения групп соотношений и наименования переменных задаются системой аксиом [7]. Доказана в некотором смысле единственность представления модели в канонической форме [9].

Хотя в канонической форме можно записать многие известные модели экономики, это форма не абсолютно универсальна. Существуют эконометрические модели, которые, с одной стороны, игнорируют балансовые соотношения, но с другой – учитывают такие эмпирические корреляции между экономическими показателями, которые невозможно интерпретировать как результат взаимодействия каких бы то ни было экономических агентов. Формально описание такой модели в системе ЭКОМОД будет состоять из единственного блока ЭА. Каноническая форма также мало пригодна для записи микроэкономических моделей.

Это означает, что каноническая форма отражает некоторые содержательные свойства моделей, что и позволяет контролировать внутреннюю семантическую согласованность модели. Подчеркнем, что свойства модели, отраженные в канонической форме, являются чисто структурными. Они не связаны с содержательной интерпретацией (названиями) переменных и соотношений. Заметим еще, что наличие информационных переменных, определяемых взаимодействиями, а не агентами, выводит каноническую форму за пределы класса моделей конфликта и компромисса субъектов, рассматриваемых в теории игр.

3. Система поддержки математического моделирования экономики ЭКОМОД

Для работы с моделями в канонической форме была создана инструментальная система ЭКОМОД, которая сейчас находится в опытной эксплуатации [10]. Система ЭКОМОД надежно поддерживает все этапы работы с моделью: от написания соотношений до расчетов и анализа результатов. Структурно-классификационные характеристики канонической формы задаются в системе ЭКОМОД либо специальным способом обозначения переменных, либо особыми записями в заголовках групп соотношений. Записи соотношений и заголовки групп могут перемежаться многострочными текстовыми комментариями, не выделенными никакими специальными знаками. Поэтому модель, представленная в системе ЭКОМОД, внешне выглядит почти как обычная статья или отчет, подробно описывающий модель по блокам.

Система ЭКОМОД содержит 6 уровней контроля правильности записи модели в канонической форме. Контроль 1–5 уровней проводится строго формализованно путем проверки выполнения аксиом построения канонической формы.

1. **Синтаксический контроль** – выполнение обычных правил написания математических выражений: соответствие скобок, наличие операндов у бинарных операций и отношений, постоянство числа аргументов у функций и т. п.

2. **Контроль балансов.** Уравнение, объявленное балансовым, должно иметь вид:

Скорость изменения запаса = алгебраическая сумма потоков.

Такое уравнение можно написать и для материальных запасов, и для запасов финансовых инструментов. Потоки описывают возникновение или исчезновение данного блага в экономической системе вследствие процессов производства и потребления (*источники* и *стоки*), а также *передачи* блага или актива от одного агента к другому. Согласно упомянутому выше свойству аддитивности поток, описывающий передачу блага, должен встретиться еще в одном и только одном балансовом уравнении, причем с противоположным знаком.

Подсистема балансовых уравнений, связанных потоками передач, описывает движение некоторого *актива*. Графический образ этой подсистемы уравнений образует обычную потоковую схему, которой традиционно сопровождается описание моделей экономики. Благодаря выделению балансовых уравнений система ЭКОМОД строит такие потоковые схемы автоматически.

Следует отметить, что, несмотря на свою простоту, контроль балансов показал удивительную эффективность. Ведь написать вручную без ошибок балансы уже, скажем, пяти активов для трех агентов почти невозможно. А проявляются эти ошибки, к сожалению, только на этапе расчетов всей модели.

3. **Контроль размерности** основан на простом соображении, что складывать или сравнивать величины разных размерностей, (например, вес и стоимость) бессмысленно, поскольку результат существенно зависит от произвольно выбранных единиц измерения (граммы или тонны, рубли или копейки). С более общей математической точки зрения правильная размерность системы соотношений означает ее инвариантность относительно некоторой группы преобразований подобия [7].

В прикладных системах контроль размерности, по причинам, нам не вполне понятным, применяется довольно редко, а если и применяется, то сводится к требованию задавать для всех величин единицы измерения в некоторой фиксированной системе основных единиц. Мы не пошли по этому пути при построении канонической формы модели. Во-первых, задавать для каждой величины размерность очень утомительно. Во-вторых, в экономике, в отличие от физики, нет фиксированных основных независимых единиц измерения, кроме времени. Валовой внутренний продукт России может измеряться и в долларах, и в рублях 1990 г., и в рублях 1970 г., а коэффициенты пересчета этих единиц друг в друга могут вызывать большие споры. Наконец, разные модели социально-экономических систем оперируют существенно различными наборами переменных, иногда довольно необычных. Поэтому мы допускаем, что в каждой модели может быть свой набор независимых базовых единиц измерения.

