

## МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

© 2012 Г.Р. Хасаев, В.А. Цыбатов\*

**Ключевые слова:** макроэкономическое моделирование и прогнозирование, экономический агент, модель региональной экономики, оценка достижимости целевых ориентиров.

Раскрыты основные принципы построения региональных макроэкономических моделей, способные смягчить методические ограничения макроэкономического моделирования, которые не позволяют использовать известные макроэкономические модели для целей регионального прогнозирования. Описывается разработанная авторами макроэкономическая модель региональной экономики, основанная на сформулированных принципах. Модель представлена как система управления, в состав которой входят три взаимосвязанных компонента: модель воспроизводственного процесса, модель потенциальных возможностей, модель поведения экономических агентов. Рассматриваются прогнозно-аналитические технологии, реализованные на разработанной модели: ситуационное прогнозирование и оценивание достижимости целевых ориентиров.

Современное состояние мировой и российской экономики делает в высшей степени актуальной разработку макроэкономических моделей и технологий, позволяющих адекватно оценивать перспективы и угрозы социально-экономического развития. В последние десятилетия для целей макроэкономического прогнозирования все шире используются методы и модели, рассматривающие развитие экономики как результат деятельности экономических агентов<sup>1</sup>. Эти методы дают возможность лучше других оценивать долгосрочные перспективы развития экономики и результаты различных вариантов экономической политики. В экономической теории под экономическими агентами понимаются субъекты, занимающиеся экономической деятельностью на основе самостоятельно принимаемых решений<sup>2</sup>. В макромоделях экономический агент является коллективным субъектом, объединяющим элементарных субъектов, выполняющих сходные роли в экономике.

Для построения *макромодели* экономики как системы взаимодействующих агентов необходимо решить следующие задачи:

- 1) “разрезать” экономику на совокупность экономических агентов (секторов экономики);
- 2) описать основные ограничения экономических агентов в рамках воспроизводственного процесса;

- 3) обеспечить баланс спроса и предложения на всех рынках на всем горизонте прогнозирования (*общее динамическое равновесие*);

- 4) задать целевые ориентиры для экономических агентов.

Ранее авторами приведен перечень наиболее цитируемых макроэкономических моделей, используемых для практического прогнозирования<sup>3</sup>. Анализ этих моделей позволил установить методические особенности, ограничивающие их использование для целей регионального прогнозирования.

Основным ограничением, на наш взгляд, является применяемый подход к разбиению экономики на секторы. В современных западных макромоделях, как правило, экономику разрезают по секторам системы национальных счетов (СНС). Рассматриваются следующие институциональные секторы: сектор нефинансовых корпораций, сектор финансовых корпораций, сектор домашних хозяйств, государственный сектор, сектор некоммерческих организаций, обслуживающих домашние хозяйства. Однако, на наш взгляд, для задачи макроэкономического прогнозирования такое “монетаристское” разбиение экономики на секторы не является продуктивным, поскольку вся производственная структура экономики оказывается “упакованной” в одном секторе -

\* Хасаев Габидулла Рабаданович, доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой региональной экономики, государственного и муниципального управления; Цыбатов Владимир Андреевич, доктор экономических наук, профессор. - Самарский государственный экономический университет. E-mail: vestnik@sseu.ru.

“нефинансовые корпорации”. В современных российских макромоделях нет единого взгляда на разбиение экономики на секторы. Однако и здесь господствует “монетаристский” подход. Например, в макроэкономических моделях ВЦ РАН развитие экономики рассматривается как результат деятельности семи экономических агентов: это фирмы, банки, собственники, домашние хозяйства, государство, ЦБ, внешнеторговые организации<sup>4</sup>.

Другим дискуссионным моментом является подход к описанию основных ограничений экономических агентов в рамках воспроизводственного процесса. В моделях ВЦ РАН для формального представления процесса принятия агентами решений предлагается указывать следующую информацию: о том, что агент может - множество допустимых действий или стратегий поведения; чего агент хочет - его цели, интересы, мотивы, критерии оценки результатов; что агент знает - информацию о состоянии и действиях других агентов, на основании которой первый принимает решения.

Однако стандартная триада отношений агентов “может, хочет, знает”, на наш взгляд, требует уточнения и дополнения. В самом деле, отношение “агент хочет” рассматривается как “управление”, а управление без наблюдения (отношение “агент знает”) не имеет смысла, т.е. отношение “агент знает” неизбежно входит в состав отношения “агент хочет”. Вместе с тем ничего не говорится об отношении “агент должен”, задающем обязательства экономического агента в структуре воспроизводственного процесса.

В современных зарубежных моделях макроэкономики ядро модели общего равновесия, как правило, представляет собой систему динамических уравнений, решением которой является общее экономическое равновесие, сводящееся к уравниванию спроса и предложения на рынках товаров и услуг, рассматриваемых в модели. Равновесие достигается путем итеративного пересчета. Это так называемые “вычислимые модели общего равновесия”, известные в зарубежной литературе как *Computable General Equilibrium models* (CGE models). Традиционно CGE-модели условно делятся на две основные группы в соответствии с их историческим развитием и целями создания<sup>5</sup>. Первая группа моделей сформировалась на основе модели затрат-выпуска Леонтьева и экономических моде-

лей краткосрочного периода, широко используемых начиная с 1930-х гг. Во вторую группу CGE-моделей входят модели вальрасовского типа, представляющие собой практическую реализацию известной модели общего экономического равновесия Вальраса. Первая группа моделей “работает” с балансом на рынках товаров и услуг для промежуточного потребления. Вторая группа моделей рассматривает более широкую гамму товаров и услуг. В частности, учитываются финансовые рынки, налоги, экспортно-импортные операции. Однако за пределами балансовых схем остается много важных товаров и услуг. Из литературных источников неизвестен “баланс балансов”, который бы объединял в единой балансовой схеме промежуточное потребление, финансы, инвестиции, потребительские товары и услуги, трудовые и государственные услуги.

