

С КАФЕДРЫ
ПРЕЗИДИУМА РАН

Авторы публикуемой ниже статьи излагают общую структуру математических моделей экономических систем, применяемых для изучения национальных и региональных экономик. В работе также приведён обзор результатов, полученных после 1997 г., чтобы показать, как модели использовались на разных этапах реформирования экономики России. Статья подготовлена на основе доклада, представленного Президиуму РАН.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭКОНОМИКИ РОССИИ

А. А. Петров, И. Г. Поспелов

Более 30 лет назад в Отделе математического моделирования экономических систем ВЦ РАН возникло направление, названное Системный анализ развивающейся экономики. Предмет исследований – национальная экономика, или экономика региона. Цель – модели, отражающие внутренние механизмы развития экономики и влияние на них макроэкономической политики. С 1986 г. модели используются для анализа состояния экономики и оценки последствий макроэкономической политики, прогноза реализуемости предлагавшихся экономических реформ по макроэкономическим показателям, характеризующим их последствия [1].

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ ЭКОНОМИКИ

Начнём с изложения нашего подхода к моделированию целостной экономической системы, каковой является экономика страны, и с пред-

ставления общей структуры модели экономики. Сразу же оговоримся: мы не берёмся предлагать экономические концепции или проекты реформирования экономики, мы занимаемся разработкой моделей и методов, с помощью которых становится понятным состояние экономики в данное время и к чему может привести осуществление предлагаемой концепции.

Наши модели явным образом отражают сложившиеся внутренние механизмы развития экономики как целого. Опосредованно, через эти механизмы экономика реагирует на макроэкономические воздействия государства. Взяв за основу какую-либо концепцию, мы строим модель, которая отражает реальные экономические отношения и “наложение” на них положений концепции. Затем используем её для оценки последствий реализации концепции и выявляем побочные последствия.

Основное понятие макромоделли – экономический агент – макроэкономическая структура, объединяющая однотипные субъекты экономики. Ей можно приписать определённую функцию в изучаемой экономике, поэтому принято говорить об “информированности”, “поведении”, “взаимодействиях” экономических агентов. В зависимости от задачи исследования составляется список экономических агентов. Состояние каждого из них задаётся наборами материальных активов (запасы ресурсов, производственного капитала) и финансовых инструментов (запасы денег, объёмы выданных и взятых ссуд). Переменные состояния агентов задают состояние экономики.

Переменные состояния изменяются в силу уравнений материальных и финансовых балансов. Уравнения материальных балансов описывают изменение запасов ресурсов вследствие производства, потребления и обмена между агентами. Материальные запасы измеряются их стоимостью в неизменных ценах. Уравнения финансовых балансов описывают изменение запасов денег вследствие платежей за полученные и отдан-

Авторы работают в Вычислительном центре им. А.А. Дородницына РАН. ПЕТРОВ Александр Александрович – академик, заведующий Отделом математического моделирования экономических систем. ПОСПЕЛОВ Игорь Гермогенович – член-корреспондент РАН, заведующий сектором “Математическое моделирование экономических структур”.

ные в обмен ресурсы; переводов, связанных с выплатами дивидендов, налогов, пенсий, дотаций; операций заимствования и т.д.

Система уравнений балансов не замкнута. Правые части содержат переменные, выражающие действия экономических агентов: производство, потребление, обмены, заимствования. Замыкается система уравнений описаниями поведения и взаимодействий экономических агентов. Качество модели напрямую зависит от того, насколько адекватно отражаются реальные экономические отношения. Описания строятся на основе гипотез, которые возникают как результат системного анализа социально-экономических структур, сложившихся в стране или регионе в данный период времени. Поведение и взаимодействия агентов моделируют механизмы регулирования производства, распределения и потребления благ в реальной экономике. Поэтому если социально-экономические структуры изменятся, надо строить новую модель.

Поведение агента предполагается рациональным и соответствующим его экономическому интересу, который выражается оценкой результатов его будущей деятельности. Информированность агента – его прогноз будущей конъюнктуры, выражаемой информационными переменными, заданными как функции времени. По такой схеме поведение агента формализуется решением задачи оптимального управления на периоде планирования. Это – задача на максимум показателя, выражающего экономический интерес агента, при ограничениях на активы и пассивы, которые задаются балансовыми уравнениями и ограничениями на способы действий. Они содержат информационные переменные, потому поведение задано функциями, зависящими от информационных переменных и времени.

Планы контрагентов содержат одни и те же переменные (количество обмениваемых ресурсов или суммы денежных переводов), но планы не обязаны совпадать. Однако предполагается, что в результате обменов информацией агенты согласуют планы. В модели согласование планов представлено взаимодействиями агентов – соотношениями, из которых определяются значения информационных переменных, обеспечивающие совпадения значений общих переменных в разных планах. Это – равновесие планов агентов на заданном периоде времени.

Принцип рациональности, на котором основаны описания поведения и взаимодействий экономических агентов, следует обсудить подробнее потому, что он встречает возражения. Его критика аргументируется тем, что в реальности возникает рутина принятия решений и она подвержена множеству привходящих обстоятельств. Реальные субъекты экономики, будь то физические

или юридические лица, действуют иррационально. Но экономический агент – не отдельное лицо, это метафора, которая выражает результат деятельности и взаимодействий многих однотипных лиц. Они находятся в многообразных отношениях обменов, кооперации, конкуренции. Возможности, которые упускают одни, используют другие, и в целом, как экономический агент, они рационально используют ресурсы.

Разрабатывая модель экономики Свердловской области, мы построили модель экономического агента “коммерческий банк”. Ни один из конкретных банков не следовал модели, но она правильно описывала всю систему коммерческих банков области [2]. Эти результаты наглядно показывают, что нет смысла имитировать поведение отдельных субъектов экономики, подверженное действию множества неконтролируемых, неопределённых факторов.

Однако есть ещё одно, более существенное возражение. Интерес агента оценивается результатами его будущей деятельности, поэтому, планируя её, он прогнозирует значения информационных переменных. На практике модели нужны, чтобы помочь субъектам экономики прогнозировать информационные переменные, а чтобы построить модели, надо знать, как эти субъекты прогнозируют будущую конъюнктуру. Этот парадокс давно обсуждается в мировой экономической науке, но дискуссии далеки от завершения. Мы его разрешили радикально – приняли в самой сильной форме известный в экономической науке принцип рациональных ожиданий. Предполагаем, что все агенты точно прогнозируют информационные переменные на период планирования. Только такое предположение даёт возможность строить самосогласованные детерминированные модели, другие предположения означали бы, что мы исследуем систематические ошибки в прогнозах агентов. Есть агенты, поведение которых нельзя объяснить принципом рациональности. Это – Центральный банк, государство. Их поведение мы задаём параметрами макроэкономической политики.

Смоделировав поведение и взаимодействия одних агентов, задав сценарий поведения других и экзогенные переменные, мы замыкаем систему уравнений эволюции экономики во времени. Если задать начальное состояние экономики, то можно рассчитать согласованную моделью временные ряды макроэкономических показателей в реальном и номинальном выражениях. Они характеризуют макроэкономические последствия реализации концепции или государственной программы, положения которой явным образом были заложены в модель и сценарий.

Идентификация параметров и верификация модели выполняется по статистическим данным о

состоянии экономики на предшествующем периоде времени и по сценарию, который отражает макроэкономическую политику того периода. Необходимо сопоставлять результаты моделирования с данными об объекте моделирования, надо, чтобы модель хорошо воспроизводила данные, но этого недостаточно. Модель должна воспроизводить разные качественные особенности состояния моделируемой экономики. Это даёт уверенность, что она верно описывает внутренние механизмы регулирования экономических процессов.