В рамках канонической формы наиболее естественно задавать независимые размерности для активов, движение которых описывается балансовыми уравнениями, поскольку эти балансовые уравнения составляют «костяк» самых надежных соотношений модели. В канонической форме мы требуем указать для каждого актива его *название* и его *размерность*. Разные активы могут иметь одинаковую размерность (например, ссуды и наличные деньги), но запасы одного актива обязаны иметь одинаковую размерность. Размерность, как и название актива, указывается в заголовке каждого балансового уравнения.

Потоки активов имеют размерность актива, деленную на *время*. Размерности активов и времени образуют базовую систему размерностей модели. Размерности остальных

ных переменных и коэффициентов могут быть вычислены через базовые по простым правилам в силу соотношений модели. Если в процессе вычисления размерностей возникает противоречие – сложение или сравнение величин разных размерностей – система сигнализирует об ошибке.

Обычно ошибка размерности означает, что в каком-то соотношении был пропущен множитель. На практике контроль размерности оказался весьма мощным и эффективным методом поиска ошибок в уравнениях модели, и мы настоятельно рекомендуем использовать его в прикладных системах. Контроль балансов, который, грубо говоря, отыскивает пропущенные слагаемые, и контроль размерности, отыскивающий пропущенные множители, в совокупности позволяют исключить подавляющее большинство ошибок, обычно возникающих при записи уравнений.

4. Контроль информационных связей. Каноническая форма модели рассматривает агента как лицо, принимающее решения. Эти решения он принимает на основе определенной ограниченной информации. Например, один агент, как правило, не знает планов другого. Если мы хотим описать случай, когда он эти планы знает, то должны явно описать передачу информации, введя соответствующую информационную переменную. Контроль таких информационных ограничений осуществляется в системе ЭКОМОД благодаря специальному соглашению об индексации переменных.

5. Семантический контроль. Проводя по команде пользователя перечисленные выше проверки, система ЭКОМОД одновременно формирует оперативную базу данных о параметрах, переменных, функциях, балансах, активах и блоках модели. В эту базу также заносятся **названия переменных**, отражающие их содержательный смысл, а также **исходный вид и класс соотношений**. На основании собранной информации система строит блок-схему модели, на которой отображаются агенты и взаимодействия, связанные ролями, а также потоковые схемы движения активов.

Семантический контроль опирается уже не на формальную структуру модели, а на конкретную содержательную интерпретацию ее переменных и блоков.

6. Поддержка этапа аналитических преобразований и аналитического исследования модели. С самого начала особенностью нашего направления в моделировании экономики было то, что мы не спешили просто считать как-то написанную модель, а старались подвергнуть ее предварительному исследованию путем аналитических преобразований и изучения отдельных ее фрагментов и частных случаев. На основании результатов этих исследований модель зачастую подвергается многочисленным модификациям еще задолго до начала расчетов.

Такой подход обеспечивает большую надежность и более точную интерпретацию результатов последующих численных экспериментов, а также целенаправленность проведения этих экспериментов. Модель перестает быть «игрушкой», к работе которой надо просто привыкать, а приобретает объяснительную силу, присущую настоящей научной теории.

Однако, ввиду отсутствия стандартной системы базовых уравнений, этап аналитических исследований модели в традиционном исполнении сопряжен с большими техническими трудностями. Выкладки с незнакомой системой из более, чем 10 различных нелинейных уравнений, провести вручную без ошибок за разумное время практически невозможно. Тем более, невозможно повторить их после модификации модели. Возникает соблазн менять модели в процессе исследования, что обычно приводит к нарушению стройности исходных гипотез.

Эти трудности удается преодолеть в современных системах компьютерной алгебры, которые способны автоматически повторить длинный цикл выкладок при модификации системы. И здесь особенно полезной оказывается собранная содержательная информация о соотношениях и переменных, поскольку она позволяет обнаружить про-

исхождение преобразованного соотношения. Это средство настолько мощное и удобное, что встает вопрос о развитии особой алгебры «комментированных соотношений».

Разумеется, компьютерная система не может сама построить модель. Но она может хранить много «заготовок» и старых версий. Система может проверить, подходят ли старые блоки к новой модели. Соответствие одинаковых названий разным объектам в разных моделях реализует до известной степени упомянутую категориальную структуру системы моделей.

