УДК 338.984.2
ББК 65.9(2Р)30-2
М 744

DOI 10.36264/978-5-89665-376-9-2023-012-436

Рецензенты:

чл.-корр. РАН А.А. Широв, д.э.н. Г.П. Литвинцева, д.э.н. А.В. Алексеев

М 744 **Модели и методы прогнозирования: Азиатская Россия в экономике страны** / под ред. А.О. Баранова и В.И. Суслова. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2023. – 436 с.

ISBN 978-5-89665-376-9

В монографии представлено описание комплекса моделей КОМПАС-ДАР, разработанного в ИЭОПП СО РАН в последние годы. В него включены новые модельные конструкции и модифицированные модели, разработанные в предшествующие периоды. КОМПАС-ДАР позволяет выполнять аналитические и прогнозные расчеты по экономике России и ее регионам, а также отдельным отраслям. Система КОМПАС-ДАР имеет ряд существенных отличий от разработанных ранее моделей: модели макроуровня включают эконометрические конструкции для краткосрочного прогнозирования (DSGE модели, общеравновесную межотраслевую модель), в межрегиональных моделях учитывается поведение экономических агентов, в ДММ-КАМИН включен блок воспроизводства человеческого капитала, в моделях макро- и регионального уровня отображены процессы влияния экономической деятельности на окружающую среду, в финансовых моделях инвестиционных проектов используется техника реальных опционов и нечетко-множественный анализ. В монографии отражены результаты работы по гранту на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2020-804 (№ 13.1902.21.0016), а также результаты работы по проектам плана НИР ИЭОПП СО РАН: № 121040100262-7 и № 121040100281-8.

УДК 338.984.2
ББК 65.9(2Р)30-2

ISBN 978-5-89665-376-9

Глава 3

МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

3.1. Точечная динамическая межотраслевая модель системы КОМПАС-ДАР

В системе КОМПАС-ДАР в рамках подсистемы КАМИН реализованы трехфакторные оптимизационные межотраслевые динамические модели национальной экономики с распределенными строительными лагами и дискретным временем (см. [1, 2]). Производственными факторами являются: 1) основные фонды, 2) сырье, материалы и услуги, формирующие промежуточное потребление, 3) трудовые ресурсы.

Описание моделей начнем с определения следующих параметров:

1) $[t^0;\mathrm{T}]$ – целочисленный период выполнения расчетов по модели страны, в котором каждое $t \in [t^0;\mathrm{T}]$ обозначает номер года, t^0 – базовый год;

2) n – количество отраслей экономики страны в принятой для модели структуре экономики, так что отрасль k: $(1 \leqslant \mathrm{k} \leqslant \mathrm{n})$ производит агрегат продуктов w_k^t;

3) $x_k^t = \mathrm{p}(w_k^t, \mathrm{t}^0) \geq 0$ – стоимость агрегата w_k^t во внутренних ценах страны года t^0, который будем называть произведенным валовым выпуском (или произведенным продуктом) k-й отрасли в году t в сопоставимых ценах – переменная;

4) $x^t = \left(x_1^t, \mathrm{x}_2^t, \ldots, \mathrm{x}_n^t\right) \in R^n$ – вектор произведенных продуктов отраслей страны в году t в сопоставимых ценах;

5) S_{ik}^t – сальдо экспорта-импорта продукции k-й отрасли страны в году t (здесь $S_k^t = \mathrm{E}_k^t - I_k^t$, где $E_k^t \geq 0$ – экспорт продукта -й отрасли в году t, $I_k^t \geq 0$ – импорт продукта k-й отрасли в году t в сопоставимых ценах);

6) $E^t = \left(E_1^t, \mathrm{E}_2^t, \ldots, \mathrm{E}_n^t\right) \in R^n$, $I^t = \left(I_1^t, \mathrm{I}_2^t, \ldots, \mathrm{I}_n^t\right) \in R^n$, $S^t = \left(S_1^t, \mathrm{S}_2^t, \ldots, \mathrm{S}_n^t\right) \in R^n$ – вектора экспорта, импорта и сальдо внешней торговли страны в году t;