Первые модели системного анализа развивающейся экономики были опубликованы в 1979 г. [3]. В начале 1990-х годов в мире появились сообщения о так называемых вычислимых моделях общего равновесия. Сейчас направление математического моделирования экономики широко распространено в мире, – насчитываются сотни публикаций по этой теме [4]. По содержанию, структуре и назначению вычислимые модели общего равновесия повторяют модели системного анализа развивающейся экономики. Модель общего экономического равновесия назвали вычислимой потому, что в модель равновесия Эрроу–Дебре вместо общих абстрактных описаний вставляются описания экономических агентов, полученные эконометрическими методами по статистическим данным, и потому, что ставшая громоздкой модель исследуется численно. Такие модели используются для оценки последствий макроэкономической политики в стране, межстрановых экономических соглашений, экологических последствий экономического развития. В вычислимых моделях общего равновесия экономика представлена детальнее, подробнее дана отраслевая структура производства или учитывается разделение экономики на регионы, но в них экономические агенты – эконометрические “чёрные ящики”, а взаимодействия агентов представлены стандартной моделью конкурентного равновесия. Мы же много сил тратим на теоретические исследования, чтобы на основе фундаментальных результатов математической экономики строить модели, адекватно отражающие специфику экономических отношений.

Общая схема годится для описания любой макроэкономической системы. Качественное разнообразие экономических систем отражается в поведении и взаимодействиях экономических агентов. Любая национальная экономика специфична, но это ещё не всё. Под влиянием инноваций структура экономик развитых стран существенно меняется на характерных временах порядка смены поколений. Структура переходной экономики России изменяется ещё быстрее. Непрерывно возникают новые задачи, неизвестные экономической тео-

рии. Чтобы разрабатывать модели экономики, ориентированные на приложения, надо непрерывно вести проблемно ориентированные фундаментальные исследования, создавая новые модели экономических структур и процессов, новые методы исследования.

Приступая к разработке модели экономики России, мы сталкиваемся с множеством новых задач моделирования производства, обращения, потребления и т.д. в конкретных условиях. По сути, каждый раз приходится изобретать особый подход. В математической экономике созданы классические модели производства, потребительского спроса, рыночного равновесия, но подстерегает опасность неправильно применить классический результат. Так, неоклассическая производственная функция (CES-функция) характеризует регулирование производства в условиях конкурентного рынка. Используя её в другой ситуации, в лучшем случае получишь завышенные результаты, а в других случаях неверные. Неоклассическая модель потребительского спроса в современных российских условиях даёт неверное описание изменения индекса потребительских цен. Бывает и так, что нет готовых моделей экономических систем, например системы коммерческих банков. Накапливая опыт решения конкретных задач, мы строим теорию классов моделей экономических структур и систем. Следует упомянуть теорию агрегирования микроэкономических описаний, развитую А.А. Шананиным [2]. Модели макроэкономических систем содержат описания, которые трудно интерпретировать (а, значит, и оценить область их применимости), если они не выведены агрегированием исходных микроописаний. Теория агрегирования обосновывает макроэкономические модели и помогает установить корректные соотношения между переменными математических моделей и показателями экономической статистики.

В следующих разделах мы расскажем, как внутренние механизмы регулирования производства, возникавшие на разных этапах перехода российской экономики к рыночному укладу, моделировались поведением и взаимодействиями экономических агентов. Модели создавались для анализа состояния нашей экономики, прогнозов её развития и для оценки реализуемости и макроэкономической эффективности проектов реформирования экономики, поэтому представлены и некоторые результаты применения моделей. Опыт моделирования переходной экономики получил теоретическое обобщение в новом классе моделей, созданных вложением классической модели Эрроу–Дебре в общую схему системного анализа развивающейся экономики.

ИССЛЕДОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ЭКОНОМИКИ (1997–2006)

С 1986 г. мы регулярно используем математические модели для анализа состояния и эволюции экономики нашей страны. Здесь будет дан краткий обзор результатов, полученных после 1997 г.

Модель экономики Свердловской области периода финансовой стабилизации 1996–1998 гг. была создана по заказу Главного управления ЦБ РФ по Свердловской области. Описание поведения и взаимодействий агентов отражало экономические отношения, сложившиеся в период финансовой стабилизации 1996–1998 гг. Тогда рыночные отношения проникали в сферу производства, и на общей производственной базе наряду с укладом, сохранившимся от советской экономики, возник рыночный уклад. Сложилась неформальные финансово-промышленные группы, где лидер-банк страховал производителей, работавших в условиях дефицита оборотных средств. Традиционная продукция стабильно сбывалась по сохранившимся с советских времён каналам, но в долг – возникали неплатежи. Платёжеспособный рыночный спрос был нестабилен, и, кроме того, по коммерческим каналам продукция сбывалась с высокими транзакционными издержками. Банк кредитовал текущую деятельность “своих” производителей, котируя неплатежи в расчёте на “живые” деньги от реализации по коммерческим каналам.

Особенности экономических отношений были явным образом представлены в модели, для чего созданы модели производства, реализации продуктов по разным каналам и модели коммерческих банков [2]. По требованиям заказчика каждые два месяца с помощью модели прогнозировались до конца года 176 макропоказателей состояния экономики области по пяти разделам: общее состояние экономики области, состояние банковской системы, денежного обращения, бюджета, а также доходы, расходы и сбережения населения. Из 176 временных рядов 70 имели статистические аналоги. По условиям технического задания коэффициенты корреляции модельных и статистических временных рядов должны были быть не менее 75%, а относительные отклонения рядов не превосходить 10%.

С помощью модели анализировалась проблема неплатежей. Исследования показали, что они возникли как адаптивная реакция экономики на действия реформаторов, не адекватные структуре производства. Рост доли неплатежей до определённого уровня повышает эффективность экономики. Максимум этого показателя соответствует реальной величине неплатежей.

Последним результатом, полученным с помощью модели в конце мая 1998 г., было предсказание кризиса банковской системы Свердловской

области через два месяца. Причиной его были административные меры сокращения неплатежей, не адекватные сложившейся в экономике страховой функции коммерческих банков. Спрос на кредиты был связан с механизмом неплатежей производителей, и по всем вариантам сценария, отражавшего макроэкономическую политику правительства, он резко сокращался. Следует заметить, что после кризиса августа 1998 г. остатки корреспондентских счетов коммерческих банков в ЦБ значительно превысили норму обязательного резервирования, и это свидетельствовало о вынужденной переориентации вложений коммерческих банков.

Модель для оценки программы восстановления роста экономики России была создана в 1999 г. по инициативе аудитора счётной палаты В.С. Соколова. После кризиса сложилась благоприятная конъюнктура для роста отечественного производства, и возник вопрос: как использовать её для восстановления устойчивого роста экономики?

В нормальной рыночной экономике сбережения населения трансформируются в инвестиции. Однако после 1992 г. население России потеряло сбережения и утратило доверие к национальным деньгам. Чтобы привлечь сбережения населения, коммерческие банки должны были устанавливать высокие проценты по депозитам, поэтому кредиты производителям могли выдавать только под ещё более высокие проценты. Рентабельности производства не хватало, чтобы производители платили бы такие высокие проценты за кредиты. Кроме того, структура денежной массы создавала ловушку для инвестиций.

Американским экономистом М.С. Бернштамом была предложена институциональная инновация с целью перестроить экономические механизмы так, чтобы увеличение денежной массы сопровождалось инвестициями в производство [5]. Взяв её за основу, мы построили следующую схему экономических отношений. Государство выпускает облигации, которые предлагаются коммерческим банкам. Чтобы обеспечить их привлекательность, государство поддерживает рост их курсовой стоимости. Коммерческие банки покупают облигации, привлекая для этого депозиты населения. Производители предлагают коммерческим банкам инвестиционные проекты для финансирования. Если проект принят, то государство погашает банку облигации на всю сумму финансирования и по курсу более высокому, чем их рыночный курс. Полученными от погашения облигаций деньгами банк кредитует производителя, размещая их на специальном инвестиционном счёте. Средства с него могут быть израсходованы только на выполнение проекта, поэтому их назвали “производственными деньгами”. Отказавшись от эмиссионного финансирования бюджетного

дефицита, государство может покрывать бюджетный дефицит, размещая на вторичном рынке облигации нового займа.