Поведение экономических агентов является основой формирования траектории экономического развития. В моделях, основанных на классической теории поведения, принимаемые агентами решения исходят из соображений полной рациональности. Предполагается, что агент всегда выбирает наилучшее действие с целью максимизации полезности от приобретаемых или производимых им благ или от его поведения на рынке труда или капитала. При этом также подразумевается, что агент знает все возможности выбора и осведомлен о последствиях каждой альтернативы. Однако в последнее время на практике наблюдается отход от традиционного моделирования поведения экономического агента посредством максимизации функции полезности за счет моделирования ограниченной рациональности (например, при разработке агент-ориентированных моделей)<sup>6</sup>. Для регионального моделирования практический интерес представляют модели, в которых поведение экономических агентов сводится к решению задачи выхода на целевые траектории по заданному набору индикаторов социально-экономического развития<sup>7</sup>.

Ниже, в п. 1, предлагаются разработанные авторами основные принципы построения региональных макроэкономических моделей, позволяющие смягчить выявленные методические ограничения макроэкономического моделирования. В п. 2 описывается разработанная авторами макроэкономическая модель

региональной экономики, основанная на сформулированных принципах. В п. 3 рассматриваются прогнозно-аналитические технологии, реализованные на разработанной модели.

### 1. Основные принципы построения макроэкономических моделей

1. Разбиение экономики на секторы с сохранением логики воспроизводственного процесса.

На рис. 1 показано предлагаемое последовательное разбиение экономики на секторы, вытекающее из логики воспроизводственного процесса.

Первый уровень декомпозиции соответствует воспроизводственной модели К. Маркса. Второй уровень декомпозиции является логическим развитием марксовской модели.

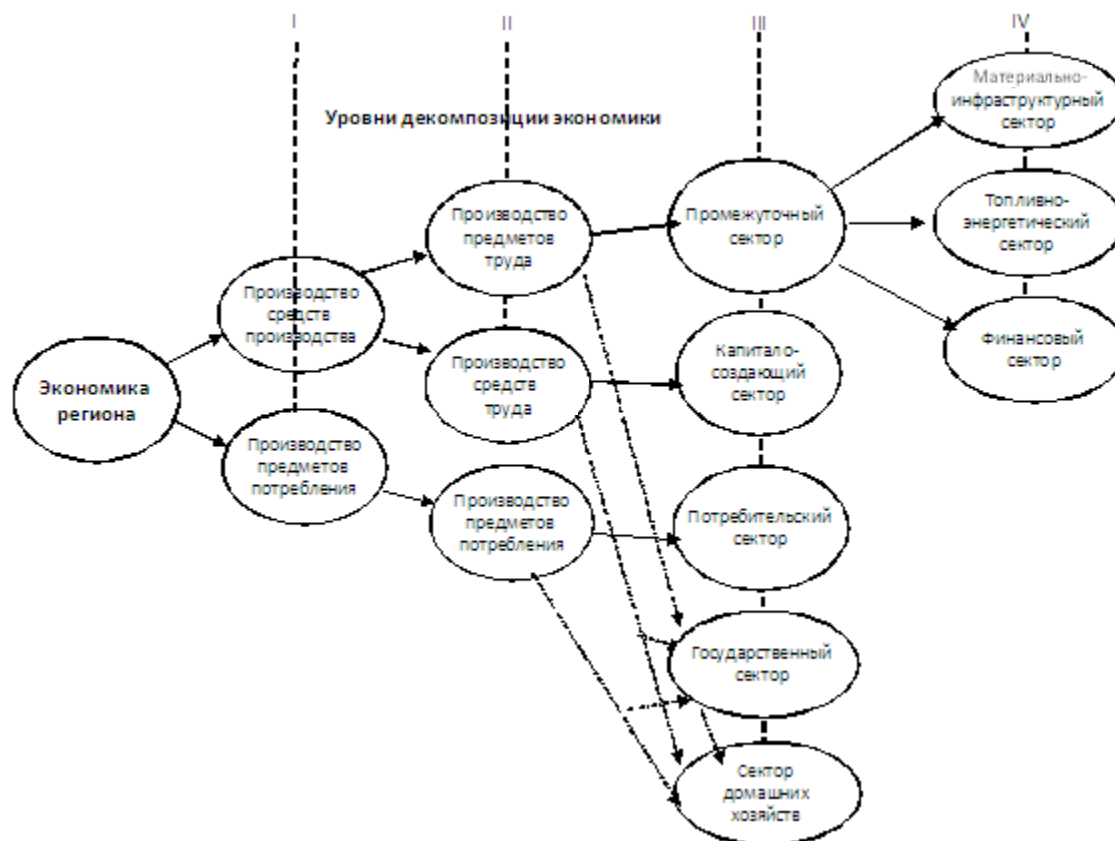


Рис. 1. Декомпозиция экономики на секторы

Трехсекторные модели широко используются в трудах советских экономистов<sup>8</sup>. Дальнейшая декомпозиция, связанная с выделением государственного сектора и сектора домашних хозяйств, выглядит также логично. Однако авторам не известны литературные аналоги данной пятисекторной модели. Разбиение промежуточного сектора на топливно-энергетический, финансовый и прочий

