

Выражаем объемы предложения через λ^* , получаем:

$$E[I_k]^* = 0.5\Delta\gamma^{k-1}\lambda^{*2}(1-\lambda^*)^{2k-2}.$$

Следовательно, суммарные остатки $E[I]^*$ равны:

$$E[I]^* = \sum_{k=1}^{\infty} E[I_k]^* = 0.5\Delta\lambda^{*2} \sum_{k=1}^{\infty} \gamma^{k-1}(1-\lambda^*)^{2k-2}. \blacksquare$$

Доказательство теоремы 2. Решение задачи оптимизации (11) выполним в два этапа: сначала найдем оптимальное решение для задачи безусловной оптимизации, а затем покажем, что оно принадлежит множеству допустимых стратегий S .

Обозначим через f целевую функцию задачи (11). Необходимое условие существования экстремума функции f имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial E[c]}{\partial S_1} &= B(S_1 - \underline{D}) - A(\overline{D} - S_1) - \beta B(S_2 - \gamma S_1) = 0; \\ \frac{\partial E[c]}{\partial S_2} &= B(S_2 - \gamma S_1) - A(\gamma \overline{D} - S_2) - \beta B(S_3 - \gamma S_2) = 0; \\ \frac{\partial E[c]}{\partial S_{T-1}} &= B(S_{T-1} - \gamma S_{T-2}) - A(\gamma^{T-2} \overline{D} - S_{T-1}) - \beta B(S_T - \gamma S_{T-1}) = 0; \\ \frac{\partial E[c]}{\partial S_T} &= B(S_T - \gamma S_{T-1}) - A(\gamma^{T-1} \overline{D} - S_T) = 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Пусть стратегия $S^0 = (S_1^0, S_2^0, \dots, S_T^0)$ удовлетворяет системе уравнений (23), т.е. это стационарная точка функции f . Покажем, что на стратегии S^0 достигается максимум функции f . Достаточным условием существования минимума в точке S^0 является положительная определенность

следующей квадратичной формы: $\sum_{i,j=1}^T a_{ij} dS_i dS_j$, где $a_{ij} = \frac{\partial^2 f(S^0)}{\partial S_i \partial S_j}$.

Воспользуемся критерием Сильвестра, который запишем как цепочку неравенств:

$$\Delta_1 = a_{11} > 0; \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} > 0; \dots; \Delta_T = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1T} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{T1} & a_{T2} & \dots & a_{TT} \end{vmatrix} > 0,$$

что эквивалентно положительности главных миноров матрицы вторых производных:

$$\begin{pmatrix} A+B+\gamma\beta B & -\beta B & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -\gamma B & A+B+\gamma\beta B & -\beta B & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -\gamma B & A+B+\gamma\beta B & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & A+B+\gamma\beta B & -\beta B \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -\gamma B & A+B \end{pmatrix}.$$

Положим, что $\Delta_0 = 1$. Легко показать, что для Δ_i , $i = 1, \dots, T$ верны соотношения:

$$\Delta_1 = (A+B+\gamma\beta B); \Delta_i = (A+B+\gamma\beta B)\Delta_{i-1} - \gamma\beta B^2\Delta_{i-2}, \quad i = 2, \dots, T-1;$$

$$\Delta_T = (A+B)\Delta_{T-1} - \gamma\beta B^2\Delta_{T-2}.$$

Докажем, что определители $\Delta_i, i = 1, \dots, T-1$ удовлетворяют неравенствам:

$$\Delta_i > \gamma\beta B\Delta_{i-1}, \quad i = 1, \dots, T-1. \quad (24)$$

Заметим, что так как $\Delta_0 > 1$ и $\gamma > 0, \beta > 0, B > 0$, то из неравенства (24) автоматически следует положительность определителей $\Delta_i, i = 1, \dots, T-1$. Воспользуемся индукцией по i .

$$i = 1: A + B > 0 \Leftrightarrow A + B + \gamma\beta B > \gamma\beta B \Leftrightarrow \Delta_1 > \gamma\beta B\Delta_0.$$

Пусть $\Delta_j, j \in 1: j-1 (j < T)$ удовлетворяет соотношениям (24). Докажем, что для Δ_j выполнено неравенство $\Delta_j > \gamma\beta B\Delta_{j-1}$:

$$\begin{aligned} \gamma\beta B\Delta_{j-2}A > 0 &\Leftrightarrow (A+B)\gamma\beta B\Delta_{j-2} - \gamma\beta B^2\Delta_{j-2} > 0 \Leftrightarrow (A+B)\Delta_{j-1} - \gamma\beta B^2\Delta_{j-2} > 0 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow (A+B+\gamma\beta B)\Delta_{j-2} - \gamma\beta B^2\Delta_{j-2} > \gamma\beta B^2\Delta_{j-1} \Leftrightarrow \Delta_j > \gamma\beta B\Delta_{j-1}. \end{aligned}$$

Теперь покажем положительность определителя Δ_T :

$$\gamma\beta B\Delta_{T-2}A > 0 \Leftrightarrow (A+B)\gamma\beta B\Delta_{T-2} - \gamma\beta B^2\Delta_{T-2} > 0 \Leftrightarrow (A+B)\Delta_{T-1} - \gamma\beta B^2\Delta_{T-2} > 0 \Leftrightarrow \Delta_T > 0.$$

Таким образом, мы доказали, что стационарная точка S^0 – точка минимума функции f . Остается убедиться, что стратегия S^0 – допустимая стратегия из множества $\mathbb{S}$. Предположим, что $(S_1^0, S_2^0, \dots, S_T^0)$ – решение системы (22), но при этом выполнено:

$$\gamma^{T-1}\bar{D} < S_T^0. \quad (25)$$

Это означает, что S_T^0 не принадлежит интервалу спроса в период T , следовательно, $S^0 \notin \mathbb{S}$. Из неравенства (25) и последнего уравнения системы (23) вытекает, что в первом слагаемом выражение в скобках должно быть отрицательным, т.е. $S_T^0 < \gamma S_{T-1}^0$. Таким образом, имеем:

$$\begin{aligned} \gamma^{T-1}\bar{D} < S_T^0 \\ S_T^0 < \gamma S_{T-1}^0 \end{aligned} \Rightarrow \gamma^{T-2}\bar{D} < S_{T-1}^0.$$

Далее из предпоследнего уравнения системы следует, что $S_{T-1}^0 < \gamma S_{T-2}^0$ и т.д. Из второго уравнения системы получаем, что $S_2^0 < \gamma S_1^0$. В итоге выполнена цепочка неравенств:

$$\gamma^{T-1}\bar{D} < S_T^0; \quad S_T^0 < \gamma S_{T-1}^0; \quad S_{T-1}^0 < \gamma S_{T-2}^0; \quad \dots S_2^0 < \gamma S_1^0.$$

Суммируя их, получаем, что $\bar{D} < S_1^0$. Но для того, чтобы было выполнено первое уравнение системы, первое его слагаемое должно быть отрицательным, т.е. $S_1^0 < \bar{D}$. Таким образом, возникает противоречие, наше предположение (25) неверно и выполнено обратное неравенство $\gamma^{T-1}\bar{D} \geq S_T^0$.

Из тех же рассуждений получаем цепочку обратных неравенств:

$$\gamma^{T-1}\bar{D} \geq S_T^0; \quad S_T^0 \geq \gamma S_{T-1}^0; \quad S_{T-1}^0 \geq \gamma S_{T-2}^0; \quad \dots S_2^0 \geq \gamma S_1^0; \quad S_1^0 \geq \bar{D},$$

откуда $S^0 \in \mathbb{S}$.