С помощью модели мы исследовали, даст ли этот проект государству стратегию, которая при тогдашнем состоянии экономики восстанавливала бы инвестиции в производство, не повторяя печально известной истории с ГКО. Описания взаимодействий агентов в модели отражали схему экономических отношений, предусмотренных предложенными преобразованиями. Их эффективность оценивалась потенциальными возможностями среднесрочного экономического роста России при тогдашней производственной базе. Для оценки макроэкономических показателей роста использовалось частное решение уравнений модели – сбалансированный инфляционный рост экономики, то есть рост реального ВВП с постоянным темпом при меняющихся: доле потребления в ВВП, отношении кредитов к ВВП, сбережений к ВВП, дефицита государственного бюджета к ВВП и т.п. [6].

Результаты исследований были представлены зависимостями темпов роста ВВП и индекса цен, а также макроэкономических пропорций от величины равновесного процента по депозитам населения. Этот показатель характеризует степень доверия населения к банкам: чем больше его величина, тем население меньше доверяет банкам. Исследование модели показало, что пока равновесный процент по депозитам больше определённой, критической величины, коммерческим банкам невыгодно использовать сбережения населения в качестве кредитного ресурса. Им выгодно использовать такие сбережения для покупки государственных облигаций, чтобы потом кредитовать инвестиционные проекты за счёт погашенных с премией облигаций (двухступенчатый режим кредитования). Если же равновесный процент по депозитам меньше критической величины, то банкам безразлично, использовать сбережения населения как кредитный ресурс или для покупки облигаций с последующим их погашением (одноступенчатый режим кредитования). Чем ниже равновесный процент по депозитам, тем меньше доля государственных облигаций в кредитных ресурсах банков.

Критическая величина равновесного процента по депозитам зависит от структурных параметров производства и обращения. По состоянию на 1999 г. мы оценили её примерно 18% годовых. В одноступенчатом режиме кредитования темп роста ВВП больше, а инфляции меньше, чем в двухступенчатом. В последнем темп роста стоимости облигаций больше роста стоимости ВВП, то есть государство вынуждено строить финансовую пирамиду, поэтому необходим жёсткий контроль над денежными потоками. По мере снижения равно-

весного процента по депозитам разность темпов роста уменьшается и становится нулевой в одноступенчатом режиме. Регулирующая функция государства перестаёт быть актуальной.

На производственной базе 1999 г. можно было добиться устойчивого роста с темпом около 8% и при инфляции около 1% в год при условии, что равновесный процент по депозитам снизится до 10% годовых. Уровень доверия населения к банкам в 1999 г. мы оценили 30% годовых. В этих условиях трудно ждать устойчивого роста с темпом более 6% и при темпе инфляции около 10% в год.

Модель экономики России для оценки влияния ТЭК на развитие экономики. В 2002 г. по инициативе академика Е.П. Велихова сформировалась российско-американская рабочая группа, обсуждавшая перспективы мировой энергетики и энергетические ограничения экономического роста. Участвуя в работе группы, мы создали модель экономики России для оценки влияния отраслей ТЭК на её рост. Последующие годы модель была существенно модернизирована А.А. Шананиным и его учениками и теперь может использоваться для анализа состояния и прогнозирования эволюции экономики [7].

Модель отражает неоднородность современной российской сферы производства. На мировом рынке конкурентоспособны отрасли ТЭК. Конкурентоспособность обрабатывающих отраслей низкая, они ориентированы на внутренний рынок, где часто проигрывают импортным аналогам. Возникают задержки реализации продукции и дефицит оборотных средств. Вследствие дефицита ресурсы распределяются неэффективно даже в условиях жёсткой кредитной политики. В модели отражены эти особенности экономики. В ней описаны сектора: энергопотребляющих отраслей, электроэнергетики и нефтегазовых отраслей. Для описания энергопотребляющего сектора создана новая производственная функция, отражающая дефицит оборотных средств в условиях нестабильной реализации продукции. Эффективность производства энергопотребляющего сектора характеризуется частотой реализации: чем она меньше, тем ниже эффективность. Механизмы регулирования производства и обращения даны как поведение и взаимодействие экономических агентов: производителей, домашних хозяйств, коммерческих банков, торговых посредников, Центрального банка, государства. С помощью модели состояние экономики и последствия решений можно оценивать или темпами и пропорциями сбалансированного роста, или рассчитанными временными рядами основных макроэкономических показателей.

Модель идентифицирована и верифицирована по данным Роскомстата за 2003–2005 гг. Расчёты свидетельствуют о том, что сохранение тенден-

ций после 2007 г. может существенно снизить темп роста ВВП и сохранить высокий темп роста цен, несмотря на дальнейший рост нефтяных доходов. Анализ показал, что причина – в ухудшении условий функционирования энергопотребляющих отраслей.

Модель экономики России для оценки теневого оборота разработана по заказу Главного научно-исследовательского вычислительного центра Федерального агентства по налогам и сборам и в 2004 г. сдана в эксплуатацию. Прикладной целью было создание инструмента системного использования информации, поступающей из разных источников, для оценки величины теневого оборота и налогооблагаемой базы, включая скрытую от налоговых органов. Проект имел и научную цель – проверить пригодность нового класса моделей, а также отработать технологию создания и применения моделей системного анализа развивающейся экономики. Поэтому в следующих разделах расскажем о новом классе моделей и о новой технологии моделирования.

В модели производство продуктов и услуг объединены в один сектор, совокупность производственных благ представлена одним показателем – реальным ВВП. Описан финансовый сектор и в нём – потоки финансовых инструментов: наличных денег, остатков расчётных и корреспондентских счетов в ЦБ, банковских ссуд, депозитов, иностранной валюты. Для запасов ресурсов и финансовых инструментов дана полная система уравнений балансов, где потоки финансовых инструментов разделяются на легальные и теневые.

Развитие экономики модель описывает как изменение во времени макроэкономических показателей в результате деятельности агентов: производителя, представляющего все нефинансовые коммерческие предприятия; коммерческого банка, представляющего все финансовые коммерческие организации; населения, представляющего физических лиц как потребителей и наёмных работников; собственника, представляющего физических и юридических лиц, управляющих движением капитала между секторами национальной экономики и за пределы страны; государства, представляющего органы, которые исполняют бюджет и определяют параметры экономической политики (ставки налогов, нормы резервов и др.); Центрального банка как эмитента, аккумулятора валютных резервов и расчётного центра для коммерческих банков; внешней торговли, представляющей экспортёров и импортёров. Деятельность государства и ЦБ описывается сценариями государственной экономической политики, при характеристике торговли используются экзогенные прогнозы изменения внешнеэкономической конъюнктуры [8]. Аналитические и прогнозные расчёты сводятся к решению нелинейной неавтономной краевой задачи для 6 дифференциальных

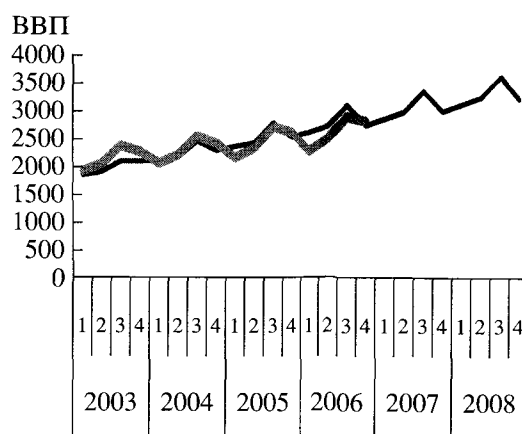


Рис. 1. ВВП, млрд. руб. по курсу 2000 г. в квартал

и 11 алгебраических уравнений, содержащих 17 неизвестных. Модель содержит 25 постоянных параметров, из них 15 задаются нормативными документами, а остальные подбираются при верификации.