7) $\mathrm{PR}_k^t = \mathrm{x}_k^t + \mathrm{I}_k^t + \mathrm{З}_k^{t-1}$ – ресурс произведенного валового выпуска в k-й отрасли страны в году t в сопоставимых ценах (здесь

$З_k^{t-1} \geq 0$ – переходящие запасы продукта k-й отрасли на конец года $t-1$) – переменная;

8) $IR_k^t = \overline{x}_k^t + E_k^t + П_k^t + З_k^t$ – ресурс использованного продукта в k-й отрасли страны в году t в сопоставимых ценах (здесь $\overline{x}_k^t \geq 0$ – использованный валовой выпуск k-й отрасли в году t, $П_k^t \geq 0$ – потери продукта k-й отрасли в году t, $З_k^t \geq 0$ – переходящие запасы продукта k-й отрасли на конец года t) – переменная;

9) $\overline{x}^t = \left(\overline{x}_1^t, \overline{x}_2^t, \ldots, \overline{x}_n^t\right) \in R^n$ – вектор использованного продукта страны в году t в сопоставимых ценах.

Балансовое соотношение для ресурсов отрасли:

$$PR_k^t = IR_k^t, \tag{3.1.1}$$

из которого получаем основные балансовые соотношения для произведенных и использованных продуктов отраслей:

$$x_k^t - \overline{x}_k^t = S_k^t + П_k^t + \Delta З_k^t,\ 1 \leq k \leq n. \tag{3.1.2}$$

Здесь $\Delta З_k^t = З_k^t - З_k^{t-1}$ – прирост запасов продукта k-й отрасли в году t. Отметим, что равенство $\Delta З_k^t = З_k^t - З_k^{t-1}$ в формуле (3.1.2) корректно, поскольку все элементы произведенного и использованного ресурсов вычисляются в сопоставимых ценах.

Предположим, что структуризация экономики и нумерация отраслей в модели выбраны так, что отрасли можно разделить на два подразделения. Первое подразделение – производство средств производства, включая услуги, формирующие промежуточное потребление, которое состоит из отраслей с номерами j: $\left(1 \leqslant j \leqslant n^1\right)$; причем внутри первого подразделения выделяются фондосоздающие отрасли с номерами j: $\left(1 \leqslant j \leqslant n^0\right)$, которые являются материальной основой инвестиционного комплекса страны, и сырьевые отрасли с номерами j: $\left(n^0 + 1 \leqslant j \leqslant n^1\right)$. Второе подразделение – производство предметов потребления, товаров длительного пользования, средств потребления и услуг населению, которое состоит из отраслей с номерами j: $(n^1 + 1 \leqslant j \leqslant n)$.

Разделение отраслей в межотраслевой модели на три группы связано с раздельным описанием воспроизводства каждого производственного фактора. Для каждой из трех групп отраслей балансовое соотношение (рис. 3.1.2) модифицируется в соответствии со спецификой воспроизводственного процесса.

Модели отраслей первой группы (отраслей с номерами j: $(1 \leqslant j \leqslant n^0)$*).*

Конкретизируем балансовое соотношение (3.1.2) для первой группы отраслей. Наличие n^0 фондосоздающих отраслей в первой группе предполагает описание основных производственных фондов F_k^t в каждой из отраслей k: (1⩽k⩽n) модели в виде n^0-мерного вектора $F_k^t = \left(F_{k.1}^t, F_{k.2}^t, \ldots, F_{k.n^0}^t\right)$, причем воспроизводство j-й координаты $F_{k.j}^t$ каждого вектора F_k^t k: (1⩽k⩽n)(воспроизводство j-го вида основных производственных фондов в -й отрасли), описывается динамикой продукта j-й фондосоздающей отрасли.