Мы доказали, что точка минимума функции f (решение системы уравнений (23)) принадлежит множеству допустимых стратегий $\mathbb{S}$ и поэтому является оптимальным решением задачи (11). Задача оптимизации сводится к решению системы линейных уравнений:

$$\begin{pmatrix} A+B+\gamma\beta B & -\beta B & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -\gamma B & A+B+\gamma\beta B & -\beta B & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -\gamma B & A+B+\gamma\beta B & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & A+B+\gamma\beta B & -\beta B \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -\gamma B & A+B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ \vdots \\ S_{T-1} \\ S_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A\bar{D}+B\bar{D} \\ \gamma A\bar{D} \\ \gamma^2 A\bar{D} \\ \vdots \\ \gamma^{T-2} A\bar{D} \\ \gamma^{T-1} A\bar{D} \end{pmatrix}.$$

Матрица данной системы имеет трехдиагональный вид. Системы линейных уравнений такого вида решаются методом прогонки (Самарский, Гулин, 1989), в ходе которого сначала вычис-

ляются так называемые прогоночные коэффициенты, а затем определяется решение системы. Обозначим через $u_i, v_i, i = 1, \dots, T$ прогоночные коэффициенты данной системы линейных уравнений. Они находятся по формулам:

$$u_2 = \frac{\beta B}{A+B+\gamma\beta B}, \quad v_2 = \frac{AD+BD}{A+B+\gamma\beta B};$$

$$u_{i+1} = \frac{\beta B}{A+B+\gamma\beta B - \gamma B u_i}, \quad v_{i+1} = \frac{\gamma^{i-1} AD + \gamma B v_i}{A+B+\gamma\beta B - \gamma B u_i}, \quad i = 2, \dots, T-1. \quad (26)$$

Решение системы линейных уравнений имеет вид:

$$S_T^* = \frac{\gamma^{T-1} AD + \gamma B v_T}{A+B-\gamma B u_T}, \quad S_i^* = u_{i+1} S_{i+1} + v_{i+1}, \quad i = T-1, \dots, 1. \quad (27)$$

Для корректности использования метода прогонки необходимо, чтобы знаменатели в выражениях (26) и (27) были отличными от нуля. Докажем, что для коэффициентов $u_i, i = 2, \dots, T$ выполнены условия:

$$u_i > 0, \quad u_i < \beta, \quad u_i < 1/\gamma, \quad i = 2, \dots, T. \quad (28)$$

Доказательство проведем методом математической индукции.

Легко проверить, что коэффициент u_1 удовлетворяет условиям (28). Предположим, что для коэффициентов $u_i, i = 2, \dots, i$ имеют место условия (28). Покажем, что условия (28) выполнены также для u_{i+1} :

$$1) \beta - u_i > 0 \Rightarrow A+B+\gamma B(\beta - u_i) > 0 \Leftrightarrow u_{i+1} = \frac{\beta B}{A+B+\gamma\beta B - \gamma B u_i} > 0;$$

$$2) \beta - u_i > 0 \Rightarrow 0 < A+\gamma B(\beta - u_i) \Leftrightarrow B/[A+B+\gamma B(\beta - u_i)] < 1 \Leftrightarrow u_{i+1} = \beta B/[A+B+\gamma\beta B - \gamma B u_i] < \beta;$$

$$u_i < 1/\gamma \Rightarrow 0 < A+B(1-\gamma u_i) \Leftrightarrow \gamma\beta B < A+B+\gamma\beta B - \gamma B u_i \Leftrightarrow u_{i+1} = \beta B/[A+B+\gamma\beta B - \gamma B u_i] < 1/\gamma.$$

Доказанное утверждение исключает деление на ноль при вычислении прогоночных коэффициентов $u_i, v_i, i = 1, \dots, T$ и объема предложения S_T^* . Таким образом, корректность применения метода прогонки для решения системы линейных уравнений (23) полностью доказана. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беллман Р. (1960): Динамическое программирование. М.: ИЛ.
 Рыжиков Ю.И. (1969): Управление запасами. М.: Наука.
 Рыжиков Ю.И. (2001): Теория очередей и управление запасами. СПб.: Питер.
 Самарский А.А., Гулин А.В. (1989): Численные методы. М.: Наука.
 Хруцкий Е.А., Геронимус Б.Л. (1974): Проблемы оптимизации планирования материально-технического снабжения // *Экономика и мат. методы*. Т. 10. Вып. 3.
 Хруцкий Е.А. (1977): Оптимизация хозяйственных связей и материальных запасов. М.: Экономика.
 Хруцкий Е.А., Сакович В.А. (1978): Некоторые вопросы взаимоувязанного планирования производства и снабжения // *Экономика и мат. методы*. Т. 14. Вып. 1.
 Alpern S., Snower D. (1987): Inventories as an Information-Gathering Device. London School of Economics: ICERD. Discussion paper № 87/151. Vol. 3. № 1.
 Mula J., Poler R., Garcia-Sabater J.P., Lario F.C. (2006): Models for Production Planning under Uncertainty: A Review // *International Journal of Production Econ.* Vol. 103. № 1.
 Sethi S.P., Yan H., Zang Q. (2006): Optimal and Hierarchical Controls in Dynamic Stochastic Manufacturing Systems: A Survey // *Manufacturing and Service Operations Management*. Vol. 4. № 2.
 Yano C.A., Lee H.L. (1995): Lot Sizing with Random Yields: A Review // *Operations Res.* Vol. 43. № 2.

Поступила в редакцию

05.05.2009 г.

Determination of the Optimal Production output under Informational Uncertainty of Demand

V.V. Bukhvalova, A.V. Petrusevich

We consider a problem of finding optimal production output when the product price is fixed and demand is not stochastic but unknown—the firm meets with informational uncertainty. We get the optimal multi-step strategy to find production output, which minimizes the expected total cost of production (including alternative costs). The case of constant rate changes in demand is considered. It is necessary to treat differently finite-step and infinite-step models. The potential of the model is illustrated on the case of the product policy in ZAO "Ford Motor Company" in 2000s.

Keywords: Stochastic model, production output, demand uncertainty, optimal strategy.

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

**РАЗВИТИЕ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ МОДЕЛИ
ВОСПРОИЗВОДСТВЕННОЙ И ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДИНАМИКИ**

© 2011 г. Г.В. Мартынов, У.Х. Малков

(Москва)

Данная работа является частью исследований системы динамических моделей анализа и прогнозирования макроэкономических взаимодействий рынков товаров, труда, инвестиций и денег (Мартынов, 1999; Мартынов, Малков, 2001, 2002, 2003, 2007) и посвящена описанию межотраслевой модели анализа и прогнозирования динамики воспроизводственных и инвестиционных процессов с учетом опыта ее экспериментальной реализации¹. Модель имеет прикладной характер, оперирует линейными зависимостями между производственными затратами отраслей материального производства и выпуском товаров и услуг в последовательные отрезки времени и как бы повторяет теоретические модели Леонтьева, Неймана, Канторовича (Леонтьев, 1958; Канторович, 1964; Моделирование, 1973), но является сборкой различных элементов прикладных межотраслевых динамических моделей, широко известных в отечественной литературе (Аганбегян, Багриновский, Гранберг, 1972; Баранов, 1968; Вальтух, 1970; Гранберг, 1985; Ключев, 1969; Коссов, 1973; Макаров, Рубинов, 1973; Шапилов, 1967).

Ключевые слова: динамическая межотраслевая модель, воспроизводственные и инвестиционные процессы, стратегии макроэкономического регулирования, траектории развития экономики, экономический рост.

1. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Данная работа является частью исследований системы динамических моделей анализа и прогнозирования макроэкономических взаимодействий рынков товаров, труда, инвестиций и денег (Мартынов, 1999; Мартынов, Малков, 2001, 2002, 2003).

Модель ориентирована на прогнозирование межотраслевой динамики производственной и воспроизводственной деятельности в условиях частичного равновесия рынка товаров и услуг, а также на учет эффекта от таких мер макроэкономического регулирования межотраслевой динамики развития материального производства, как увеличение ставки номинальной заработной платы, ослабление ограничений на предложение выпуска, изменение ставок налогов, процента за кредит, доли государственных расходов во внутреннем валовом продукте и др.

Хозяйствующими субъектами в модели являются совокупности институциональных единиц, однородных с точки зрения выполняемых функций и источников финансирования. Выделяются отрасли материального производства, кредитная система (совокупность финансовых учреждений), совокупность отраслей и учреждений нематериального производства, население и "остальная часть мировой экономики". Отрасли условно делятся на производящие товары (промышленность, сельское и лесное хозяйство, строительство, прочие виды деятельности по производству товаров) и оказывающие услуги (транспорт и связь, торговля, заготовки, материально-техническое снабжение и реализация, прочие отрасли материального производства).

Присутствующие на рынке товары делятся на потребительские и инвестиционные. Различия между ними связываются в модели со спросом, поскольку спрос на потребительские и инвестиционные товары зависит от разных переменных. Чтобы разграничить рынки потребительских и

¹ Вопросы согласования межотраслевой модели с другими моделями системы выходят за рамки данной статьи.

инвестиционных товаров, в модель вводятся в качестве экзогенных переменных относительные цены этих товаров.

Рынок товаров и услуг должен находиться в равновесии, которое достигается в модели, когда спрос на выпуск отраслевой продукции равняется ее предложению. Спрос на выпуск рассматривается в разрезе традиционных элементов: потребительский и инвестиционный виды спроса; закупки учреждений, обслуживающих население; спрос на прирост материальных оборотных средств и запасов государственных резервов и внешнеторговый спрос на экспортную продукцию.

Инвестиционный спрос в большей степени, чем потребление (исходя из предположения, что государственные расходы и расходы учреждений, обслуживающих население, являются в модели внешним фактором), служит источником динамики выпуска и структурных сдвигов. Инвестиционный спрос моделируется по отраслям материального производства с учетом воспроизводственной структуры основного капитала и зависит от ставки процента за кредит и уровня выпуска.