Исследование дало интересные качественные результаты, а расчёты показали, что модель предоставляет удовлетворительные количественные оценки. Во-первых, она показывает различие темпов роста ВВП, инвестиций, кредитов, поступлений налогов. Во-вторых, допускает три качественно разных типа роста экономики: с капиталом, сосредоточенным в одном из секторов, тогда как другой увеличивается за счёт заёмных средств, и с капиталом, разделённым между секторами. Попытки верифицировать модель по статистике Роскомстата не приводят к успеху, если принять, что в экономике капитал сосредоточен в реальном секторе или распределён между секторами. Если принять, что весь капитал сосредоточен в финансовом секторе, с помощью модели можно воспроизвести не сглаженные временные ряды примерно 20 основных макроэкономических показателей. Следовательно, до сих пор в нашей экономике капитал сосредоточен в финансовом секторе, а реальный сектор экономики растёт за счёт заёмных средств.

На рисунках 1–4 толстой серой линией показаны не сглаженные поквартальные статистические временные ряды макроэкономических показателей, а чёрной линией – временные ряды, рассчитанные с помощью модели. Видно, что на достаточно длинном периоде времени модель воспроизводит разнородные показатели: ВВП, валовые накопления, инфляцию, собираемый НДС. Надо добавить, что модель даёт верные оценки вывоза капитала и правильно описывает рост валютных резервов и стабилизационного фонда. Следует заметить, что хотя с помощью модели мы правильно воспроизводим различия в

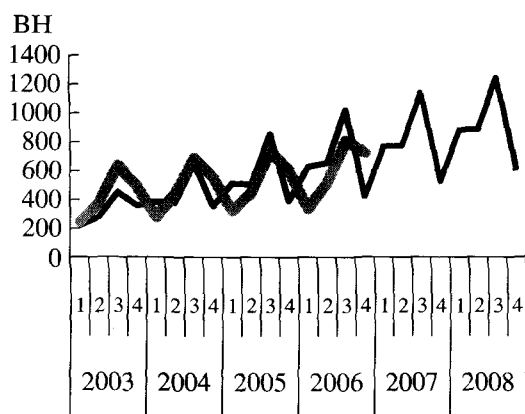


Рис. 2. Валовое накопление, млрд. руб. по курсу 2000 г. в квартал

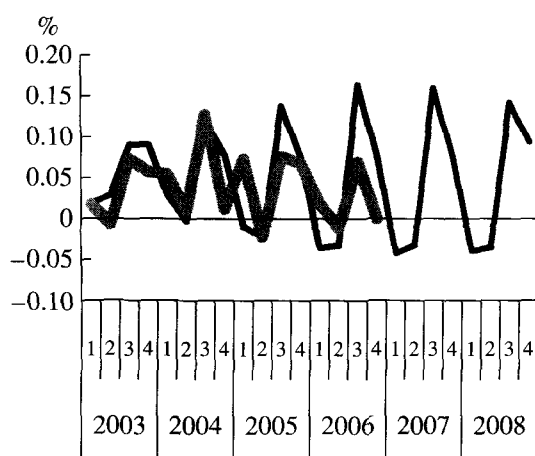


Рис. 3. Инфляция в квартал

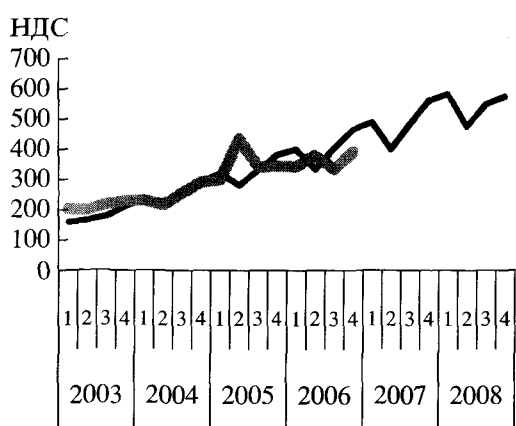


Рис. 4. НДС, млрд. руб. в квартал

средних темпах роста показателей и сложные, сдвинутые по фазе их колебания, мы пока не можем объяснить происхождение этих явлений. Не удалось объяснить механизмы регулирования экспорта, поэтому пришлось задавать его экзогенно. Однако исследование различных гипотез о механизме формирования экспорта показало, что пока экономический рост России определяется экспортом, а не наоборот – экспорт растет, как должно быть в здоровой экономике.

КЛАСС МОДЕЛЕЙ МЕЖВРЕМЕННОГО РАВНОВЕСИЯ С УПРАВЛЕНИЕМ КАПИТАЛОМ

Модель экономики России для оценки теневого оборота создана на базе последних теоретических достижений отдела [8]. На практике на основе общей теоретической схемы можно строить конкретные модели для анализа и прогнозирования состояния реальной экономики.

Модель равновесия экономики Эрроу–Дебре. Теорию общего экономического равновесия можно отнести к основным фундаментальным достижениям экономической теории. Математические модели общего равновесия схематизируют теоретические построения политической экономики, но вместе с тем придают им ясность. Принцип равновесия, первоначально сформулированный для стационарного состояния, затем распространялся и на развитие экономики во времени. Возникло понятие долгосрочного равновесия, а потом была создана теория оптимального экономического роста. Были установлены взаимосвязи между моделями равновесия и роста. Однако, раскрывая качественные закономерности состояний и эволюции рыночной экономики, модели равновесия и роста оставались теоретическим обоснованием концепций рыночной экономики.

Завершённый вид теория экономического равновесия получила в моделях К. Эрроу и Д. Дебре. Существует множество модификаций этой модели, мы обратимся к той, которая стала отправной точкой наших исследований. Чтобы с помощью модели Эрроу–Дебре представить развитие экономики её состояниями в конечном числе последовательных моментов времени, считают продукт, произведённый в разные моменты времени, разными продуктами, а хранение продукта – технологией преобразования одного продукта в другой. Промежуток между соседними моментами времени принимают за единицу времени. Выделяют две группы экономических агентов – производителей-фирм и потребителей-собственников. Предполагают, что они действуют в условиях совершенной конкуренции и точно прогнозируют будущие цены.

Производственные возможности каждого из производителей задают в общем виде его технологическим множеством – последовательностями чистых выпусков продуктов¹, допустимых технологиями и запасами производственного капитала. Из технологического множества производитель выбирает такую последовательность чистых выпусков, которая доставляет ему максимум прибыли в ожидаемых ценах. От них зависит поведение производителя.

Потребителям принадлежат доли производственных капиталов производителей, это даёт им право на фиксированные доли прибылей. Предполагают, что прибыли производителей без остатка распределяются между потребителями. Это – неявным образом учтённый финансовый баланс. Сумма долей в прибыли всех производителей образует бюджетное ограничение потребителя в данный момент времени. Каждый из потребителей тратит свой суммарный за всё рассматриваемое время бюджет на покупку предпочтительной последовательности наборов продуктов потребления. Предпочтения потребителя задаются дисконтированной суммой функций полезности, каждая из которых оценивает набор продуктов потребления в свой момент времени. Таким образом, поведение потребителя тоже зависит от информационных переменных – последовательностей цен.