4. Новая технология построения модели

Последняя версия системы ЭКОМОД реализована в среде компьютерной алгебры Maple. Соединение средств контроля и хранения системы ЭКОМОД [10], возможностей среды Maple [11] и унификации описаний агентов на основании новой формализации понятия капитала [12]¹ открыло путь новой технологии моделирования экономики. Технология объединяет и автоматизирует следующие этапы разработки модели.

1. Блоки модели, описывающие поведение агентов, записываются в обычной математической нотации в среде Maple с соблюдением специальных требований выделения балансовых уравнений, институциональных и технологических ограничений. Уравнения затем **автоматически** упрощаются, так, чтобы привести их к «человеческому виду», но вся семантика исходной записи сохраняется. Если поведение агента в модели описывается унифицированной задачей максимизации капитализации, то для этой задачи автоматически записываются достаточные условия оптимальности, которые затем можно упростить с использованием специально приспособленных для этого случая процедур исключения переменных.

2. Блоки, описывающие агентов, собираются в единую систему, причем специальными процедурами **автоматического** переобозначения исключается возможность контаминации имен.

3. Описания поведения агентов дополняются описанием их взаимодействий, т.е. согласования их планов за счет фиксации подходящих значений информационных переменных. (Часто, но не всегда, это – выравнивание спроса и предложения за счет установления равновесных цен).

4. Проводится **автоматический** контроль системы балансов, причем автоматически выводятся вытекающие из балансов первые интегралы системы уравнений модели.

5. Система автоматически и вручную упрощается и исследуется аналитическими методами. Опыт показал, что в среде Maple при наличии специальных функций просмотра системы и исключения переменных можно эффективно работать с нерегулярными системами из 100–150 уравнений и неравенств. Существенно, что система помнит исходный вид соотношений, так, что после всех преобразований можно легко установить происхождение результирующих неравенств и при необходимости модифицировать модель. Важно, что в большинстве случаев после модификации можно повторить выкладки автоматически. Вычисленные размерность переменных позволяют автоматизировать поиск автомодельных решений.

6. В той же системе можно проводить численные эксперименты с моделью. Существенно, что расчет производится прямо по уравнениям без предварительного пере-

¹ В [12] показано, что принятые методы исчисления собственного капитала можно трактовать как огрубленные оценки величины одного из интегралов движения некоего поля экстремалей. Этот интеграл отвечает естественной для экономики группе масштабных симметрий, подобно тому, как инвариантности к сдвигам по времени поля экстремалей в механике отвечает интеграл энергии. При указанной трактовке капитала традиционное описание целей экономических агентов (максимизация прибыли, полезности и т. п.) можно задать единообразно как стремление к максимизации капитализации.

писывания их на язык программирования. Последний процесс не только очень трудоемок, но и чреват многочисленными трудно контролируемые ошибками.

5. Некоторые результаты

5.1. Принятые принципы модельного описания современной российской экономики

Описанная технология моделирования была успешно использована при разработке модели для оценки теневого оборота в российской экономике по заказу Агентства по налогам и сборам РФ. В этой модели развитие экономики описывается как результат взаимодействия 5 типов экономических агентов.

1. **Производители** (нефинансовые коммерческие организации).
2. **Банки** (финансовые коммерческие организации).
3. **Домашние хозяйства** (физические лица как потребители и трудящиеся).
4. **Собственники** (физические и юридические лица как управляющие движением капитала между секторами и за пределы страны).
5. **Государство** (некоммерческие организации).

Каждый агент действует в рамках, отведенных ему в системе функций, в своих собственных интересах, ориентируясь на текущие и ожидаемые в будущем значения параметров экономической конъюнктуры (цен, процентов курсов и т.п., а также параметров государственной экономической политики). Условия согласования действий агентов в рамках **системы материальных и финансовых балансов**, а также условия согласования их ожиданий определяют изменение параметров конъюнктуры (**модель равновесия рациональных ожиданий**). Это наиболее сложный из известных в настоящее время тип динамических моделей экономики. Использование столь трудного подхода оправдывается тем, что в моделях равновесия рациональных ожиданий агенты «очень умные». Если описанная в модели система институтов имеет какие-то лазейки для уклонения от налогов, модельные агенты используют их автоматически.

Описание поведения совокупности агентов каждого типа (кроме государства¹) формализуется как **решение задачи оптимального управления материальными и финансовыми потоками**. Формулировка этой задачи отражает специфику функций агента. Условия согласования поведения агентов формализуются как балансовые равенства и соотношения передачи информации. Для каждого рассматриваемого в модели материального актива или финансового инструмента балансовыми соотношениями описан весь круг его оборота.

Поведение государства описывается **сценариями государственной экономической политики**, выраженными через значения входных переменных и параметров модели.