секторы позволяет отдельно учесть роли энергетики и финансового посредничества в экономике региона. Таким образом, экономика разбита на 7 секторов:

- ♦ материально-инфраструктурный сектор (сектор N): содержит виды деятельности по производству товаров и услуг для промежуточного потребления (кроме ТЭР и услуг финансового посредничества);

- ♦ топливно-энергетический сектор (сектор E): содержит виды деятельности по производству топливно-энергетических ресурсов;

- ♦ финансовый сектор (сектор F): содержит виды деятельности по финансовому посредничеству;

- ♦ капиталосоздающий сектор (сектор K): содержит виды деятельности по производству инвестиционных товаров и услуг;

- ♦ потребительский сектор (сектор C): производит потребительские товары и услуги для населения;

- ♦ государственный сектор (G): оказывает бесплатные коллективные и индивидуальные услуги хозяйствующим субъектам и населению;

- ♦ сектор домашних хозяйств (H): воспроизводит трудовые ресурсы.

При необходимости секторы III и IV уровней (см. рис. 1) можно подвергать дальнейшему дроблению.

## 2. Описание основных отношений экономических агентов в рамках воспроизводственного процесса.

Для построения модели сектора экономики как экономического агента предлагается формализовать следующую триаду отношений:

- ◆ что агент *должен* делать в рамках воспроизводственного процесса, задаваемых институтами общественного воспроизводства;
- ◆ что агент *может* сделать в рамках своего производственного потенциала;
- ◆ что агент *хочет* делать, т.е. его целевые ориентиры и стратегия поведения.

Отношение “долженствования” задается текущими потребностями и ограничениями общества и институтов общественного воспроизводства. “Жесткое” долженствование предполагает безоговорочное включение экономического агента в воспроизводственный процесс (как, например, в тоталитарной экономике). “Мягкое” долженствование соответствует неоклассическому идеалу, когда экономикой правит “невидимая рука рынка”, а производители ориентируются в условиях совершенной конкуренции. Отношение “агент может” описывает потенциальную возможность агента по выполнению своей функции. Триада “должен, может, хочет” предполагает наличие следующих трех моделей, которые, будучи объединенными через общие переменные, как раз и образуют единую макромоделю экономики:

- ◆ модель воспроизводственного процесса в виде модели общего равновесия, которая описывает движение ресурсов в секторах экономики (модель долженствования);
- ◆ модель потенциального выпуска, которая описывает изменение границ возможного выпуска в секторах экономики (экономических агентах) в зависимости от процессов ввода и выбытия основных производственных факторов (модель возможностей);
- ◆ модель поведения экономических агентов, которая задает цели и мотивы экономического роста в рамках потенциальных возможностей.

## 3. Использование продуктово-секторного баланса для общего динамического равновесия.

Продуктово-секторный баланс позволяет объединить в единый так называемый “баланс балансов” процессы производства и приобретения всех товаров и услуг в регионе: промежуточных товаров и услуг, услуг финансового посредничества, потребительских и инвестиционных товаров и услуг, государственных и трудовых услуг.

Пусть экономика разбита на  $M$  секторов и каждый  $J$ -й сектор ( $J = 1, 2, \dots, M$ ) выпускает некоторый обобщенный продукт  $j$  в объеме руб. в год. Предположим, что каждый сектор  $J$  ( $J = 1, 2, \dots, M$ ) в процессе производства приобретает свою продукцию и продукцию других секторов в объеме  $D_{j,J}$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ). Баланс на рынке продукта  $j$  ( ) запишется следующим образом:

$$(1)$$

В левой части баланса показан платежеспособный спрос секторов на приобретаемый продукт  $j$ , в правой части баланса - предложение продукта  $j$ . Здесь  $E_j(t)$  - вывоз (экспорт) продукта  $j$  сектором  $J$ ;  $I_j(t)$  - ввоз (импорт) продукта  $j$ -й экономикой;  $D_j(t)$  - прирост запасов продукта  $j$ .

Баланс доходов и расходов  $J$ -го сектора экономики ( $J = 1, 2, \dots, M$ ) будет следующим:

$$(2)$$

В левой части баланса показаны расходы сектора на приобретаемые продукты, в правой части баланса - доходы сектора  $J$ . Здесь  $\Delta J(t)$  - чистый вывоз добавленной стоимости в секторе  $J$ .

Для обеспечения общего динамического равновесия балансы на рынках продуктов (1) объединяются с балансами доходов и расходов секторов экономики (2) в единый продуктово-секторный баланс<sup>9</sup>.