Равновесные цены определяют из материальных балансов производства и потребления: в каждый момент времени суммарный чистый выпуск каждого продукта всеми производителями не меньше суммарного потребления продукта всеми потребителями. Соответствующие чистые выпуски, количество потреблённых продуктов и т.д. называют равновесными, а состояние экономики – равновесием.

Поведение производителей описывается решениями задач на максимум прибыли на технологических множествах, поведение потребителей – решением задач на максимум суммы дисконтированных функций полезности на суммарных бюджетных ограничениях, а отыскание равновесных цен сводится к решению нелинейной системы неравенств. При определённых условиях установлено существование равновесия и то, что в равновесии ресурсы экономики используются эффективно.

Модель Эрроу–Дебре характеризует равновесную траекторию развития экономики во времени, но её нельзя отнести к динамическим моделям. Каждый экономический агент планирует свою

деятельность в начальный момент времени на весь период времени, но не определены состояния экономических агентов в промежуточные моменты времени. Бюджетные ограничения потребителей должны выполняться суммарно, в промежуточные моменты времени они не определены. Если в модели Эрроу–Дебре сдвинуть начальный момент времени, то равновесную траекторию придётся пересчитывать заново. А существенное свойство динамических моделей – любой промежуточный момент времени можно считать начальным, потому что соответствующий ему конечный участок траектории является равновесной траекторией, начинающейся в этот момент времени.

Модель идеального межвременного равновесия с управлением капиталом. Первое, что надо было сделать, – определить состояния экономических агентов. В каждый момент времени состояние производителя было задано множеством чистых продаж и величиной чистых сбережений, а состояние потребителя – величиной чистых сбережений. Чистые продажи связаны с чистыми выпусками уравнениями материальных балансов – они получают из чистых выпусков вычитанием неотрицательных капитальных затрат и накопленных изменений запасов продуктов. Положительные чистые продажи – передача продуктов от производителей к потребителям. Множество чистых продаж производителя в данный момент времени выражается через последовательности прошлых капитальных затрат вплоть до данного момента времени. Это описание не отличается от описания, принятого в модели Эрроу–Дебре. Новое – в явном описании изменения чистых сбережений (финансовых активов и пассивов экономических агентов) уравнениями финансовых балансов. В единицу времени чистые сбережения производителя изменяются благодаря получению им прибыли от чистых продаж и выплат доходов собственникам, которые имеют долю в его производственном капитале. Чистые сбережения собственника изменяются вследствие получения им доли прибыли от производителей, в капитале которых он участвует, и потребительских расходов. Чистые сбережения могут быть положительными и отрицательными. К уравнениям финансовых балансов добавляются условия на чистые сбережения агентов в начальный и конечный моменты времени. В начальный момент они заданы, в конечный момент “история экономики” заканчивается, и правильно считать, что рациональные агенты погашают свои долги, – чистые сбережения неотрицательны.

Введено явное описание собственности и перераспределение её между собственниками-потребителями. В начальный момент времени между ними были распределены акции известной доход-

¹ Под последовательностью будем понимать значения соответствующих величин в последовательные моменты времени. Чистый выпуск – алгебраическая сумма выпуска (неотрицательная величина) и затрат (неположительная величина) продукта в единицу времени.

ности, выпущенные производителями-фирмами. В каждый момент времени собственники продают и покупают акции по курсам, складывающимся на свободном рынке. В единицу времени курс акции изменяется на величину её доходности (она может быть и отрицательной, если, например, собственники решили инвестировать), а в конечный момент времени цена акции равна нулю. Естественным образом определяется доход собственников в уравнениях финансовых балансов: он равен изменению за единицу времени стоимости по текущему курсу принадлежащих ему акций. Если ввести индекс курса акций – отношение текущего курса к курсу в начальный момент времени, то вложения собственника в фирму выразятся количеством эффективных паёв (относительной стоимостью акций), курс которых постоянен и равен курсу акций в начальный момент времени. За весь рассматриваемый период времени фирма выплачивает своим собственникам доход, равный стоимости в начальный момент времени всех выпущенных ею акций. Следовательно, прибыль, которую фирма получает за рассматриваемый период времени, ограничена снизу стоимостью в начальный момент времени всех выпущенных ею акций – величиной капитализации фирмы.

На равновесной траектории цены уменьшаются, потому что продукты приносят доход каждую единицу времени, а полезность потребительских продуктов дисконтируется каждую единицу времени. В реальной экономике цены, как правило, растут – в росте цен отражаются рыночные оценки возможных рисков. В детерминированной модели риски явным образом не охарактеризованы, поэтому приходится искусственным приёмом вводить в модель описание цен, согласующееся с экономической реальностью. Мы считаем, что по отношению к равновесным цены растут с темпом $\rho(t)$, поэтому нормируем их заданной последовательностью симплексов. Равновесное количество произведённых и потреблённых продуктов не изменятся, если доходность финансовых инструментов увеличится в той же пропорции. После этого доход, который собственник χ получает в момент времени t от фирмы π

$$\psi^{\pi\chi}(t) = \rho(t)\theta^{\pi}K^{\pi\chi}(t-1) - \theta^{\pi}K^{\pi\chi}(t)$$

выражается как доход от прежних инвестиций за вычетом новых инвестиций. Действительно, $K^{\pi\chi}(t)$ – количество эффективных паёв собственника χ в фирме π в момент времени t , θ^{π} – курс акций фирмы π , $\rho(t)$ – доход на один эффективный пай. В уравнениях финансовых балансов производителей и собственников возникают аналогичные слагаемые $\rho(t)\Phi^{\pi}(t-1)$ и $\rho(t)\Phi^{\chi}(t-1)$, в кото-

рых $\Phi^{\pi}(t-1)$ и $\Phi^{\chi}(t-1)$ – чистые сбережения производителя и собственника в предыдущий момент времени. Они показывают, что чистые сбережения агентов имеют ту же доходность, что и инвестиции $K^{\pi\chi}(t-1)$ в собственность. Как и модель Эрроу–Дебре, новая модель характеризует идеальное денежное обращение и совершенный денежный рынок.

Принятое в модели Эрроу–Дебре описание экономических интересов агентов сохраняется – производители стремятся получить максимум прибыли, а потребители выбирают самый полезный набор продуктов. Однако новое описание производителей-фирм и потребителей-собственников открывает возможность содержательнее моделировать их поведение и взаимодействие. Суммарная прибыль производителя ограничена снизу величиной капитализации фирмы. Значит, чтобы получить максимальную прибыль, производитель должен максимизировать капитализацию фирмы. Количество выпущенных им акций фиксировано, поэтому надо максимально увеличивать начальный курс акций. Доходы собственник получает от собственности, поэтому он должен так перераспределять свои пай между производителями, чтобы получать максимальный доход.

Возникают следующие линии поведения и взаимодействий экономических агентов. Производители сообщают собственникам, какими они планируют курсы акций. Потребитель-собственник по этой информации и по прогнозам будущих цен продуктов и доходности финансовых инструментов планирует распределение паёв между фирмами, покупки потребительских продуктов так, чтобы максимизировать дисконтированную сумму полезностей в рамках своего финансового баланса с граничным условием в конечный момент времени. Собственники сообщают производителям спланированные распределения паёв. Производитель по этой информации и по прогнозам будущих цен и доходности планирует чистые продажи (вместе с ними капитальные затраты и запасы продуктов) так, чтобы максимизировать капитализацию фирмы в рамках своих чистых продаж и финансового баланса с граничным условием в конечный момент времени. Предложенная схема отражает современные отношения собственников и производителей в структуре холдингов, где собственники управляют финансовыми потоками, тогда как менеджеры регулируют деятельность компаний, стремясь к росту капитализации.