Динамика основного капитала отрасли связана в модели с процессами выбытия (текущего и единовременного), амортизации и ввода новых основных фондов. Структура (воспроизводственная и технологическая) и уровни капитальных затрат связаны со сроками службы основных фондов.

Воспроизводство основного капитала согласуется по отраслям и годам расчетного периода. Воспроизводственная структура основного капитала представлена простым воспроизводством, капитальным ремонтом и расширенным воспроизводством (реконструкцией, техническим перевооружением, расширением и новым строительством).

Проблема простого воспроизводства включает проблему амортизации. Общая сумма амортизации за срок службы основного капитала должна быть достаточной для их реновации. Поэтому в модели сроки службы, положенные в основу расчета нормы амортизации, представляют собой тот параметр, на котором базируется процедура возмещения. Нормативные сроки службы основного капитала в перспективных расчетах отождествляются с фактическими сроками службы, которые, в свою очередь, основываются на экспертных оценках. Возрастная структура старых основных производственных фондов на начало расчетного периода принимается на основе статистических данных.

Жизненный цикл основного капитала в модели начинается со стадии ввода в эксплуатацию и заканчивается выбытием и заменой. Между этими двумя стадиями рассматриваются стадии нормальной эксплуатации и старения.

Потребительский спрос домашних хозяйств оценивается в модели специальной потребительской функцией, для которой с помощью коэффициентов предельной склонности к потреблению и реального дохода населения формируется структура потребления конечной продукции. Конечное потребление населения включает расходы на покупку отечественных и импортных товаров и услуг, а также стоимость тех товаров и услуг, которые население получает бесплатно от органов государственного управления и от некоммерческих организаций в качестве социальных трансфертов. Совокупное конечное потребление населения удовлетворяет ограничению по доходу населения, используемому на приобретение отечественных и импортных потребительских товаров и услуг. Количества потребляемых в каждый промежуток времени населением товаров и услуг являются эндогенными переменными, относительно которых строится целевая функция модели.

Сделаем несколько замечаний о механизме межотраслевых взаимодействий. В модели он базируется на матрице межотраслевых потоков ("затраты–выпуск"), которая дает информацию об отраслевой структуре материального производства и благодаря которой можно проследить цепочку межотраслевых связей. Включение межотраслевого блока в модель определяет специфику работы с ней по сравнению с традиционным межотраслевым балансом. Межотраслевые пропорции в модели рассчитываются на фоне инвестиционных, денежно-кредитных и финансовых возможностей отраслей. Такой подход позволяет моделировать альтернативы межотраслевого развития экономики и получать широкий диапазон решений, основанных, с одной стороны,

на использовании различных вариантов материальных и финансовых ресурсов, а с другой – на соответствующих ограничениях межотраслевых пропорций.

Преимущество прогноза динамики рынка товаров и услуг с помощью межотраслевых динамических соотношений заключается еще и в том, что даже с учетом ряда допущений подобный прогноз дает информацию о сбалансированности как объемных, так и структурных показателей экономики. Межотраслевые соотношения позволяют учесть взаимообусловленность темпов роста и структурных сдвигов, а также взаимосвязи между темпами роста отдельных отраслей.

Отметим, что предложение товаров и услуг на рынке однозначно определяется занятостью на рынке рабочей силы, а фактический совокупный спрос на рабочую силу – фактически произведенным продуктом и, следовательно, достигает равновесия, когда рынок товаров находится в равновесии. Иными словами, при равновесии рынка товаров и услуг спрос на рабочую силу может не полностью поглощать существующий в каждый промежуток времени ресурс рабочей силы.

Основу межотраслевой модели составляют материальные балансы производства и распределения продукции:

$$x_i(t) - \sum_j \hat{a}_{ij}(t)x_j(t) - \sum_j \sum_{\tau=t-1-\hat{\theta}_j}^{t-1} \hat{b}_{ij}^1(t, \tau) \Delta V_j(\tau) - \sum_j \sum_{\tau=1}^{t+\hat{\theta}_{ij}} \hat{b}_{ij}^2(t, \tau) \Delta V_j(\tau) - \quad (1) \\ - R_i(t) + R_i(t-1) - \hat{y}_i^{\text{OT}}(t)\lambda(t) \geq \hat{g}_i(t) + EX_i(t),$$

где t, τ – временные параметры; i, j – номера отраслей; $x_i(t)$ – предложение реального выпуска продукции отрасли; $\Delta V_j(t)$ – объем ввода основного капитала отрасли в ценах базового периода; $R_i(t)$ – реальный спрос на материальные оборотные средства и запасы государственных резервов, формируемых из продукции отрасли; $\lambda(t)$ – число комплектов потребительских товаров, используемых населением; $\hat{g}_i(t)$ – реальные закупки продукции отрасли учреждениями сферы нематериального производства; $\hat{y}_i^{\text{OT}}(t)$ – предпочтительный уровень реального потребления населением отечественных товаров и услуг, произведенных отраслью; $EX_i(t)$ – иностранный спрос на продукцию отрасли в ценах базового периода; $\hat{a}_{ij}(t)$ – текущие затраты продукции отрасли i на единицу выпуска продукции отрасли j , исчисленные в ценах базового периода; $\hat{b}_{ij}^1(t, \tau)$ – капитальные затраты продукции отрасли i в период t на простое воспроизводство единицы основного капитала отрасли j , введенного в период τ , в ценах базового периода; $\hat{b}_{ij}^2(t, \tau)$ – капитальные затраты продукции отрасли i в период t для прироста в период τ единицы основного капитала отрасли j в ценах базового периода; $\hat{\theta}_j$ – максимальный срок службы основного капитала отрасли; $\hat{\theta}_{ij}$ – максимальный срок окупаемости капитальных вложений вида i в прирост основного капитала отрасли j .

Межотраслевые условия (см. соотношение (1)) являются формальным инструментом сопоставления отраслевых объемов реальных валовых выпусков продукции $x_i(t)$ (предложение выпуска в ценах базового периода) с объемами их использования отраслями материального производства для удовлетворения спроса на промежуточные продукты и инвестиционные ресурсы, населением и государством для удовлетворения спроса на потребляемую конечную продукцию и внешним миром для удовлетворения спроса на экспортную продукцию. Такого рода балансы будут традиционной частью условий межотраслевых динамических моделей. Основными варьируемыми параметрами в них служат расходы учреждений сферы нематериального производства и $\hat{g}_i(t)$ внешнеторговый спрос $EX_i(t)$ на продукцию отрасли. Прочие свободные параметры условий (1) определены как нормативные.

Динамика показателей потребления и накопления продукции отрасли зависит не только от межотраслевых связей по текущему производственному потреблению, описанных в (1), но и от условий, характеризующих требования к обеспечению инвестиций в воспроизводство основного капитала кредитно-финансовыми ресурсами.

Все инвестиционные процессы связаны в модели с условиями баланса среднегодового основного капитала отрасли:

$$V_i^{cp}(t) - (1 - \hat{v}_i(t))V_i^{cp}(t-1) - \hat{\beta}_i^{\Delta V}(t)\Delta V_i(t) = 0, \quad (2)$$

где $V_i^{cp}(t)$ – среднегодовой основной капитал отрасли; $\Delta V_i(t)$ – объем ввода основного капитала отрасли; $\hat{v}_i(t)$ – норматив выбытия основного капитала отрасли; $\hat{\beta}_i^{\Delta V}(t)$ – коэффициент среднегодового ввода основного капитала отрасли (отношение среднегодового ввода к абсолютному).

Условия (2) позволяют отразить согласованную динамику процессов ввода и выбытия основного капитала отрасли. Параметры $\hat{v}_i(t)$ характеризуют не только нормативы текущего выбытия основного капитала, но и все прочие выбытия, связанные с реконструкцией и техническим перевооружением основных фондов, в среднегодовом исчислении.