## 4. Целевые ориентиры экономических агентов как основа формирования прогнозной траектории регионального развития.

Модели поведения экономических агентов следует строить в виде решения задачи

достижения целевых ориентиров. Причем на уровне региона приоритет в решении данной задачи должен принадлежать органам государственной власти в лице регионального руководства. Это связано с тем, что главной проблемой устойчивого развития региона является непримиримое противоречие интересов бизнеса и общества. Основная цель бизнеса - получение сверхприбылей в кратчайшие сроки, при этом рыночные отношения не способны сознательно учитывать экологические и социальные издержки экономического роста, оттого общество вправе устанавливать экологические, социальные и этические границы экспансии рыночной системы. Здесь главная роль должна принадлежать региональным властям как основному субъекту управления регионом.

В соответствии с перечисленными положениями модель поведения экономического агента можно свести к алгоритму решения следующей задачи достижения целевых ориентиров: *найти управленческие решения, допустимые в смысле ресурсных и институциональных ограничений, при которых индикаторы деятельности агента имели бы значения, максимально близкие к целевым траекториям.*

## 2. Описание модели

На рис. 2 показана концептуальная схема предлагаемой модели социально-экономической деятельности региона (СЭДР). Модель представлена как система управления, в состав которой входят три взаимосвязанных компонента:

- ◆ модель воспроизводственного процесса;
- ◆ модель потенциальных возможностей;
- ◆ модель поведения экономических агентов.

*Модель воспроизводственного процесса* описывает движение ресурсов в секторах экономики в контексте воспроизводственных отношений и формирует прогнозные траектории основных индикаторов социально-экономического развития региона:

$$Z(t) = [z_1(t), z_2(t), \dots, z_M(t)]. \quad (3)$$

*Модель потенциальных возможностей* описывает изменение границ возможного выпуска в секторах экономики в зависимости от динамики производственных факторов. Эта модель формирует пространство управленческих решений для экономических агентов .

*Модель поведения* экономических агентов замыкает управляющий контур. Основой

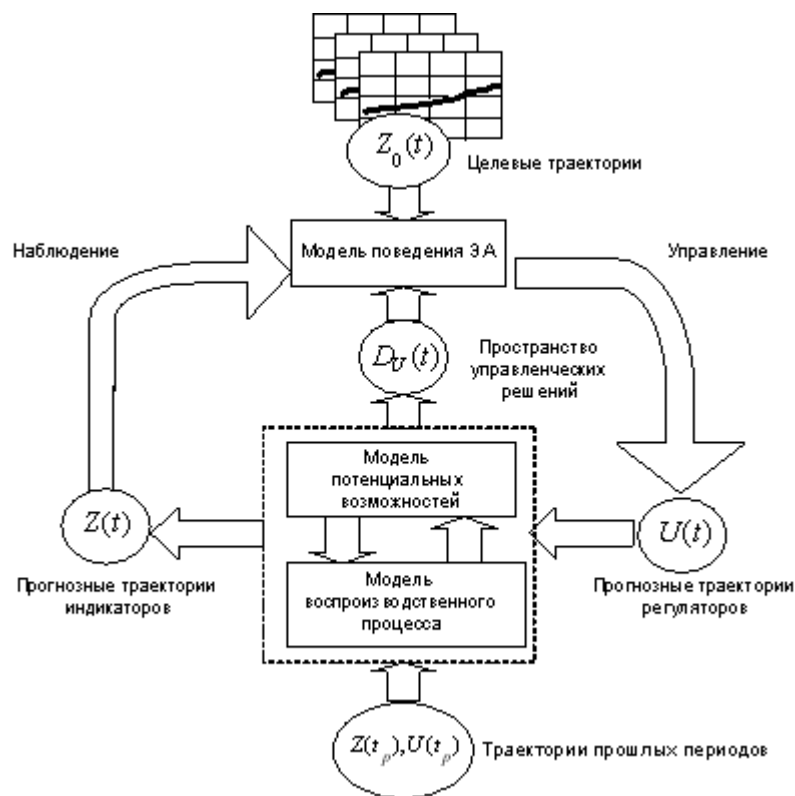


Рис. 2. Модель СЭДР как система управления

поведения экономических агентов являются целевые установки (траектории)  $Z^0(t)$ , которые ориентируют их действия в направлении, обеспечивающем достижение соответствующих целевых ориентиров. Агенты по наблюдаемым траекториям индикаторов  $Z(t)$  и с учетом их целевых значений  $Z^0(t)$  формируют допустимые управляющие воздействия на воспроизводственный процесс:

$$U(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_N(t)], \quad (4)$$

В реальной практике экономический агент, как правило, стремится к достижению нескольких целей, образующих дерево целей - систематизированный набор целевых установок субъекта управления.

Рассмотрим перечисленные модели подробнее.