Равновесные цены и доходность определяются из уравнений материальных балансов производства и потребления продуктов, из условий нормировки цен заданной последовательностью симплексов и из равенства всех сбережений денег всем долгам в каждый момент времени. Послед-

нее условие выражает фундаментальное свойство денег быть одновременно долгом (обязательством) агента, который их выпустил, и активом (требованием) агента, который их получил².

Мы строим модели, ориентируясь на практические приложения, поэтому необходимо, чтобы переменные имели экономический смысл и могли быть идентифицируемы. Естественно требовать, чтобы переменные модели, представляющие агрегированные показатели, непрерывно изменялись во времени; чтобы все продукты производились и потреблялись; чтобы в последний момент времени, когда кончается “история экономики”, рационально действующие агенты не только погашали свои долги, но и тратили все свои активы – чистые сбережения агентов обнулялись так же, как и эффективные паи; чтобы равновесные цены были положительными (это даёт возможность нормировать цены). Были найдены простые условия для множества чистых продаж и функции полезности, для класса решенных задач о поведении агентов, которые обеспечивают выполнение этих требований.

В модели явным образом даны отношения собственников и экономических агентов, управляющих собственностью в своих интересах. Равновесные цены и доходность финансовых инструментов определяются из балансов планов производства фирм и потребления собственников, из балансов планов заимствований и одалживаний агентов на рассматриваемый период времени. Поэтому модель названа моделью межвременного равновесия с управлением капиталом.

Свойства модели межвременного равновесия с управлением капиталом. Новая модель относится к классу динамических. Было показано, что конец равновесной траектории, соответствующий моментам времени $t = \tau, \tau + 1, \dots, T$ является равновесной траекторией с начальным моментом времени τ , если начальным выбрано равновесное состояние в этот момент. Равновесные траектории модели являются эффективными в смысле использования материальных ресурсов.

Переменные модели можно идентифицировать с показателями экономической статистики, в терминах модели можно обсуждать нетривиальные экономические проблемы. Так, суммирован-

² Изменение в единицу времени чистых сбережений экономических агентов равно разности прибыли и потребительских расходов потребителей. Разность чистых сбережений всех экономических агентов в конечный и начальный моменты времени равна разности всей прибыли производителей и всех потребительских расходов потребителей за период между начальным и конечным моментами времени.

ем уравнений финансовых балансов получаются финансовые балансы в остатках: собственников

$$\begin{aligned} \Phi_+^\chi(t) + \sum_{\pi} \theta^\pi K^{\pi\chi}(t) &= \\ &= \Phi_-^\chi(t) + \sum_{s=t+1}^T \delta^{-1}(s)(p(s), c^\chi(s)) \end{aligned}$$

и производителей

$$\begin{aligned} \Phi_+^\pi(t) + \sum_{s=t+1}^T \delta^{-1}(s)(p(s), z^\pi(s)) &= \\ &= \Phi_-^\pi(t) + \sum_{\chi} \theta^\pi K^{\pi\chi}(t). \end{aligned}$$

В этих выражениях величины с нижними индексами “+” и “-” – неотрицательные запасы денег и неотрицательные долги агентов, разность которых равна чистым сбережениям, а множителем $\delta(s) = \rho(t+1)\rho(t+2)\dots\rho(s)$ будущие потребительские расходы собственников и будущие прибыли производителей приводятся к текущему моменту времени (дисконтируются).

Как принято в бухгалтерском учёте, левая часть баланса содержит активы, а правая – пассивы агента. Типичные активы – сбережения агента и его вложения. Типичные пассивы – средства, привлечённые агентом, и собственный капитал, который он вкладывает в активы. Из финансового баланса в остатках следует, что активы собственника состоят из запаса денег и инвестиций в фирмы (стоимостей приобретённых паёв), а пассивы – из денежного долга и собственного капитала. Собственный капитал собственника $\Omega^\chi(t) = \sum_{s=t+1}^T \delta^{-1}(s)(p(s), c^\chi(s))$ есть его обязательства предоставить себе в будущем определённые потребительские расходы, дисконтированные доходностью финансовых инструментов. Этот капитал положителен и обращается в ноль в последний момент времени. Легко понять экономический смысл капитала собственника. Его потребительские расходы ограничены доходами, которые он получает в виде дивидендов – доходов на паи. Дисконтированная сумма будущих дивидендов оценивается текущей стоимостью паёв, а собственный капитал – средства, которые он вложил в активы. Следовательно, естественно оценивать собственные средства дисконтированной суммой будущих потребительских расходов.

Заметим, что финансовые балансы агентов, не создающих добавленной стоимости, практически не составляются. Исключением может быть баланс доходов и расходов государственного бюджета. В нём против пассива “внутренний государ-

«свои долги» в активе стоит дисконтированная сумма будущих налоговых поступлений за вычетом бюджетных расходов. Если перенести это слагаемое в пассив, то получится величина, по экономическому смыслу подобная дисконтированным потребителем расходам.

Пассивы производителя состоят из денежного долга и текущей стоимости выпущенных акций. Последняя представляет собой обязательства производителя перед своими собственниками. Это – его капитал $\Omega^\pi(t) = \sum_x \theta^\pi K^{\pi x}(t)$, он положителен до последнего момента времени, когда обращается в нуль. В активы производителя, кроме запаса денег, входит будущая дисконтированная прибыль. Она характеризует будущие возможности фирмы, поэтому естественно её называть текущей ценой фирмы.

Отчётный бухгалтерский баланс экономического агента, создающего добавленную стоимость, такой величины не содержит. В нём учитываются результаты прошлых операций с деньгами при взаимодействиях с другими агентами. В активах ранее приобретённые основные и оборотные фонды учитываются по текущей стоимости, а чтобы показать текущую стоимость фондов, в накопленную нераспределённую прибыль вводятся суммы амортизационных отчислений и суммы от переоценки материальных ценностей, валюты, хотя такие суммы ни от кого не получены и никому не уплачены. Текущей стоимостью основных и оборотных фондов оценивается состояние фирмы – то, что можно назвать её текущей ценой.

В случае однородной модели³ с помощью аналога теоремы Нетер цену фирмы можно выразить не через будущую прибыль, а через текущую стоимость основных и оборотных фондов. При этом собственный капитал производителя выражается накопленной нераспределённой прибылью, исчисленной по бухгалтерским правилам: как прибыль от операций и прибыль (убытки) от переоценки материальных ценностей за вычетом амортизационных отчислений и выплат из прибыли. Из модели следует отчётный бухгалтерский баланс фирмы. Сопоставление этих выражений для собственного капитала производителя наводит на мысль, что бухгалтерские амортизационные отчисления и переоценки – это процедуры превращения оценок активов по сумме предыдущих затрат в оценки по будущим доходам от использования активов. Показано, что переоценка корректна в предположении об однородности модели.

³ Модель однородна, если технологическое множество линейно однородно, а функции полезности однородны с показателем меньшим единицы.

Приведённые выражения для капитала собственника и производителя эквивалентны уравнениям

$$\Omega^x(t) = \rho(t)\Omega^x(t-1) - (p(t), c^x(t)),$$

$$\Omega^\pi(t) = \rho(t)\Omega^\pi(t-1) - \sum_x \psi^{\pi x}(t),$$

для которых есть краевые условия: в начальный момент времени собственные капиталы заданы, а в последний момент они обращаются в нуль. На оптимальной траектории эти уравнения эквивалентны уравнениям финансового баланса, таким образом, открывается альтернативный подход к поведению экономических агентов.

Уравнения изменения собственного капитала показывают, что по экономическому смыслу дивиденды, которые выплачивает производитель, суть доходы на его собственный капитал, а потребительские расходы собственника – проедание доходов на его собственный капитал. Так как модель описывает идеальное денежное обращение и совершенные денежные рынки, то доходность собственного капитала равна доходности чистых сбережений и инвестиций.