Спецификой данной модели является учет **теневых оборотов**. Для этого деятельность производителей описывается в двух масштабах времени: краткосрочном и долгосрочном. Подчеркнем, что степень использования теневых схем расчета агенты в модели определяют сами, исходя из соизмерения своих рисков и выгод.

¹ Парадоксальным образом рациональное поведение проявляется в экономике только на уровне массивных групп однотипных субъектов, например, всей совокупности предприятий какой-то отрасли. Поведение же отдельных субъектов, будь то человек, предприятие или все органы власти в целом, в экономическом контексте выглядит весьма прихотливо. Рациональность коллективного поведения возникает из иррационального поведения индивидуумов под действием процессов конкуренции, специализации и подражания [13]. По этой причине принципы оптимальности удается эффективно применять только для описания групп субъектов (макроагентов) [3].

5.2. Общая характеристика модели и технология работы с ней

Строгое и полное описание канонической формы модели состоит из 92 нелинейных, разнородных равенств, неравенств и условий дополненности, связывающих 73 переменных и содержащих 34 постоянных параметра. Значительная и наиболее сложная часть из этих соотношений не писалась «вручную», а выводилась из условий оптимальности действий агентов. В результате некоторых упрощений и исключения промежуточных величин каноническая форма приводится к **краевой задаче** для системы из 11 конечных и 6 дифференциальных уравнений.

Поиск ограниченных решений такой задачи – нестандартная и нетривиальная вычислительная задача. Для ее решения был найден и реализован специальный алгоритм, включающий процедуры линеаризации, регуляризации и оптимизации. Существенно, что применяется этот алгоритм непосредственно к аналитической записи уравнений. Расчет модели ведется с шагом 1 квартал. Решение системы на современном ПК занимает от 5 до 30 минут.

Модель содержит 25 постоянных параметров. Из них 4 характеризуют технологический уровень экономики и достаточно надежно идентифицируются независимо от модели. Значения еще 6 параметров, характеризующих экономическую политику, можно взять из нормативных документов. Оставшиеся 15 параметров характеризуют сложившиеся экономические отношения. Значения этих параметров были определены в процессе идентификации модели так, чтобы правильно воспроизводить ход наиболее важных для данного проекта показателей развития экономики за 2000-2003 год (16 кварталов).

Результаты расчетов по модели значений трех наблюдаемых величин: **реального ВВП, темпа инфляции и объема кредитных вложений** за 16 кварталов (2000–2003 гг.) показаны на рис. 1–3 в сопоставлении с соответствующими статистическими данными (показаны точками). При оценке качества воспроизведения статистики следует учесть, что объем кредитов рос в этом периоде существенно быстрее, чем номинальный ВВП. Видно также, что модель воспроизводит (хотя и не объясняет полностью) характерные для Российской экономики довольно загадочные внутригодовые колебания экономической конъюнктуры¹. На рис. 4 показаны модельные оценки **доли теневого оборота** в ВВП (около 25%) и в фонде заработной платы (около 40%) за тот же период. На будущее модель прогнозирует постепенное затухание экономического роста при сохранении достаточно высокой инфляции и усиления колебаний.

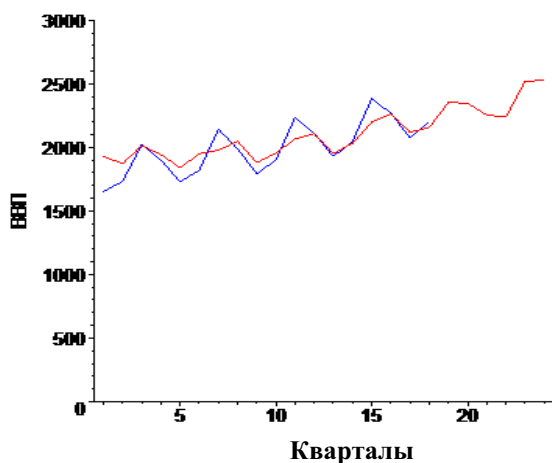


Рис. 1

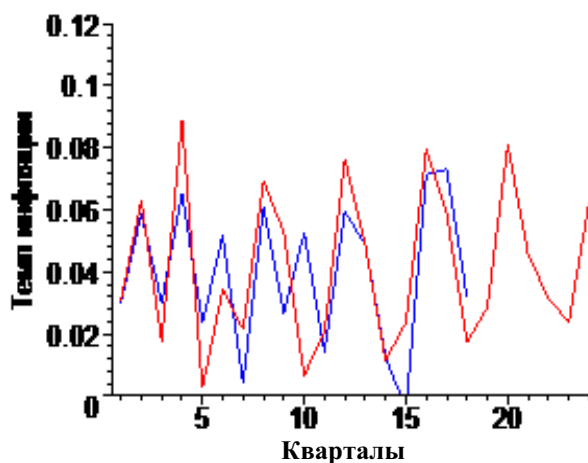


Рис. 2

¹ Обычно их называют сезонными и просто сглаживают, но фактически их период не равен году.