Модель воспроизводственного процесса объединяет производственные функции секторов экономики. На рис. 3 приведена модель  $J$ -го сектора экономики ( ) как экономического агента. Предполагается, что каждый  $J$ -й сектор ( ) интегрированный "условный продукт",  $j (j = m, e, f, k, c, g, h)$ , при этом приобретаются продукты других секторов на соответствующих рынках товаров и услуг. Обобщенная производственная функция сектора

(ОПФ) формирует предложение сектора на соответствующем рынке (5) и спрос на продукцию других секторов экономики (6):

$$\begin{aligned} [D_{m,J}(t), D_{e,J}(t), D_{f,J}(t), D_{k,J}(t), \\ D_{c,J}(t), D_{g,J}(t), D_{h,J}(t)] = \\ = F_{T,J}(V_J(t), U(t)). \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь  $V_J^{dir}$  - желаемый (планируемый) выпуск  $J$ -го сектора;  $V_{kh,J}^{pot}$  - модель потенциального выпуска сектора по основным факторам производства;  $V_{mef,J}^{pot}$  - возможный выпуск  $J$ -го сектора по промежуточному потреблению;  $D_{\Sigma,J}$  - спрос на продукцию сектора;  $F_{T,J}$  - функционал, формирующий спрос  $J$ -го сектора на продукцию других секторов, включая спрос на товары и услуги для промежуточного потребления ( $D_{m,J}, D_{e,J}, D_{f,J}$ ), инвестиционные товары и услуги ( $D_{k,J}$ ), потребительские товары и услуги ( $D_{c,J}$ ), трудовые ресурсы ( $D_{h,J}$ ) и государственные услуги ( $D_{g,J}$ );  $U(t)$  - модель поведения экономиче-

$V_J^{pot} = F_{T,J}(V_J^{dir}, U(t))$   
 $V_{kh,J}^{pot} = F_{kh,J}(V_J^{dir}, U(t))$   
 $V_{mef,J}^{pot} = F_{mef,J}(V_J^{dir}, U(t))$

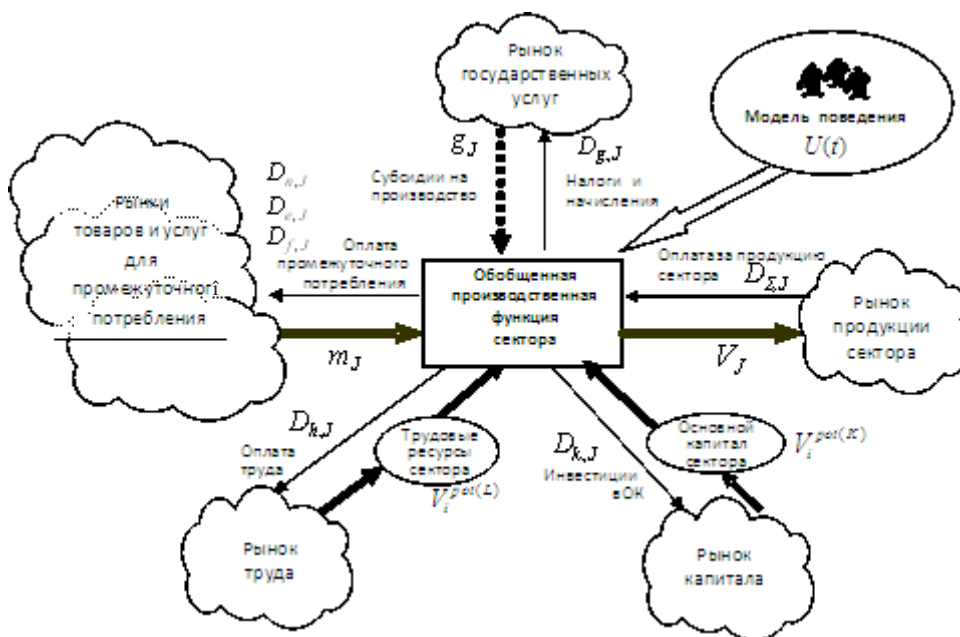


Рис. 3. Модель сектора экономики как экономического агента

ческих агентов (секторов экономики), она задает системную динамику.

Модели секторов экономики объединены в общую макромоделю воспроизводственного процесса через одноименные рынки производимых и приобретаемых продуктов. Баланс на рынке продукта  $j$  ( $j = n, e, f, k, c, g, h$ ) запишется следующим образом:

(7)

В левой части баланса показан платежеспособный спрос секторов на приобретаемый продукт  $j$ , в правой части баланса - предложение продукта  $j$ . Здесь  $E_j(t)$  - вывоз (экспорт) продукта  $j$  сектором  $J$ ;  $I_j(t)$  - ввоз (импорт) продукта  $j$  экономикой;  $\Delta j$  - прирост запасов продукта  $j$ .

Баланс доходов и расходов  $J$ -го сектора экономики ( $J = M, E, F, K, C, G, H$ ) будет следующим:

(8)

В левой части баланса показаны расходы сектора на приобретаемые продукты, в правой части баланса - доходы сектора. Здесь  $\Delta J(t)$  - чистый вывоз добавленной стоимости в секторе  $J$ . Для обеспечения общего динамического равновесия балансы на рынках продуктов (7) объединяются с балансами доходов и расходов секторов экономики (8) в единый продуктово-секторный баланс. В ста-

тье<sup>10</sup> сделан переход к балансу в текущих ценах, позволяющему учитывать инфляцию на рынках продуктов.

Параметры  $E_j(t)$ ,  $I_j(t)$ ,  $\Delta J(t)$ , ( $J = M, E, F, K, C, G, H$ ), по сути, являются параметрами агента "внешнее окружение".