Прирост основного капитала отрасли формирует спрос на необходимые для реализации воспроизводственных процессов инвестиционные ресурсы. Объем затрат этих инвестиционных ресурсов определяет спрос на финансовые ресурсы для их приобретения. В модели динамику спроса на финансовые ресурсы можно представить в виде двух процессов:

– спрос на финансовые ресурсы для простого воспроизводства основного капитала отрасли:

$$\sum_i \sum_{\tau=1-\hat{\theta}_i}^{t-1} \hat{b}_{ij}^{\circ\circ}(t, \tau) \Delta V_j(\tau) \leq \hat{\alpha}_j^1(t) \hat{\omega}_j(t) \hat{p}_j^{\phi} V_j^{cp}(t), \quad (3)$$

где $\hat{b}_{ij}^{\circ\circ}(t, \tau)$ – капитальные затраты продукции отрасли i в ценах текущего периода t на простое воспроизводство единицы основного капитала отрасли j , введенного в период τ , в ценах базового периода; $\hat{\omega}_j(t)$ – норма амортизации основного капитала отрасли; $\hat{p}_j^{\phi}(t)$ – коэффициент переоценки основных производственных фондов отрасли текущего периода в ценах базового года; $\hat{\alpha}_j^1(t)$ – доля амортизационного фонда отрасли, используемая на финансирование простого воспроизводства основного капитала отрасли;

– спрос на финансовые ресурсы для расширенного воспроизводства основного капитала отрасли:

$$\sum_i \sum_{\tau=t}^{t+\hat{\theta}_{ij}} \hat{b}_{ij}^{\circ\circ}(t, \tau) \Delta V_j(\tau) \leq \hat{\alpha}_j^2(t) \Pi_j(t) + \text{РК}_j^K(t) + \text{РПБ}_j^{\text{ИК}}(t) + \text{РПБ}_j^{\text{ИИ}}(t) + \text{РБ}_j^{\text{КПС}}(t) + \text{РН}_j^k(t), \quad (4)$$

где $\hat{b}_{ij}^{\circ\circ}(t, \tau)$ – капитальные затраты продукции отрасли i в ценах текущего периода t для прироста в период τ единицы основного капитала отрасли j в ценах базового периода; $\hat{\alpha}_j^2(t)$ – доля прибыли отрасли, используемая на финансирование расширенного воспроизводства основного капитала отрасли; $\Pi_j(t)$ – прибыль отрасли за вычетом налога на прибыль и погашаемой части кредитов (с учетом процентов); $\text{РК}_j^K(t)$ и $\text{РПБ}_j^{\text{ИК}}(t)$ – отечественные и иностранные кредитные вложения в финансирование расширенного воспроизводства основного капитала отрасли; $\text{РПБ}_j^{\text{ИИ}}(t)$ – привлеченные иностранные инвестиции (прямые и портфельные) в расширенное воспроизводство основного капитала отрасли; $\text{РБ}_j^{\text{КПС}}(t)$ и $\text{РН}_j^k(t)$ – расходы бюджета и населения на финансирование инвестиций в отрасль.

Основным источником финансирования простого воспроизводства основного капитала служат амортизационные отчисления отрасли, в то время как финансовые источники для расширенного воспроизводства основного капитала значительно шире: собственная прибыль отрасли, отечественные и иностранные кредитные ресурсы, иностранные инвестиции, централизованные вложения из государственного бюджета и средства населения, владеющего ценными бумагами предприятий отрасли.

Предлагаемые финансовые ресурсы должны быть не меньше объема тех инвестиционных затрат, которые отрасль должна осуществить для воспроизводства основного капитала. Особенность условий (3), (4) заключается в том, что объемы и структура предложения финансовых ресурсов не задаются заранее, а являются функциями таких первичных переменных, как объем

среднегодового капитала отрасли $V_j^{cp}(t)$, прибыль $P_j(t)$, кредитные вложения из отечественных $PK_j^K(t)$ и иностранных РПБ $_{j}^{ИК}(t)$ источников и иностранные инвестиции РПБ $_{j}^{ИИ}(t)$.

Показатель, в принципе, может принимать как положительное, так и отрицательное значение. В модели учитывается требование его неотрицательности для финансирования основного капитала:

$$P_j(t) = \begin{cases} P_j(t), & \text{если } P_j^1(t) \geq 0; \\ 0, & \text{если } P_j^1(t) < 0; \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} P_j(t) = & (1 - \dot{r}^П(t)) \{ \bar{p}_j(t) (1 - \dot{r}_j^{КОС}(t) - \sum_i \dot{a}_{ij}(t) - \bar{p}_j^{3П}(t) \dot{l}_j(t)) x_j(t) - \\ & - \dot{\omega}_j(t) \dot{p}_j^\Phi(t) V_j^{cp}(t) \} - \sum_{\tau=0}^{t-1} \{ (1 + \bar{r}(\tau)) \dot{\alpha}_j^{ВКПС}(t, \tau) PK_j^K(\tau) + \\ & + (1 + \bar{r}_j(\tau)) \dot{\alpha}_j^{ВКПС}(t, \tau) РПБ_j^{ИК}(\tau) + (1 + \bar{r}(\tau)) \dot{\alpha}_j^{ВФПС}(t, \tau) PK_j^{ОФ}(\tau) \}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $\dot{r}^П(t)$ – ставка налога на прибыль; $\dot{r}_j^{КОС}(t)$ – ставка косвенных налогов на продукцию отрасли; $\bar{r}(t)$ – реальная ставка процента за кредит; $\bar{r}_j(t)$ – ставка процента за привлеченные иностранные кредиты; $\bar{p}_j^{3П}(t)$ – индекс цены продукции отрасли; $\bar{p}_j(t)$ – индекс номинальной ставки заработной платы в отрасли; $\dot{l}_j(t)$ – индекс численности занятого населения на единицу выпуска продукции отрасли; $\dot{\alpha}_j^{ВКПС}(t)$, $\dot{\alpha}_j^{ВКПС}(t)$ и $\dot{\alpha}_j^{ВФПС}(t, \tau)$ – доли возврата отраслью в период t отечественных и иностранных кредитов, полученных ею в период τ , для расширенного воспроизводства основного капитала и прироста оборотных средств.

В случае если $P_j^1(t)$ принимает отрицательное значение, то согласно (5) величина $P_j(t)$ полагается равной нулю и тем самым в соответствии с условиями (4) не участвует в финансировании расширенного воспроизводства основного капитала отрасли.

Ставки налога на прибыль, ставки косвенных налогов на продукцию отрасли, а также доли возврата отечественных и иностранных кредитов являются варьируемыми параметрами межотраслевой модели. Ставки процента за кредит передаются в межотраслевую модель из модели макроэкономической динамики рынка денег (Мартынов, Малков, 2003). Под эти ставки отраслям выделяются кредитные ресурсы.

Для межотраслевой модели нормы процента $\bar{r}(t)$ и $\bar{r}_j(t)$ служат экзогенными показателями, а для системы моделей в целом это эндогенные переменные величины, динамика которых существенно влияет на структуру и уровни финансирования инвестиционных процессов. С увеличением процента ($\bar{r}(t)$ и $\bar{r}_j(t)$) условия (4) становятся более “жесткими” и уровень возможных инвестиционных затрат сокращается. Логика влияния нормы процента на уровни инвестиций, присутствующая в условиях (4)–(6), соответствует общей теории нормы процента.

Аналогичное влияние на уровень финансирования капитальных затрат для расширенного воспроизводства основного капитала оказывает и ставка налога на прибыль $\dot{r}^П(t)$. С ее ростом уменьшается доля прибыли отрасли, используемая как собственный источник финансирования расширенного воспроизводства основного капитала.

Показатели $P_j(t)$ в соответствии с выражениями (5), (6) считаются в действующих в период t ценах. В связи с этим при их исчислении используются индексы цен товаров и услуг $\bar{p}_j(t)$, индексы ставок заработной платы $\bar{p}_j^{3П}(t)$, определяемые из динамической модели цен, и экзогенные индексы $\dot{p}^\Phi(t)$ переоценки основного капитала.

Предложение отраслевого выпуска товаров и услуг $x_i(t)$ разделено в модели на два вида: предложение выпуска $xx_i(t)$, осуществляемого на мощностях, созданных до периода t (“старых” мощностях), и $\Delta x_i(t)$ – на мощностях, вводимых в период t (“новых” мощностях):

$$x_i(t) = xx_i(t) + \Delta x_i(t). \quad (7)$$

Выпуски $x_i(t)$ и $\Delta x_i(t)$ не должны превосходить фондоотдачу “старого” и “нового” основного капитала:

$$x_i(t) \leq f_i^1(t)(1 - \hat{v}_i(t))V_i^{cp}(t-1), \quad (8)$$

$$\Delta x_i(t) = f_i^2(t)\Delta V_i(t), \quad (9)$$

где $f_i^1(t)$ и $f_i^2(t)$ – коэффициенты фондоотдачи соответственно “старого” и “нового” основного капитала.

Спрос на запасы материальных оборотных средств и государственных резервов $R_i(t)$ ограничен сверху и снизу максимально и минимально необходимыми остатками материальных оборотных средств и резервов, формируемых из продукции отрасли i :

$$R_i(t) \leq \sum_j \hat{\gamma}_{ij}^{\max}(t) \hat{\alpha}_{ij}(t) x_j(t), \quad (10)$$

$$R_i(t) \geq \sum_j \hat{\gamma}_{ij}^{\min}(t) \hat{\alpha}_{ij}(t) x_j(t), \quad (11)$$

где $\hat{\gamma}_{ij}^{\max}(t)$, $\hat{\gamma}_{ij}^{\min}(t)$ – отношение максимально (минимально) необходимого остатка материальных оборотных средств и резервов, формируемых из продукции отрасли i , к ее текущему производственному потреблению в отрасли j (в долях единицы).