По существу, то, что представлено в этом разделе, – вложение модели Эрроу–Дебре в схему моделей системного анализа развивающейся экономики. Характеристика состояний экономических агентов дополнена их финансовыми активами и пассивами, а взаимодействиями производителей и собственников смоделированы общие качественные свойства современных отношений собственности. Этого достаточно, чтобы из уравнений финансовых балансов вывести балансы, адекватные отчётным бухгалтерским балансам. Из модели выводится важное понятие экономической теории, один из главных показателей экономической статистики – собственный капитал экономического агента. Введение собственного капитала в поведение агента устанавливает связи переменных модели с понятиями теории и показателями статистики. Положительность собственного капитала гарантирует, что экономический агент не строит финансовую пирамиду. Хотя модель межвременного равновесия с управлением капиталом унаследовала идеальное описание денежной системы моделью Эрроу–Дебре, с её помощью можно качественно проанализировать многие экономические ситуации.

Обобщение модели межвременного равновесия с управлением капиталом (класс МРК). Однако в таком виде модель ещё не годится для практических приложений, потому что она характеризует множество равновесий. В общем случае равновесные траектории чистых продаж, потреблений и цен продуктов единственны, но

траектории чистых сбережений и инвестиций собственников в фирмы произвольны. Равновесные активы ликвидны и у них одинаковая доходность, поэтому собственникам безразлично, когда и куда вкладывать деньги. Можно думать, что по этой причине в модели Эрроу–Дебре явным образом не описаны финансовые активы экономических агентов.

Идеальная модель межвременного равновесия с управлением капиталом стала основой класса моделей, предназначенных для практических приложений. Исходное соображение было таким: экономические агенты действуют в условиях неопределённости и запасают материальные и финансовые ресурсы на случай непредвиденных обстоятельств. Это могут быть и просто запасы, и разного рода наценки, – и то, и другое изменяет доходность финансовых инструментов. В таком случае управление капиталом становится нетривиальной содержательной задачей. Необходимость иметь запасы разного рода денег, связанная с институциональными или с технологическими условиями, экономисты относят к ограничениям ликвидности денег. Если ввести в модель ограничения ликвидности, то финансовые инструменты будут иметь разную доходность, а неопределённость финансовых переменных равновесных траекторий уменьшится. Представленная в предыдущем разделе модель экономики России подтвердила исходную гипотезу.

Как и модель Эрроу–Дебре, модель межвременного равновесия хороша тем, что содержит стандартный набор экономических агентов. Описание поведения и взаимодействий агентов тоже стандартно. Более того, показано, что если модель однородна, то поведение собственников-потребителей можно характеризовать так же, как и поведение производителей, – стремлением максимизировать свою “капитализацию” в рамках финансового баланса стандартного вида.

Однако вспомним модели экономики России, представленные в предыдущем разделе. В них пришлось включать не только производителей и потребителей, но и других агентов, например торговых посредников или коммерческие банки, и иные взаимодействия, например торговлю по разным каналам реализации товаров. На основе обобщения опыта системного анализа развивающейся экономики и описаний поведения и взаимодействий экономических агентов в идеальной модели межвременного равновесия с управлением капиталом был предложен класс моделей межвременного равновесия с управлением капиталом (класс МРК). Структура моделей класса МРК определена набором переменных состояний экономических агентов и соответствующими уравнениями материальных и финансовых балансов. Поведение и взаимодействия экономических

агентов унифицированы следующими спецификациями.

- Имея прогноз информационных переменных и программу вложений в собственный капитал, агент максимизирует свою капитализацию при технологических и финансовых ограничениях. Программа вложений задаётся пропорциями вложений во времени (отношениями величин в соседние моменты времени).

- Каждый агент характеризуется величиной собственного капитала, который растёт с темпом, равным его доходности, и убывает вследствие расходов, удовлетворяющих экономический интерес агента.

- Собственный капитал агента может быть выражен как чистые активы или как дисконтированная сумма ожидаемых полезных расходов, или в как рыночной стоимости внешних вложений в собственный капитал.

- Расходы агента, удовлетворяющие его экономический интерес, в каждый момент времени выражаются заданной в этот момент времени пропорцией вложений в собственный капитал, оценённой курсом капитала.

Формально в моделях класса МРК поведение экономических агентов дано решениями вогнутых, однородных задач оптимального управления в непрерывном времени стандартного вида, но в обобщённых описаниях доходности собственных капиталов разных агентов могут быть разными. На них может влиять распределение вложений между агентами, поэтому в моделях МРК поведение собственника характеризуется решением нетривиальной задачи: эффективно распределить вложения между секторами экономики. Модель экономики России для оценки теневого оборота принадлежит классу МРК, в ней использовано обобщённое поведение производителя, банка, собственника, населения. В описании поведения производителя учтена возможность выбора им теневого или легального канала платежей с учётом риска санкций за нарушение налогового законодательства.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ЭКОНОМИКИ

Класс моделей МРК стал “технологичной конструкцией” канонической формы моделей системного анализа развивающейся экономики, которая позволила доработать инструментальную систему компьютерной поддержки математического моделирования экономики и создать новую технологию разработки, исследования и применения на практике математических моделей. Всякий раз, как общая схема моделей МРК используется для создания модели, ориентированной на решение актуальной экономической проблемы,

неизбежно возникают специфические задачи. В хаосе текущих данных, мнений, явлений, событий надо выделить стабильные структуры, понять рациональные отношения и адекватно выразить их через поведение и взаимодействия агентов. Приходится проверять разные гипотезы, прежде чем будет найдено адекватное описание механизмов саморазвития конкретной экономики в данный период времени.

Проверить гипотезу – это выписать заново соотношения модели, преобразовать их, проанализировать и численно исследовать модель. То есть аналитически решить “за каждого агента” неавтономную задачу оптимального управления со смешанными ограничениями, содержащими неизвестные функции времени – прогнозы информационных переменных, и согласовать решения задач оптимизации, определив неизвестные функции времени из нелинейных краевых задач. Понятно, что такую работу вручную – записывая модель на бумаге, переводя её на язык программирования – не выполнить. Кроме того, трудно избежать ошибок при записи многочисленных соотношений модели, можно нарушить принятые гипотезы, переводя соотношения модели в процедуры компьютерной программы.

Сложная модель экономики России для оценки теневого оборота была создана за год, что объясняется не только квалификацией и энтузиазмом создателей, но и применением новой технологии моделирования экономики. Она основана на понятии канонической формы модели [9]. Это – не просто система уравнений и неравенств. Соотношения модели имеют экономический смысл и группируются в блоки, отражающие экономические структуры. Запись системы соотношений не содержит такую информацию о модели в явном виде, но именно по ней можно судить о её правильности. В иных случаях извлекают информацию из названий переменных, терминов. Однако в данном случае это не проходит, потому что в экономической теории понятия размыты, а отношения между ними не однозначны. Таков вывод из наших неудачных попыток построить систему поддержки моделирования, основанную на соответствии экономических понятий и отношений переменным и соотношениям математической модели.

Каноническая форма модели формализует структуру моделей системного анализа развивающейся экономики. В канонической форме система неравенств, алгебраических, конечно-разностных или дифференциальных уравнений и, может быть, оптимизационных задач, представляющих модель, разделена на блоки двух типов: блоки ЭА описаний поведения экономических агентов и блоки ВД описаний взаимодействий экономических агентов. Состояния агентов изменяются в

силу уравнений материальных и финансовых балансов. В канонической форме требуется указать, какие из уравнений являются балансовыми.