Модель потенциальных возможностей описывает изменение границ возможного выпуска в секторах экономики в зависимости от динамики производственных факторов. В принятой модели сектора экономики можно выделить следующую систему ограничений, влияющую на рост выпуска продукции сектора:

- 1 - потенциал основных фондов сектора;
- 2 - потенциал трудовых ресурсов сектора;
- 3 - платежеспособный спрос на продукцию сектора;
- 4 - ограничения рынка товаров и услуг для промежуточного потребления;
- 5 - государственные ограничения (административные, экономические, правовые).

Первая пара из приведенных выше ограничений экономического роста представляет внутренние ограничения сектора экономики; следующие три ограничения являются для сектора внешними.

Важнейшей целью прогнозирования является оценка динамики сформулированных ограничений для принятия превентивных мер по устранению препятствий для экономического роста. На рис. 4 показаны два варианта роста региональной экономики: первый вариант описывает ситуацию, когда производственные факторы и спрос ограничивают экономический рост, второй вариант соответству-

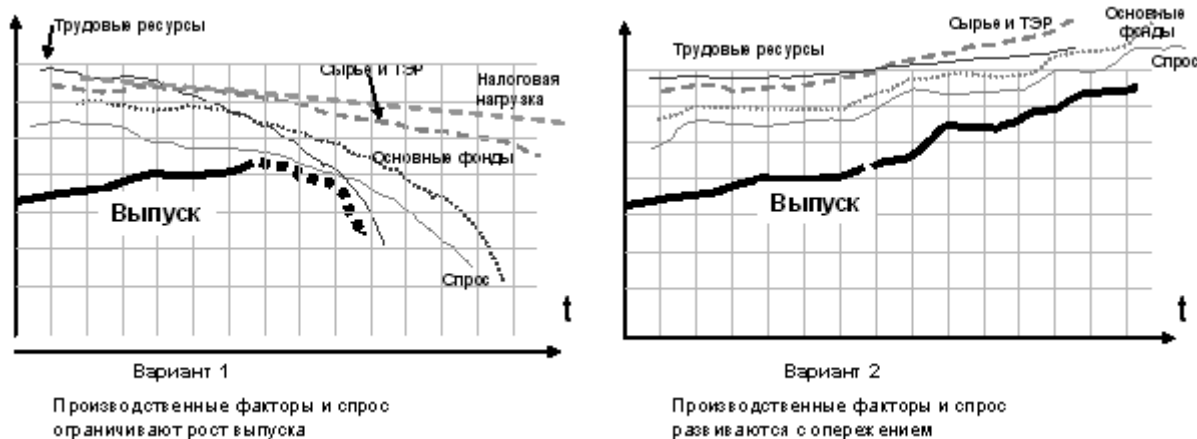


Рис. 4. Динамика ограничений экономического роста

ет ситуации, когда производственные факторы и спрос развиваются с опережением.

Модель потенциального выпуска  $J$ -го сектора экономики конструируется как композиция из потенциальных характеристик сектора по основным производственным факторам:

Здесь  $V_{mef,J}^{pot}$  - возможный выпуск  $J$ -го сектора по промежуточному потреблению;

$V_{kh,J}^{pot}$  - потенциальный выпуск по труду и капиталу;  $V_{g,J}$  - потенциальный выпуск сектора, ограниченный государством (налоговая нагрузка). Модель (9) формирует пространство управленческих решений  $D_U(t)$  для экономических агентов.

Модель поведения экономического агента предлагается строить как систему из двух частных моделей: эндогенной модели поведения и экзогенного сценария развития:

$$V_{mef,J}^{pot}(U,t) \geq \min\{V_{mef,J}^{pot}(U,t), V_{kh,J}^{pot}(U,t), V_{g,J}(U,t)\} U(t) = \begin{cases} U_{end}(t) = F_{end}(Z, Z^0, U_S, t) & - \text{ (10)} \\ \text{эндогенная модель поведения;} \\ U_S(t) = F_S(t) & - \\ \text{экзогенный сценарий развития.} \end{cases}$$

Эндогенная модель агента - это причинно-следственная модель, формирующая реакцию агента  $U_{end}(t)$  на наблюдаемые им параметры  $Z(t)$ . Авторами разработаны эндогенные модели следующих экономических агентов<sup>11</sup>: хозяйствующий субъект, домашние хозяйства, государство (в лице федеральных и региональных органов власти), внешнее окружение.

Основой поведения экономического агента являются целевые ориентиры, которые заставляют действовать в нужном направлении. В реальности экономический агент преследует не одну, а несколько целей, образующих так называемое дерево, или вектор, целей  $Z^0(t)$ .

Параметры экзогенного сценария  $U_S(t)$  задаются экспертно в виде траекторий их изменения на горизонте прогнозирования:

$$U_S(t) = [U_{S1}(t), U_{S2}(t), \dots, U_{Sm}(t)]. \quad (11)$$

Здесь

- векторы эк-

зогенных параметров экономических агентов. При экзогенном задании всех механизмов поведения эндогенная модель поведения исчезает ( $U_{end} = \emptyset$ ) и модель поведения (10) превращается в чистый сценарий. Другая крайность - полная эндогенизация модели поведения, т.е.  $U_S = \emptyset$ . Однако это состояние принципиально недостижимо. Во-первых, потому, что полная эндогенизация модели означает предопределенность развития. Во-вторых, потому, что некоторые параметры функционирования экономики являются внешними, т.е. принадлежат к "остальному миру". Идеальный сценарий в пределе должен содержать только такие переменные, которые являются управляющими параметрами экономической политики или формируются за рамками моделируемой экономической системы. В настоящем исследовании проблема сокращения количества экзогенных переменных решалась путем построения моделей поведения экономических агентов в виде решения задачи *достижения целевых ориентиров*, когда требуется найти допустимые значения регуляторов (4), при которых индикаторы развития (3) имели бы значения, лежащие в максимальной близости от целевых траекторий  $Z^0(t)$ . Такой подход позволяет существенно эндогенизировать сценарий  $U_S$ .