Прирост материальных оборотных средств отраслей материального производства и запасов государственных резервов формирует спрос на необходимые для их закупки финансовые ресурсы. Источниками финансирования являются отрасли $\overline{\text{РПС}}^{\text{ОФ}}(t)$, бюджет $\overline{\text{РБ}}^{\text{ОФПС}}(t)$ и кредитная система $\overline{\text{РК}}^{\text{ОФПС}}(t)$. Объем финансирования должен быть не меньше прироста оборотных средств:

$$\sum_i (R_i(t) - R_i(t-1)) \leq \overline{\text{РПС}}^{\text{ОФ}}(t) + \overline{\text{РБ}}^{\text{ОФПС}}(t) + \overline{\text{РК}}^{\text{ОФПС}}(t) - \Delta \overline{Z}^{\text{ОД}}(t) - \Delta \hat{Z}^{\text{T}}(t), \quad (12)$$

где $\Delta \overline{Z}^{\text{ОД}}(t)$ – прирост остатков денежных средств и дебиторской задолженности кредитной системы; $\Delta \hat{Z}^{\text{T}}(t)$ – прирост товарных запасов. Значения величин $\overline{\text{РПС}}^{\text{ОФ}}(t)$, $\overline{\text{РБ}}^{\text{ОФПС}}(t)$, $\overline{\text{РК}}^{\text{ОФПС}}(t)$, $\Delta \overline{Z}^{\text{ОД}}(t)$ определяются из динамической модели сбалансированности финансовых потоков макроэкономики (Мартынов, Малков, 2009).

Величина показателя должна быть не меньше величины погашения части кредитов, выделенных отрасли в периоде t (с учетом процентов):

$$\begin{aligned} \Pi_j(t) \geq & (1 + \bar{r}(t)) \hat{\alpha}_j^{\text{ВКПС}}(t) \text{РК}_j^{\text{К}}(t) + (1 + \bar{r}_j(t)) \hat{\alpha}_j^{\text{ВКПС}}(t) \text{РПБ}_j^{\text{НК}}(t) + \\ & + (1 + \bar{r}(t)) \hat{\alpha}_j^{\text{ВКПС}}(t) \text{РК}_j^{\text{ОФ}}(t). \end{aligned} \quad (13)$$

Конечное потребление населением товаров и услуг удовлетворяет ограничению по доходу, используемому населением на их приобретение:

$$\sum_i \hat{y}_i(t) \lambda(t) \leq \overline{D}^{\text{H}}(t),$$

где $\hat{y}_i(t)$ – заданная предпочтительная структура конечного потребления населением товаров и услуг в номинальном выражении, $\overline{D}^{\text{H}}(t)$ – доход населения, направляемый на приобретение товаров и услуг.

Объемы $\ddot{y}_i(t)$ предпочтительного конечного потребления населения являются суммой номинальных объемов конечного потребления отечественных и импортных товаров и услуг:

$$\ddot{y}_i(t) = \bar{p}_i^{\text{OT}}(t) \dot{y}_i^{\text{OT}}(t) + \dot{p}_i^{\text{ИМ}}(t) \dot{y}_i^{\text{ИМ}}(t),$$

где $\dot{y}_i^{\text{OT}}(t)$ и $\dot{y}_i^{\text{ИМ}}(t)$ – предпочтительные объемы потребления отечественных и импортных товаров и услуг в реальном исчислении в ценах базового периода, $\bar{p}_i^{\text{OT}}(t)$ и $\dot{p}_i^{\text{ИМ}}(t)$ – уровни отечественных и импортных договорных цен на продукцию и услуги.

Модель опирается на гипотезу пропорциональности отношения величины спроса домашних хозяйств на импортную конечную продукцию к величине спроса на конечную отечественную продукцию к отношению уровней цен отечественной и импортной конечной продукции в степени, равной эластичности $\eta_i(t)$ замещения спроса на отечественную конечную продукцию спросом на аналогичную импортную:

$$\dot{y}_i^{\text{ИМ}}(t)/\dot{y}_i^{\text{OT}}(t) = c_i(t) \left(\bar{p}_i^{\text{OT}}(t) / \dot{p}_i^{\text{ИМ}}(t) \right)^{\eta_i(t)},$$

где $c_i(t)$ – коэффициент пропорциональности, который может быть построен с помощью данного выражения, если положить в нем известными значения $\dot{y}_i^{\text{ИМ}}(t) = \dot{y}_i^{\text{OT}}(t)$ и $\dot{y}_i^{\text{OT}}(t) = \dot{y}_i^{\text{OT}}(t)$, и который при необходимости можно уточнить в ходе расчетов.

С учетом данной гипотезы объемы предпочтительного потребления населением отечественной и импортной продукции в номинальном выражении могут быть представлены в виде

$$\dot{y}_i^{\text{ИМ}}(t) = \left[\bar{p}_i^{\text{OT}}(t) + \dot{p}_i^{\text{ИМ}}(t) c_i(t) \left(\bar{p}_i^{\text{OT}}(t) / \dot{p}_i^{\text{ИМ}}(t) \right)^{\eta_i(t)} \right] \dot{y}_i^{\text{OT}}(t),$$

а ограничения по доходу населения – в виде

$$\lambda(t) \leq \bar{D}^H(t) / \left\{ \sum_i \left(\bar{p}_i^{\text{OT}}(t) + \dot{p}_i^{\text{ИМ}}(t) c_i(t) \left(\bar{p}_i^{\text{OT}}(t) / \dot{p}_i^{\text{ИМ}}(t) \right)^{\eta_i(t)} \right) \dot{y}_i^{\text{OT}}(t) \right\}. \quad (14)$$

Объемы совокупного потребления населением импортных товаров и услуг в модели ограничиваются величиной $\dot{Y}^{\text{ИМ}}(t)$ импортируемых для этих целей потребительских товаров

$$\sum_i \dot{y}_i^{\text{ИМ}}(t) \leq \dot{Y}^{\text{ИМ}}(t).$$

Данное ограничение с учетом представленной выше гипотезы о пропорциональности отношения отечественных и импортных потребительских товаров и услуг может быть записано в виде

$$\lambda(t) \leq \dot{Y}^{\text{ИМ}}(t) / \left\{ \sum_i \dot{y}_i^{\text{OT}}(t) c_i(t) \left(\bar{p}_i^{\text{OT}}(t) / \dot{p}_i^{\text{ИМ}}(t) \right)^{\eta_i(t)} \right\}. \quad (15)$$

Совместное рассмотрение условий (14) и (15) позволяет сформулировать единое ограничение на значения $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) \leq \min \left\{ \dot{Y}^{\text{ИМ}}(t) / \sum_i \dot{y}_i^{\text{OT}}(t) c_i(t) \left(\bar{p}_i^{\text{OT}}(t) / \dot{p}_i^{\text{ИМ}}(t) \right)^{\eta_i(t)}, \right. \\ \left. \bar{D}^H(t) / \sum_i \left(\bar{p}_i^{\text{OT}}(t) + \dot{p}_i^{\text{ИМ}}(t) c_i(t) \left(\bar{p}_i^{\text{OT}}(t) / \dot{p}_i^{\text{ИМ}}(t) \right)^{\eta_i(t)} \right) \dot{y}_i^{\text{OT}}(t) \right\}. \quad (16)$$

Спрос на трудовые ресурсы в модели ограничен предложением $\dot{L}(t)$ рабочей силы отраслям материального производства:

$$\sum_i \dot{l}_i(t) \bar{p}_i(t) x_i(t) \leq \dot{L}(t), \quad (17)$$

где $\dot{l}_i(t)$ – уровень численности занятого населения на единицу номинального выпуска продукции отрасли.

Совокупный спрос на отечественные кредитные вложения в финансирование прироста оборотных средств, расширенного воспроизводства основного капитала, а также совокупный спрос на иностранные кредитные вложения и инвестиции (прямые и портфельные) в расширенное воспроизводство основного капитала отраслей производственной сферы ограничен соответственно величинами $\overline{PK}^{\text{ОФПС}}(t)$, $\overline{PK}^{\text{КПС}}(t)$, $\overline{IC}(t)$, $\overline{II}(t)$:

$$\sum_i PK_i^{\text{ОФ}}(t) \leq \overline{PK}^{\text{ОФПС}}(t), \quad (18)$$

$$\sum_i PK_i^{\text{К}}(t) \leq \overline{PK}^{\text{КПС}}(t), \quad (19)$$

$$\sum_i РПБ_i^{\text{ИК}}(t) \leq \dot{\alpha}^{\text{ИКПС}}(t) \overline{IC}(t), \quad (20)$$

$$\sum_i РПБ_i^{\text{ИИ}}(t) \leq \dot{\alpha}^{\text{ИИПС}}(t) \overline{II}(t), \quad (21)$$

где $\dot{\alpha}^{\text{ИКПС}}(t)$ – доля иностранных кредитов для финансирования инвестиций в воспроизводство основного капитала в общем объеме привлеченных иностранных кредитов; $\dot{\alpha}^{\text{ИИПС}}(t)$ – доля иностранных инвестиций в расширенное воспроизводство основного капитала отраслей производственной сферы в общем объеме импорта прямых и портфельных инвестиций.