Для описания процесса воспроизводства основных производственных фондов введем следующие обозначения:

s_k – максимальный срок службы основных производственных фондов в k-й отрасли страны;

$F_{k.j}^{t.s} \geq 0$ – стоимость основных производственных фондов j-го вида возраста s в -й отрасли страны в году t – переменная;

$\alpha_{k.j}^{t.s}$– норма выбытия основных производственных фондов j-го вида возраста s в -й отрасли страны в году t;

ϑ_k – максимальный срок строительства объектов в k-й отрасли страны;

$K_{k.j}^{t.\tau} \geq 0$ – инвестиции j-го вида в году t во ввод основных производственных фондов года t+τ в -й отрасли страны;

$B_{k.j}^t \geq 0$ – ввод основных производственных фондов j-го вида в -й отрасли страны в году t;

$N_{k.j}^t \geq 0$ – объем незавершенного строительства объектов j-го вида в -й отрасли страны в году t;

$F_{k.j}^{t.*}$ – стоимость суммарного объема основных производственных фондов j-го вида в -й отрасли страны на конец года t;

$f_{k.j}^t = F_{k.j}^{t.*} x_k^t$ – фондоемкости по j-му виду основных производственных фондов продукта -й отрасли страны в году t;

Inv_j^t – общий объем инвестиций j-го вида в стране в году t.

На введенные параметры в модели накладываются следующие ограничения:

$$\bar{x}_j = \sum_{k=1}^{n} B_{k.j}^t; \qquad (3.1.3)$$

$$B_{k.j}^{t} = \sum_{\tau\geq 0} K_{k.j}^{t-\tau.\tau}; \quad (3.1.4)$$

$$Inv_{j}^{t} = \overline{x}_{j}^{t} + \Delta З_{j}^{t} = \sum_{k=1}^{n} \sum_{\tau\geq 0} K_{k.j}^{t.\tau}; \quad (3.1.5)$$

$$F_{k.j}^{t.0} = B_{k.j}^{t};\ F_{k.j}^{t.s} = F_{k.j}^{t-1.s-1}\left(1-\alpha_{k.j}^{t.s}\right);\ s>0; \quad (3.1.6)$$

$$N_{k.j}^{t} = \sum_{s\geq 0} \sum_{\tau>0} K_{k.j}^{t-s.s+\tau}; \quad (3.1.7)$$

$$F_{k.j}^{t.*} = \sum_{s=0}^{s_k} F_{k.j}^{t.s}. \quad (3.1.8)$$

Так как для срока службы основных фондов s_k в большинстве стран справедливо неравенство $s_k > \vartheta_k$, формулу (3.1.8) можно переписать в виде:

$$F_{k.j}^{t.*} = \sum_{s=0}^{\vartheta_k - 1} F_{k.j}^{t.s} + F_{k.j}^{t-\vartheta_k.*}. \quad (3.1.9)$$

Следовательно, стоимость суммарных основных фондов $F_{k.j}^{t.*}$ состоит из суммы стоимостей вводов разных лет, оцененных в разных ценах. В этой ситуации цены, в которых статистика определяет величину основных производственных фондов $F_{k.j}^{t.*}$, называются смешанными.

Модели отраслей второй группы (отраслей с номерами $j: \left(n^0 + 1 \leqslant j \leqslant n^1\right)$*).*

Описание воспроизводства продукта сырьевых отраслей основано на статистике межотраслевых потоков первого квадранта МОБ'а. Обозначим:

$X_{k.j}^{t} \geq 0$ – затраты продукта j-й сырьевой отрасли на производство продукта -й отрасли x_k^t в году t;

$a_{k.j}^{t} = X_{k.j}^{t} / x_k^t$ –технологический норматив затрат k-го вида сырья на единицу j-го продукта в сопоставимых ценах.

Теперь основное балансовое соотношение для j-й сырьевой отрасли имеет вид:

$$\overline{x}_{j}^{t} = \sum_{k=1}^{n} a_{k.j}^{t} x_k^t. \quad (3.1.10)$$

Модели отраслей третьей группы (отраслей с номерами $j: (n^1 + 1 \leqslant j \leqslant n)$*).* Моделирование отраслей второго подразделения связано с реализацией социальных программ страны. Интегральной характеристикой выполнения социальной программы принимается темп роста использованного продукта каждой из отраслей второго подразделения.

Обозначим:

$q_j^t(\lambda^t)$ – темп роста использованного продукта j-й отрасли страны в -м году (здесь λ^t – оптимизируемая переменная, темп роста является монотонно возрастающей функцией от λ^t).