### 3. Модель исследователя

В задаче макроэкономического прогнозирования, кроме объекта моделирования и его макромоделей, обязательно присутствует субъект моделирования, а именно Исследователь - лицо, усилиями и в интересах которого осуществляется прогнозирование. Роль Исследователя оказывается решающей, ибо именно его цели, интересы и предпочтения формируют процесс исследования. Именно Исследователь задает целевые ориентиры и сценарии для экономических агентов, доводя модель региона до разрешимого состояния. В процессе экспериментов с моделью Исследователь выполняет две прогнозно-аналитические технологии:

1 - ситуационное прогнозирование, при котором по заданному сценарию на модели



рассчитываются траектории индикаторов развития;

2 - оценивание достижимости целевых ориентиров, когда по заданному индикативному плану рассчитывается сценарий, приводящий к желаемому результату.

*Технология ситуационного прогнозирования* является прямой технологией прогнозирования, когда на модели отрабатываются возможные варианты развития по принципу “что будет, если...” в рамках пропорций, задаваемых сценарием  $U_S(t)$ :

$$Z(t) = M(U_{end}(t), U_S(t)), \quad (12)$$

Здесь  $M$  - имитационная версия региональной макроэкономической модели.

Разработана форма представления сценариев регионального развития в виде многоуровневых *сценарных карт*, содержащих структурированный набор экзогенных параметров модели поведения субъектов региона и внешнего окружения на горизонте прогнозирования<sup>12</sup>. Задаваемый сценарий развития является стержнем формирования прогнозных траекторий основных индикаторов развития. С математической точки зрения, сценарий является неотъемлемой частью модели объекта исследования, добавляющей в модель экспертные знания о внешних событиях и поведении действующих лиц, которые трудно формализовать. Сценарий позволяет через отклик модели сопоставлять экспертные предположения специалистов различных предметных областей, давая возможность *балансировать амбиции* экспертов, участвующих в прогнозировании.

Имитационная версия разработанной макроэкономической модели является моделью системной динамики форрестеровского типа со сложной структурой обратных связей, обусловленных взаимодействием экономических агентов. Каждый агент участвует сразу в нескольких взаимодействиях. Так, например, агент “домашние хозяйства” (сектор Н) выступает покупателем на рынке потребительских и инвестиционных товаров и услуг, продавцом на рынке труда, кредитором и дебитором на рынке финансовых услуг, а также налогоплательщиком. Экономические агенты, составляющие реальный сектор экономики (секторы N, E, F, K, C), являются покупателя-

ми на товарно-сырьевых рынках, рынках трудовых ресурсов, капитальных товаров и услуг, а также продавцами на рынке готовой продукции. Они являются и налогоплательщиками, т.е. покупателями государственных услуг. Экономический агент “государство”, будучи покупателем на всех рынках товаров и услуг, оказывает индивидуальные и коллективные услуги экономическим агентам и за это получает плату в виде налогов.

Последовательность вычислений при прогнозировании задается моделью воспроизводственного процесса (текущими потребностями и ограничениями институтов общественного воспроизводства). При этом прогнозная динамика показателей формируется за счет:

- ◆ динамики экзогенного сценария  $U_S(t)$ ;
- ◆ эндогенных моделей поведения взаимодействующих агентов  $U_{end}(t)$ ;
- ◆ инерции показателей (наличия дифференциальных уравнений);
- ◆ наличия лаговых переменных (демографических, капитальных).

Действия агента стеснены ограничениями двух типов: собственными и внешними. Собственные ограничения связаны с потенциальной возможностью агента выполнять свою функцию (см. модель потенциального выпуска). Это технологические и бюджетные ограничения потребителей. Технологические ограничения формируются моделью потенциального выпуска агента и не допускают, чтобы выпуск продукции был больше производственной мощности. Бюджетные ограничения связаны с текущей платежеспособностью агента. Внешние ограничения возникают со стороны рынков - товарно-сырьевых, трудовых ресурсов, инвестиционных товаров и услуг, готовой продукции, государственных услуг. Используемый при расчетах динамики модели продуктово-секторный баланс, являющийся, по сути, выражением закона сохранения материи, обеспечивает полную сбалансированность получаемого прогноза  $Z(t)$  для любого временного сечения  $t$ .