Поведение характеризуется как рациональный выбор в соответствии с интересом из ограниченного множества допустимых действий. В канонической форме модели переменные, выражающие действия агента, именуется “планируемые переменные”. Ограничения на такие переменные делятся на внутренние и внешние. Внутренние содержат планируемые переменные агента, они выражают технологические ограничения. Внешние ограничения, кроме планируемых, содержат переменные, которыми агент не распоряжается, но считает их заданными. Они именуется “информационные переменные”. Поэтому выбор агента, описанный в блоке ЭА, зависит от функций времени – информационных переменных. Это – план агента, зависящий от его информированности. В экономической теории он называется “функцией спроса” или “функцией предложения”.

Взаимодействия экономических агентов согласуют их поведение. В блоках ВД определяются такие значения, при которых одни и те же переменные уравнений балансов, но независимо планируемые разными агентами, становятся равными. Блоками ВД внешние ограничения разбиваются на непересекающиеся подгруппы, каждая из них содержит планируемые и информационные переменные, которые определяются данным ВД. В канонической форме эти группы именуется “роли агента”. Так, агент может играть роль продавца, покупателя или кредитора. Каноническая форма модели – строго определённый формальный объект. Доказана единственность представления модели в канонической форме. В такой форме можно записать многие известные модели экономики, однако эта форма записи не универсальна. Каноническая форма отражает определённые содержательные свойства моделей, только поэтому она помогает контролировать внутреннюю семантическую согласованность этой разработки, исследования модели в канонической форме и прикладные расчёты с помощью модели поддерживаются созданной нами оригинальной инструментальной системой ЭКОМОД. Она контролирует корректность синтаксиса модели, переобозначений величин, правильность размерностей величин, уравнений балансов и информационных связей агентов. Система автоматически генерирует условия оптимальности в блоках ЭА, упрощает систему соотношений на основе их семантики, выполняет расчёты на этапах верификации модели и численных экспериментов с нею. Система сохраняет исходный вид и экономический смысл соотношений, подвергшихся преобразованиям, позволяет быстро повторить все преобразования после изменения исходных гипотез, сохраняет дерево вариантов модели в файловой

системе, хранит и представляет результаты расчётов. Система работает с моделью, введённой с клавиатуры компьютера в стандартной математической нотации, вплоть до представления результатов расчётов в графической или табличной форме.

Каноническая форма модели экономики России для оценки теневого оборота содержит 102 разнородных нелинейных уравнения и неравенства. Автоматическими упрощениями число их сокращено до 57. Далее в диалоговом режиме модель сведена к нелинейной неавтономной краевой задаче для 6 дифференциальных и 11 алгебраических уравнений с 17 неизвестными. Ни целиком, ни по частям модель не была записана ни на бумаге, ни на языке программирования.

С 1990 г. мы регулярно используем математические модели системного анализа развивающейся экономики для изучения переходных процессов в экономике России, для оценки последствий макроэкономических решений. Наши модели дают системно согласованные качественные и количественные оценки состояния и эволюции экономики. Модели пригодны на практике потому, что проводится содержательный системный анализ экономики и создаётся запас моделей и методов, которые корректно переводят результаты анализа на математический язык.

Безуспешными были попытки сотрудничества с аналитическими подразделениями правительственных учреждений. Между тем принятые национальные программы, декларированные цели долгосрочного развития показывают, что пошлости либеральных теорий преодолеваются, и власти осознают роль государственного воздействия на экономику. Проблема состоятельных оценок макроэкономических решений становится актуальной. Вычислимые модели общего равновесия широко используются для оценки последствий государственной экономической политики. В Китае – для оценки последствий вступления страны в ВТО, в Японии – для оценки политики в области электроэнергетики. В США оценивались последствия присоединения к Киотскому протоколу. Модель, созданная в Австралии для оценки эффективности систем налогообложения, используется и в США.

Модели экономики России были созданы нами по заказам представителей федеральных и региональных органов для решения ведомственных проблем. Заказы были случайными, однако каждый раз оказывалось, что ведомственные или региональные проблемы невозможно решить, изолировав их от проблем экономики страны в целом. Поэтому каждый раз, решая специфическую задачу, мы строили модель экономики страны, но ориентированную на выполнение заказа.

Справедливы были бы упреки, что мы не используем модели для анализа и решения кардинальных экономических проблем страны. Ответ на них простой: не было заказов. Подобные сложные, трудоёмкие проекты требуют значительных затрат ресурсов, поэтому их можно делать только по заказу. Например, академиком Д.С. Львовым была предложена концепция перестройки экономики страны. Академик С.Ю. Глазьев предлагает целостную программу интенсификации роста экономики РФ. Мы готовы участвовать в оценке эффективности этих предложений, был бы спрос. Но вопрос надо ставить шире. Наша экономика выходит из системного кризиса, мучительно нащупывая новые формы экономических отношений, формируя новые структуры. До конца 1990-х годов процесс шёл стихийно, теперь он направляется методом проб и ошибок. Непрерывно возникают новые экономические проблемы, они рожают новые структуры и наоборот. Простых решений быть не может. Экономика – сложная саморазвивающаяся система, на внешние воздействия она отвечает перестройкой механизмов саморегулирования.

Необходима программа РАН, организующая выявление назревающих проблем, выработку концепций, решающих кардинальные проблемы социально-экономического развития страны, оценку реализуемости концепций и эффективности способов реализации. Здесь математические модели, во-первых, уже на стадии разработки помогут уточнить детали концепций, ликвидировать возможные логические пробелы, чётче поставить задачи, во-вторых, дадут возможность развернуть картину во времени, оценить последствия реализации концепций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 07-01-12032-офи, 07-01-00563-а), Российского гуманитарного научного фонда (проект 07-02-00362), по программе государственной поддержки ведущих научных школ (проект НШ-5379.2006.1), программе фундаментальных исследований ОМН РАН № 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров А.А. Опыт использования математических моделей для анализа экономики переходного периода // Вестник РАН. 1997. № 4.
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, 1999.
3. Петров А.А., Поспелов И.Г. Системный анализ развивающейся экономики I–IV // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1979. № 2–5.
4. Wing I.S. Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis: Every-

- thing You Ever Wanted to Know (But Were Afraid to Ask). Center for Energy & Environmental Studies and Department of Geography & Environment Boston University and Joint Program on the Science & Policy of Global Change Massachusetts Institute of Technology. 2003.
5. *Бернштам М.С.* “Производительные” деньги – “сберегательные” деньги (теория и механизм неинфляционного запуска экономического роста в России) // *Российский экономический журнал*. 1994. № 10.
 6. *Автухович Э.В., Бутова Н.К. и др.* Оценка потенциала роста экономики России с помощью математической модели / Под ред. А.А. Петрова. М.: ВЦ РАН, 2000.
 7. *Гасников А.В., Обросова Н.К., Рудева А.В., Флёрова А.Ю., Шананин А.А.* Моделирование влияния государственной энергетической политики на производственную систему России. М.: ВЦ РАН, 2006.
 8. *Андреев М.Ю., Поспелов И.Г., Поспелова И.И., Хохлов М.А.* Новая технология моделирования экономики и модель современной экономики России. М.: МИФИ, 2007.
 9. *Петров А.А., Поспелов И.Г., Поспелова Л.Я.* Система интеллектуальной компьютерной поддержки математического моделирования экономики ЭКОМОД. М.: ВЦ РАН, 1996.



По контрольной карте №5463

*Пр. канд. наук
РФС № 1000/1000*

В журнале «Вестник РАН» №6, 2009 руководителям научных подразделений ИСЭРТ полезно ознакомиться со статьей А.А. Петрова, И.Г. Поспелова «Математические модели экономики России», в которой излагается общая структура моделей, применяемых для изучения национальных и региональных экономик.

В.н.с., к.э.н.



М.Ф. Сычев

07.09.2009