Совокупные кредитные вложения и совокупные иностранные инвестиции – эндогенные величины динамической модели сбалансированности финансовых потоков макроэкономики. В процессе согласования решений в системе моделей они передаются в межотраслевую модель и служат экзогенными параметрами.

В межотраслевой модели соотношения (1)–(4), (6), (8) и (12) являются рекуррентными. Для них задаются начальные значения переменных $\dot{R}_i(0)$, $\Delta \dot{V}_j(0)$, $\dot{V}_j^{\text{сп}}(0)$, $\dot{PK}_j^{\text{К}}(0)$, $\dot{PK}_j^{\text{ОФ}}(0)$, $\dot{РПБ}_j^{\text{ИК}}(0)$.

Критерием оптимальности служит максимизация числа комплектов конечного потребления населением потребительских товаров и услуг в заданной структуре:

$$\max \left\{ \sum_{t=1}^T \dot{Q}^t \dot{\rho}(t) \lambda(t) \right\}, \quad (22)$$

где $\dot{Q}^t$ – коэффициент дисконтирования; $\dot{\rho}(t)$ – взвешивающая функция динамического критерия.

Дисконтирующий множитель $\dot{Q}$ в критерии (22) определяется по формуле

$$\dot{Q}^t = \begin{cases} (1/(1+\dot{q}))^t & \text{при } t = 1, \dots, T-1; \\ 1/(1+\dot{q})(1+1/\dot{q}) & \text{при } t = T, \end{cases}$$

где $\dot{q}$ – норматив приведения. В этой формуле принимается гипотеза о едином нормативе приведения для всех лет расчетного периода. Предполагается также неизменность параметров критерия.

рия за пределами расчетного периода. При данных предположениях слагаемые критерия (22) для $t > T$ образуют бесконечно убывающую прогрессию со знаменателем $1 + \dot{q}$.

Величина норматива приведения $\dot{q}$, соизмеряющего результаты и затраты для различных лет расчетного периода, в межотраслевой модели может варьировать в заданном диапазоне. При проведении экспериментальных расчетов отыскивается такое значение норматива приведения, для которого решение межотраслевой динамической модели будет устойчивым.

Критерий (22) является суммой взвешенных по времени показателей конечного потребления населением потребительских товаров. Критерий должен соизмерять эти показатели не только по годам расчетного периода, но и за его пределами. Предполагаем, что параметры критерия (22) за пределами расчетного периода постоянны и равны их значениям в году T . С учетом этого предположения взвешивающая функция имеет вид:

$$\dot{p}(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } t = 1, \dots, T-1; \\ 1 + \dot{Q}/(1 - \dot{Q}) & \text{при } t = T. \end{cases}$$

2. ОПЫТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ МОДЕЛИ

Целью экспериментов была проверка непротиворечивости и адекватности получаемых из модели макроэкономических показателей и определение возможности включения межотраслевой модели в систему динамических моделей анализа и прогнозирования макроэкономических взаимодействий рынков товаров, труда, инвестиций и денег. Динамика макроэкономических показателей исследовалась при различных вариантах значений свободных параметров модели, являющихся параметрами макроэкономического регулирования межотраслевой динамики воспроизводственных и инвестиционных процессов. В экспериментах использовались данные статистики о состоянии экономики России (по 18 укрупненным отраслям) в 1992–2003 гг. Базовым годом, относительно которого сравнивались объемы отраслевых выпусков и затрат, был принят 1991 г.

Параметры макроэкономического регулирования. Рассматривались следующие виды регулирования: кредитное, налоговое, закупок продукции отраслей учреждениями нематериального производства, амортизационное и экспортное. Каждый вид регулирования характеризовался набором свободных параметров межотраслевой модели: *кредитное регулирование* – реальными ставками процента за кредит $\dot{r}(t)$, ставками процента за привлеченный иностранный кредит $\dot{r}_f(t)$ и долями ежегодного возврата кредитов $\dot{\alpha}_j^{\text{ВКПС}}(t, \tau)$, $\dot{\alpha}_j^{\text{ВКПС}}(t, \tau)$, $\dot{\alpha}_j^{\text{ВКПС}}(t, \tau)$; *налоговое регулирование* – ставками косвенных налогов на продукцию отраслей $\dot{r}_j^{\text{КОС}}(t)$ и ставками налога на прибыль $\dot{r}^{\text{П}}(t)$; *регулирование закупок продукции отраслей учреждениями нематериального производства* – объемами закупок соответствующих товаров и услуг $\dot{g}_i(t)$; *амортизационное регулирование* – нормами амортизации основного капитала отраслей $\dot{\omega}_i(t)$; *экспортное регулирование* – объемами экспорта продукции отраслей $\dot{EX}(t)$.

Варианты численных значений регулируемых параметров. Каждый параметр был представлен тремя вариантами значений: двумя “крайними” (варианты 1 и 3) и средним (вариант 2). Для кредитного, налогового и амортизационного регулирования варианты параметров будем называть соответственно жесткими, умеренно жесткими (базовыми) и мягкими, а для экспортного регулирования и регулирования закупок продукции отраслей учреждениями нематериального производства – активными, базовыми и пассивными.

Базовому варианту кредитного регулирования соответствуют значения реальной нормы процента за кредит, которые сложились в российской экономике в период 1993–2003 гг. Нормы процента в жестком и мягком вариантах кредитного регулирования отклоняются на 30% в сторону соответственно увеличения или уменьшения их значений в среднем (базовом) варианте.

В среднем варианте кредитного регулирования погашение отечественных кредитов отраслями материального производства осуществляется в течение трех лет равными долями (0.333) ежегодно. В жестком варианте отечественные кредиты возвращаются отраслями в году их пре-

доставления, а в мягком варианте – в срок более трех лет ежегодными долями, не превышающими 20% их первоначальных величин. Иностранные кредиты в базовом варианте погашаются в течение двух лет равными долями (0.5) ежегодно. В жестком варианте они возвращаются в том же году, в котором и заимствованы; в мягком варианте – в срок более двух лет, при этом ежегодно не более 10% их первоначальной величины. Возврат отечественных кредитов, выделенных для финансирования прироста оборотных средств, осуществляется отраслями материального производства в течение одного года по жесткому и базовому вариантам, а в течение двух лет – по мягкому варианту.

Базовый вариант налогового регулирования характеризуется значениями ставок налогов на прибыль, взятыми из отчетной статистики. В жестком варианте налогового регулирования ставки косвенных налогов и налогов на прибыль были увеличены на 50%, а в мягком варианте уменьшены на 50% по сравнению со ставками этих же налогов в среднем варианте. Структура косвенных налогов по отраслям при этом не менялась.

Средний вариант регулирования закупок продукции отраслей учреждениями нематериального производства характеризуется объемом закупок, соответствующим данным статистики. Жесткий и мягкий варианты отклоняются от среднего в сторону соответственно увеличения или уменьшения объема закупок на 50%. Отраслевая структура закупок не изменялась.

Нормы амортизации основного капитала, принятые в базовом варианте амортизационного регулирования, соответствуют данным статистики. Вариант ускоренной (жесткой) амортизации характеризуется параметрами $\hat{\omega}_i(t)$, величины которых на 30% выше их значений в базовом варианте. В варианте замедленной (мягкой) амортизации значения параметров ниже их значений в базовом варианте на 8%.

Статистические данные по экспорту образуют средний вариант значений параметров экспортного регулирования, а два крайних (активный и пассивный) варианта описываются объемами экспорта, превышающими на 60% или уменьшенными на 50% их значений в среднем варианте.

Спроектированные “крайние” варианты значений регулируемых параметров межотраслевой модели будут гипотетическими, и благодаря им мы имели возможность исследовать динамику изменения основных макроэкономических показателей в зависимости от изменений регулируемых свободных параметров межотраслевой модели в сравнительно широком диапазоне.