*Оценивание достижимости целевых ориентиров* является самой сложной задачей индикативного планирования. Особен-

ность задачи заключается в том, что целевые ориентиры, как правило, являются противоречивыми, и обеспечение условия их достижения всей совокупностью индикаторов развития математически неразрешимо. Например, требования роста уровня пенсионных выплат противоречат целям увеличения нормы накопления основного капитала; уменьшение налогового бремени противоречит целям увеличения бюджетной обеспеченности и т.п. Для формирования компромиссного решения введен критерий эффективности  $Q$ , характеризующий общую "неудовлетворенность" из-за отклонения вектора индикаторов  $Z(t)$  от целевых траекторий  $Z^0(t)$ :

$$Q = \sum_{i=1}^N Q_i = \sum_{i=1}^N \left\{ g_i \sum_{k=1}^T \left| \frac{z_i(t_k)}{z_i^0(t_k)} - 1 \right| \right\}. \quad (13)$$

Здесь  $Q_i$  - штраф за отклонение индикатора  $z_i(t)$  от целевой траектории  $z_i^0(t)$ ;  $g_i$  - вес (важность)  $i$ -го индикатора  $i = 1, 2, \dots, N$ . При этом задача достижимости целевых ориентиров сводится к следующей задаче оптимизации: "Найти допустимый сценарий развития  $U(t) \in D_U(t)$ , минимизирующий общую "неудовлетворенность" от недостижения заявленных целевых ориентиров,  $t \in [t_1, t_2, \dots, t_T]$ ".

(14)

В содержательном смысле, задача (14) является обратной задаче ситуационного прогнозирования (12), в которой по заданному сценарию развития  $U(t)$  на макроэкономической модели объекта  $M(U(t))$  рассчитываются траектории индикаторов. Процедура решения задачи (14) сводится к целенаправленной последовательности задач сценарного прогнозирования (12), формируемой по некоторому алгоритму. Это может быть, например, градиентная схема поиска с использованием процедур последовательного планирования эксперимента. Трудоемкость ре-

шения задачи (14) зависит от размерности вектора  $U_S$  сценарных параметров ( $L$ ), количества точек на горизонте прогнозирования ( $T$ ) и количества испытаний на интервале регулирования ( $b$ ):

$$W = a_0 b^{L \cdot T}. \quad (15)$$

Здесь  $a_0$  - трудоемкость однократного решения задачи ситуационного прогнозирования (например, 1 с);  $L \cdot T$  - количество параметров, значения которых варьируются при решении задачи (14).

Минимально возможная трудоемкость для градиентных схем поиска с использованием процедур последовательного планирования эксперимента не может быть меньше

. Здесь  $b = 2$ , т.е. для каждого

регулятора рассматриваются только две крайние точки интервала регулирования. Даже в этом случае при  $L \cdot T = 25$  время счета будет превышать год! Ясно, что градиентные схемы поиска не годятся для долгосрочных горизонтов ( $T > 10$ ) и реальных сценариев ( $L > 50$ ).

Одним из авторов разработан метод решения обратных задач класса (14) большой размерности, обладающий линейной трудоемкостью<sup>13</sup>:

$$W \approx a_0(N \cdot T). \quad (16)$$

Например, поиск наилучшего сценария с числом регуляторов  $L = 100$  на горизонте  $T = 20$  лет (т.е.  $L \cdot T = 2000$ ) составляет 20 мин для компьютера средней мощности. Метод апробирован при формировании стратегий развития Самарской области и Красноярского края.

Разработанная модель, а также технологии ситуационного прогнозирования и индикативного планирования положены в основу создания целой серии прогнозно-аналитических систем и комплексов для региональных органов государственной власти. Эти прогнозно-аналитические системы и комплексы внедрены в органах государственной власти ряда субъектов РФ, в том числе в Санкт-Петербургском информационно-аналитическом центре при правительстве Санкт-Петербурга, в правительствах Самарской и Ленинградской областей, Красноярского и Алтайского краев, Республики Коми.

<sup>1</sup> Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики. М., 2008.

<sup>2</sup> Поспелов И.Г. Экономические агенты и системы балансов : препринт WP2/2001/03. М., 2001.

<sup>3</sup> Хасаев Г.Р., Цыбатов В.А. Основные проблемы макроэкономического прогнозирования региональных социально-экономических систем // Вестн. Самар. гос. экон. ун-та. Самара, 2012. □ 2.

<sup>4</sup> Новые принципы и методы разработки макромоделей экономики и модель современной экономики России / И.Г. Поспелов [и др.]. М., 2005.

<sup>5</sup> Бахтизин А.Р. Указ. соч.

<sup>6</sup> Tesfatsion L. Agent-Based Computational Economics // A Constructive Approach to Economic Theory. Mimeo, 2005.

<sup>7</sup> Цыбатов В.А. Моделирование экономического роста. Самара, 2006.

<sup>8</sup> Дадаян В.С. Макроэкономические модели. М., 1983.

<sup>9</sup> Цыбатов В.А. Новая модель для макроэкономического прогнозирования // Развитие региональных социально-экономических систем : сб. науч. тр. / науч. ред. Г.Р. Хасаев. Самара, 2011.

<sup>10</sup> Там же.

<sup>11</sup> Хасаев Г.Р., Цыбатов В.А. Макроэкономическая модель для регионального прогнозирования // Российские регионы: экономический кризис и проблемы модернизации / под ред. Л.М. Григорьева [и др.]. М., 2011. С. 282-314.

<sup>12</sup> Цыбатов В.А. Моделирование ...

<sup>13</sup> Цыбатов В.А. Технология индикативного планирования для задач стратегирования регионального развития // Проблемы анализа и моделирования региональных социально-экономических процессов : сб. докл. III Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 2012.

*Поступила в редакцию 10.07.2012 г.*