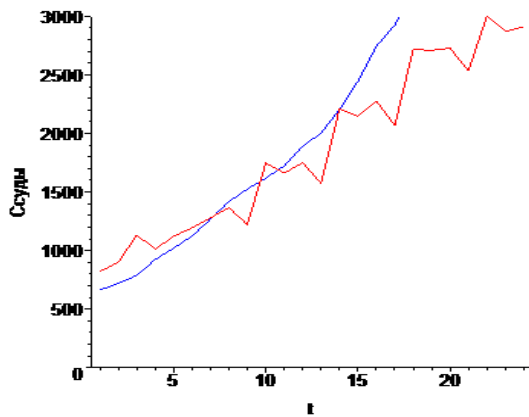


Рис. 3

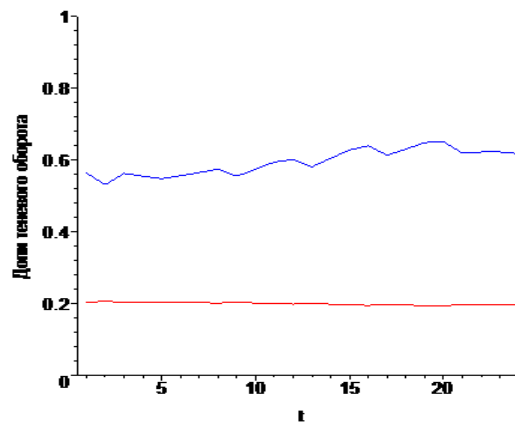


Рис. 4

Модель предназначена для аналитических и прогнозных расчетов. Для изменения входных данных и наблюдения результатов можно использовать Excel. Модель полностью открыта. От формулировки начальных предположений и до расчета она записывается в обычной математической нотации с произвольными текстовыми комментариями и выглядит как научный отчет с большим количеством формул. Полное описание модели вместе с описаниями ее теоретической базы, технологии разработки и результатов анализа будет опубликовано в монографии, которая выйдет в издательстве ВЦ РАН в начале 2006 г.

Литература

1. **Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А.** Опыт математического моделирования экономики. –М.: Энергоатомиздат, 1996.
2. **Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А.** От Госплана к неэффективному рынку: Математический анализ эволюции российских экономических структур. The Edwin Mellen Press. Lewiston, NY, USA.
3. **Петров А.А.** Об экономике языком математики. –М.:ФАЗИС,2003. –112 с.
4. **Петров А.А., Поспелов И.Г.** Модельная «летопись» российских экономических реформ.
5. **Шаров А.А., Шрейдер Ю.А.** Системы и модели. –М.: Радио и связь, 1982. –234 с.
6. **Комаров С.И., Петров А.А., Поспелов И.Г., Поспелова Л.Я.** Представление знаний, содержащихся в математических моделях экономики//Теория и системы управления. 1995. № 5.
7. **Завриев Н.К., Поспелов И.Г., Поспелова Л.Я., Чуканов С.В.** Развитие системы поддержки математического моделирования экономики ЭКОМОД. Сообщения по прикладной математике. М.: ВЦ РАН, 1999.
8. **Поспелов И.Г.** Моделирование экономических структур. – М.:ФАЗИС, 2003. –214 с.
9. **Завриев Н.К., Поспелов И.Г., Поспелова Л.Я.** Исследование математических моделей средствами инструментальной системы ЭКОМОД//Математическое моделирование. 2003. –Т. 15. –№ 8. –С. 57–74.
10. **Завриев Н.К., Поспелов И.Г., Поспелова Л.Я., Хохлов М.А.** Уроки эксплуатации системы ЭКОМОД и новые перспективы. М.: ВЦ РАН, 2004. –72 с.
11. Maple 9 Learning Guide, Maplesoft, Waterloo Maple Inc., Canada, 2003, лицензия № 920523203.
12. **Поспелов И.Г.** Модели экономической динамики, основанные на равновесии прогнозов экономических агентов. –М.: ВЦ РАН. –2003. –200 с.
13. **Поспелов И.Г.** Вариационный принцип в описании экономического поведения//Математическое моделирование. Процессы в сложных экономических и экологических системах. – М.: Наука, 1986.