Заметим, что не все указанные выше параметры являются параметрами государственного регулирования. Таковыми можно было бы считать ставки налогов, закупки продукции отраслей учреждениями нематериального производства и нормы амортизации, которые устанавливаются законодательно. Параметрами рыночных механизмов будут уровни цен, ставки номинальной заработной платы, ставки процента за кредит, объемы экспорта, доходы населения, используемые на конечное потребление, и др. В ходе вариантных расчетов по межотраслевой модели эти параметры не изменялись. Не варьировались также и коэффициенты межотраслевых матриц “затраты–выпуск”, удельные капитальные затраты на воспроизводство единицы основного капитала отрасли, нормативы фондотдачи и выбытия основного капитала.

Стратегии макроэкономического регулирования. Исследовались “чистые” и “смешанные” стратегии. Перечень и структура стратегий представлены в Приложении (табл. 1). “Чистым” стратегиям (стратегии 1–11) соответствовали базовые значения регулируемых параметров, кроме значения того параметра, который подвергался исследованию. Это значение задавалось либо по жесткому, либо по мягкому варианту регулирования. “Смешанные” стратегии строились путем комбинирования вариантов значений регулируемых параметров. Экспериментально исследовались следующие “смешанные” стратегии: стратегия 12 – совокупное влияние льготного кредитования, активного регулирования закупок продукции отраслей учреждениями нематериального производства и базовых значений параметров прочих видов регулирования; стратегия 13 – льготное кредитование, мягкая налоговая политика, активное регулирование закупок продукции отраслей учреждениями нематериального производства и базовые значения параметров прочих видов регулирования; стратегия 14 – льготное кредитование, мягкое налоговое регулирование, активное регулирование закупок продукции отраслей учреждениями нематериального производства, активное экспортное регулирование и базовые значения параметров прочих видов

регулирования. Стратегии 1, 12 и 14 реализовывались по межотраслевой модели как с ограничениями (17) на предложение рабочей силы, так и без них.

Непосредственным результатом экспериментального применения стратегий макроэкономического регулирования с использованием межотраслевой динамической модели служат временные ряды показателей развития отраслей материального производства за период 1993–2003 гг.² Из-за ограничений на размеры статьи мы не имеем возможности представить их здесь все. Остановимся на рассмотрении по вариантам расчетов и по годам расчетного периода девяти наиболее важных агрегированных показателей: реального выпуска товаров и услуг отраслями материального производства (X), реального потребления товаров и услуг населением (Y), инвестиций в простое (I^1) и расширенное (I^2) воспроизводство основного капитала, среднегодового основного капитала (V^{cp}), вводов (ΔV) и выбытия (W) основного капитала, совокупной прибыли (Π) и занятости (L) в отраслях материального производства. Стоимостные показатели рассчитывались в ценах 1991 г. и изменялись в миллиардах рублей (с 1998 г. – в миллионах рублей). Прибыль считалась в ценах текущего года, а среднегодовая численность занятого населения – в тысячах человек.

Динамика изменения этих показателей представлена в Приложении (табл. 2). Из данных табл. 2 видно, что при изменении жесткого налогового регулирования (стратегия 4) на мягкое (стратегия 5), а также при смене жесткой амортизационной политики (стратегия 8) на мягкую (стратегия 9) удается добиться роста макроэкономических показателей в каждом году расчетного периода. И наоборот, их значения снижаются при замене активной экспортной политики (стратегия 10) на пассивную (стратегия 11) и при введении активной политики закупок продукции отраслей учреждениями нематериального производства (стратегия 6) вместо пассивной (стратегия 7). Переход от жесткой кредитной политики (стратегия 2) на мягкую (стратегия 3) приводит, с одной стороны, к росту объемов производства товаров и услуг, росту потребления населением конечной продукции отраслей и увеличению занятости, а с другой – к снижению объемов инвестиций и приростов основного капитала отраслей. Мягкая кредитная политика в сочетании с активной политикой закупок продукции отраслей учреждениями нематериального производства (стратегия 12) и мягкой налоговой политикой (стратегия 13) обеспечивает рост инвестиций в простое и расширенное воспроизводство основного капитала отраслей и заметное увеличение приростов основного капитала по годам расчетного периода.

При сравнении стратегий по величинам агрегированных макроэкономических показателей лидером в группе “чистых” стратегий является стратегия 10, а в группе “смешанных” – стратегия 13. Эти стратегии обеспечивают за весь расчетный период большие, чем, например, базовая стратегия 1, объемы совокупного выпуска товаров и услуг, соответственно на 7.5 и 7.3%, инвестиций в простое воспроизводство основного капитала – на 6.9 и 5.7%, а в его расширенное воспроизводство – на 2.5 и 1.9%, вводов основного капитала – на 13.6 и 10.1%, прибыли – на 0.05 и 2.8%, занятости – на 5.5 и 7.1%.

Развитие отраслей сдерживается ограничениями на кредитные и трудовые ресурсы и на доходы населения, используемые для закупки потребительских товаров и услуг. Если снять, например, ограничения (17) на предложение рабочей силы, то, как показали эксперименты с реализацией стратегий 1, 12 и 14, занятость в отраслях материального производства увеличивается на 5.8–13.6% при одновременном увеличении значений других макроэкономических показателей в каждом году расчетного периода. Этот прирост находится в рамках имеющихся ограничений на кредитные ресурсы и доходы потребителей. Если снять и эти ограничения, то макроэкономические показатели принимают еще большие значения. И единственными ограничениями их дальнейшего роста в этом случае являются межотраслевые структурные соотношения, заложенные в исходных матрицах “затраты–выпуск”, матрицах затрат капитальных ресурсов и других исходных параметрах модели.

Не все результаты экспериментов нашли отражение в данной работе. Авторы не представили здесь динамику структурных изменений, приоритетов развития и др. Подобного рода инфор-

² Расчеты выполнялись с использованием программы MioSGr, реализующей мультипликативный алгоритм симплекс-метода (Малков, 1980).

мация будет использована в дальнейших работах. В целом же результаты экспериментальных расчетов по межотраслевой модели позволили сделать вывод о ее готовности к совместным расчетам с другими моделями в рамках системы моделей анализа и прогнозирования макроэкономических взаимодействий рынков товаров, труда, инвестиций и денег с целью достижения состояния общеэкономического равновесия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аганбегян А.Г., Багриновский К.А., Гранберг А.Г. (1972): Система моделей народнохозяйственного планирования. М.: Мысль.
- Баранов Э.Ф. (1968): Проблемы разработки схемы динамической модели межотраслевого баланса // *Экономика и мат. методы*. Т. IV. Вып. 1.
- Вальтух К.К. (1970): Динамическая модель народного хозяйства с элементами оптимизации. В кн.: *Проблемы построения и использования моделей экономики*. Новосибирск: ГНИИ АСПиУ, Главсистемпром, МинПСАиСУ, ИЭОПП СО АН СССР.
- Гранберг А.Г. (1985): Динамические модели народного хозяйства. М.: Экономика.
- Канторович Л.В. (1964): Динамическая модель оптимального планирования. В сб.: *Планирование и экономико-математические методы*. М.: Наука.
- Клоцвог Ф.Н. (1969): Межотраслевой баланс и пропорции народного хозяйства. М.: Экономика.
- Коссов В.В. (1973): Межотраслевые модели. М.: Экономика.
- Леонтьев В. (1958): Исследование структуры американской экономики. М.: Госстатиздат.
- Макаров В.Л., Рубинов А.М. (1973): Математическая теория экономической динамики и равновесия. М.: Наука.
- Малков У.Х. (1980): Программа мультипликативного алгоритма симплекс-метода. Пакет анализа оптимизационных экономико-математических моделей ППП "ПАО7М ЕС ЭВМ" Линейное программирование: Препринт. М.: ЦЭМИ РАН.
- Мартынов Г.В. (1999): Система динамических моделей анализа и прогнозирования макроэкономических взаимодействий рынков товаров, труда, инвестиций и денег: Препринт # WP/99/076. М.: ЦЭМИ РАН.
- Мартынов Г.В., Малков У.Х. (2001): Межотраслевая модель анализа и прогнозирования динамики воспроизводственных и инвестиционных процессов и результаты ее экспериментальных исследований: Препринт # WP/2001/119. М.: ЦЭМИ РАН.
- Мартынов Г.В., Малков У.Х. (2002): Динамическая модель отраслевых уровней цен: постановка и результаты экспериментальных исследований: Препринт # WP/2002/141. М.: ЦЭМИ РАН.
- Мартынов Г.В., Малков У.Х. (2003): Экспериментальные исследования системы динамических моделей анализа и прогнозирования макроэкономических взаимодействий рынков товаров, труда, инвестиций и денег: Препринт # WP/2003/154. М.: ЦЭМИ РАН.
- Мартынов Г.В., Малков У.Х. (2007): Интегральная оценка эффективности государственного воздействия на межотраслевую динамику воспроизводственных и инвестиционных процессов: Препринт # WP/2007/231. М.: ЦЭМИ РАН.
- Моделирование (1973): Моделирование народнохозяйственных процессов. М.: Экономика.
- Шатилов Н.Ф. (1967): Моделирование расширенного воспроизводства. М.: Экономика.

Поступила в редакцию
28.04.2009 г.

Результаты экспериментальной реализации межотраслевой модели

Таблица 1. Структура стратегий микроэкономического регулирования

Стратегия	Варианты регулирования														
	кредиты			налоги			закупки учреждений непроизводственной сферы			амортизация			экспорт		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1		+			+			+			+			+	
2	+				+			+			+			+	
3			+		+			+			+			+	
4		+		+				+			+			+	
5		+				+		+			+			+	
6		+			+		+				+			+	
7		+			+				+		+			+	
8		+			+			+		+				+	
9		+			+			+				+		+	
10		+			+			+			+		+		
11		+			+			+			+				+
12			+		+		+				+			+	
13			+			+	+				+			+	
1*		+			+			+			+			+	
12*			+		+		+				+			+	
14*			+			+	+				+	+			

* Без ограничения (17).

РАЗВИТИЕ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ МОДЕЛИ

37

Таблица 2. Временные ряды макроэкономических показателей, соответствующие "чистым" и "смешанным" стратегиям макроэкономического регулирования

Показатель	Стратегия	Годы										
		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
X	1	1293.7	1006.8	691.1	672.4	629.8	773.9	932.5	1363.4	1658.0	1791.0	1908.4
	2	1388.1	980.2	674.0	671.8	638.7	709.4	928.3	1362.4	1644.0	1801.2	1916.2
	3	1274.8	997.1	687.9	670.6	626.6	773.0	935.0	1396.8	1651.2	1799.5	1916.7
	4	1354.2	1031.3	699.4	671.0	627.5	774.5	930.7	1361.5	1651.8	1778.4	1903.7
	5	1299.2	1021.7	762.7	750.7	628.7	773.1	943.8	1429.0	1654.2	1804.3	1921.2
	6	1311.7	993.9	717.1	718.6	677.6	769.1	1005.0	1459.4	1753.1	1908.9	2017.9
	7	1194.4	1007.7	713.6	669.2	510.0	795.0	858.8	1265.3	1487.5	1648.1	1783.6
	8	1287.3	986.1	681.8	669.9	626.7	774.5	929.8	1361.4	1654.0	1781.0	1904.9
	9	1293.7	989.5	711.9	704.6	629.7	773.7	936.0	1376.0	1645.7	1792.2	1909.2
	10	1319.6	1002.5	714.7	710.4	673.6	773.9	1028.3	1506.6	1821.2	1997.4	2124.4
	11	951.2	967.7	685.8	642.6	495.6	782.8	838.6	1235.2	1288.5	1414.2	1486.3
	12	1313.0	995.0	716.4	718.4	677.4	769.1	1005.4	1459.6	1753.0	1911.0	2019.6
	13	1332.6	1069.3	777.1	806.3	674.0	769.2	1020.1	1471.4	1769.1	1915.5	2040.0
	1*	1293.8	1003.2	690.4	673.2	630.5	1157.0	916.1	1364.1	1642.4	1769.4	1895.6
Y	12*	1304.3	989.6	718.8	718.6	672.8	1218.6	987.4	1458.0	1748.7	1875.2	2000.7
	14*	1317.0	1025.4	773.6	782.1	718.0	903.7	1117.8	1593.3	1950.7	2135.2	2252.2
	1	406.2	256.5	66.1	6.9	4.8	11.6	5.5	8.1	104.7	66.0	76.3
	2	404.0	254.0	55.8	6.9	4.8	3.5	5.5	8.1	94.8	72.6	75.6
	3	400.1	252.6	64.7	6.9	4.8	11.4	5.5	11.8	109.0	69.3	80.4
	4	395.8	216.5	77.3	6.9	4.8	12.4	5.5	8.1	102.6	63.7	71.3
	5	412.6	266.5	120.3	36.3	4.8	10.7	5.5	18.7	109.8	70.5	82.1
	6	338.6	192.5	57.0	6.9	4.8	3.5	5.5	8.1	98.8	63.5	59.9
	7	477.4	333.4	198.3	58.8	4.8	87.6	26.8	43.4	173.6	176.9	215.4
	8	404.2	258.8	60.7	6.9	4.8	12.5	5.5	8.1	103.4	64.1	72.3
	9	405.4	262.3	79.4	16.5	4.8	11.3	5.5	8.1	105.2	66.0	76.5
	10	299.0	176.0	54.7	6.9	4.8	3.5	5.5	8.1	123.8	105.4	111.8
	11	430.4	275.2	229.0	62.3	4.8	123.1	85.1	175.4	173.4	108.5	112.6
	12	341.2	195.1	57.4	6.9	4.8	3.5	5.5	8.1	98.5	64.0	60.6

Продолжение табл. 2

Показатель	Стратегия	Годы										
		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Y	13	348.0	197.4	103.5	18.8	4.8	3.5	5.5	8.1	116.6	64.3	69.4
	1*	406.0	257.3	65.4	6.9	4.8	258.8	5.5	8.1	95.7	59.7	66.0
	12*	314.9	175.7	58.7	6.9	4.8	266.4	5.5	8.1	97.5	50.1	52.3
	14*	199.5	98.2	64.9	11.8	4.8	15.7	5.5	8.1	138.4	106.4	111.4
I ¹	1	688.2	2018.1	4730.0	5221.1	5815.7	2079.6	2002.4	2468.8	1732.6	1894.3	1075.8
	2	687.6	2018.2	4727.1	5225.5	5826.5	2078.4	1997.0	2459.9	1728.1	1892.7	1076.4
	3	687.6	2017.1	4710.0	5208.4	5791.1	2076.8	2003.3	2470.0	1732.3	1894.7	1076.3
	4	684.8	2013.6	4697.8	5205.9	5796.5	2072.4	1996.0	2460.8	1726.2	1887.2	1072.2
	5	691.7	2037.4	4779.5	5284.9	5884.6	2105.4	2027.3	2497.6	1753.1	1920.4	1088.7
	6	721.3	2121.5	4735.4	5521.0	6153.1	2187.1	2113.9	2609.4	1823.8	1999.3	1136.4
	7	618.4	1821.5	4500.9	4654.4	5156.9	1862.7	1782.6	2190.2	1544.9	1687.0	956.0
	8	689.2	2020.8	4725.6	5221.6	5811.5	2077.1	1999.7	2464.5	1729.0	1889.7	1073.4
	9	689.3	2022.0	4735.8	5233.5	5827.6	2084.8	2007.9	2474.1	1736.4	1899.6	1078.2
	10	734.8	2154.2	4623.2	5680.0	6389.7	2241.9	2160.3	2681.8	1872.9	2064.3	1178.9
	11	548.0	1642.4	4273.0	4029.0	4240.5	1620.1	1576.4	1888.5	1318.9	1411.4	782.4
	12	722.1	2122.9	4743.0	5518.1	6152.6	2187.2	2114.2	2609.5	1824.6	2000.1	1136.8
	13	727.2	2140.7	4788.3	5565.1	6203.7	2208.0	2134.0	2632.1	1841.4	2019.8	1146.2
	1*	698.2	2039.6	4761.1	5284.8	5918.0	2102.9	2016.5	2494.4	1749.6	1897.8	1077.4
I ²	12*	728.5	2131.6	4686.1	5559.2	6238.6	2202.3	2123.2	2631.8	1837.2	1997.0	1134.6
	14*	765.5	2244.3	4471.7	5963.6	6722.2	2349.9	2278.4	2836.1	1970.2	2174.8	1241.8
	1	5.2	56.1	135.8	400.7	490.0	694.1	420.7	845.6	1112.1	1471.1	2126.8
	2	5.2	56.2	136.0	401.3	490.2	696.1	421.7	846.5	1113.0	1471.4	2128.4
	3	5.2	56.1	135.7	400.1	489.5	693.1	420.0	844.6	1111.1	1468.9	2124.9
	4	5.2	55.7	135.1	399.4	488.9	692.7	419.6	844.2	1110.5	1467.3	2123.5
	5	5.2	55.8	135.5	402.2	491.8	697.0	421.3	846.5	1113.4	1475.2	2130.5
	6	5.2	57.7	140.4	413.2	500.7	727.4	438.5	856.4	1125.3	1479.6	2150.6
	7	5.2	51.9	124.0	371.1	465.0	616.2	377.3	816.5	1079.1	1431.8	2063.4
	8	5.2	56.2	136.0	400.9	490.0	694.0	420.7	845.6	1112.1	1470.7	2126.6
	9	5.2	56.1	135.7	401.1	490.4	694.8	420.6	845.4	1112.0	1471.3	2127.1