Функция $q_j^t(\lambda^t)$ – непрерывная, монотонно возрастающая, кусочно-линейная. Задается по следующей методике: v – количество уровней темпов второго подразделения; $0=\lambda_1<\lambda_2<\ldots<\lambda_v$- границы линейности темпов,

$$q_j^t(\lambda^t) = \left(a_{ij}\lambda^t+b_{ij} \le 0 \text{ в области } \lambda_i \le \lambda^t \le \lambda_{i+1},\ i=1,\ldots,v-1.\right) \qquad (3.1.11)$$

Ограничением для отраслей второго подразделения является равенство:

$$\overline{x}_{ij}^t=q_{i,j}^t(\lambda_i^t)\cdot\overline{x}_{ij}^{(t-1)}. \qquad (3.1.12)$$

Это ограничение нелинейное (и невыпуклое) в глобальной задаче оптимизации как произведение кусочно-линейной переменной $q_j^t(\lambda^t)$ и переменной использованного продукта $\overline{x}_j^{(t-1)}$. Пошаговая оптимизация с переходом от года к году делает эту модель линейной, так как в году t переменная $\overline{x}_j^{(t-1)}$ уже определена на прерыдущем шаге.

Завершение построения межотраслевых моделей.

Для завершения построения межотраслевой модели страны введем дополнительные параметры:

CL^t – численность занятых в стране в году t;

c_k^t – трудоемкость произведенного продукта в k-й отрасли страны в году t.

Заключительные ограничения, задающие множество допустимых траекторий развития страны в году t имеют следующий вид:

$$f_{k.j}^t\cdot x_k^t \le F_{k.j}^{t,*,(k=1,\ldots,n,\ j=1,\ldots,n^0)}; \qquad (3.1.13)$$

$$\sum_{k=1}^n c_k^t\cdot x_k^t \le CL^t. \qquad (3.1.14)$$

Обозначим через $\Omega^t(S^t)\subseteq R^{2n+1}$ – множество векторов $\left(x^t,\overline{x}^t,\lambda^t\right)$, удовлетворяющих условиям (3.1.1)-(3.1.13), и для каждого года t рассмотрим оптимизационную задачу:

$$U^t(x^t, \overline{x}^t, \lambda^t) \to \max_{\Omega}. \qquad (3.1.15)$$

Здесь $U^t(x^t, \overline{x}^t, \lambda^t)$ – максимизируемая функция, задающая цель поиска оптимального продукта страны в году t.

Назовем задачу (3.1.15) задачей локальной оптимизации, а модель (3.1.1)–(3.1.13), (3.1.15) – моделью локальной оптимизации.

Далее, обозначим через $\overline{\Omega}^t(S^t) \subseteq R^{2n+1}$ множество векторов $(x^t, \overline{x}^t, \lambda^t)$, удовлетворяющих условиям (3.1.1)–(3.1.12), (3.1.14), и для каждого года t рассмотрим оптимизационную задачу:

$$U^t(x^t, \overline{x}^t, \lambda^t) \to \max_{\overline{\Omega}}. \qquad (3.1.16)$$

Назовем задачу (3.1.16) задачей балансовой оптимизации, а модель (3.1.1)–(3.1.12), (3.1.14), (3.1.16) – балансовой моделью.

Балансовая и оптимизационная модели могут использоваться в прогнозных расчетах в детерминистической и в нечетко-множественной постановке. Во втором случае экзогенные параметры модели, например коэффициенты материалоемкости $a^t_{k.j} = X^t_{k.j}/x^t_k$, сальдо экспорта-импорта и т.д., задаются в нечетком виде – «раскачиваются» в определенных пределах. В результате на «выходе» эндогенные переменные, например ВВП и валовые выпуски отраслей, также представляются в нечетком виде. Нечетко-множественное представление экзогенных и эндогенных переменных модели при прогнозировании позволяет оценить устойчивость эндогенных переменных по отношению к вариации экзогенных параметров и определить надежность результатов прогнозирования выходных показателей [1].

Литература к разделу 3.1

1. Исследование экономики России с использованием моделей с нечеткими параметрами / отв. ред. А.О. Баранов, В.Н. Павлов; Новосиб. гос. ун-т, ИЭОПП СО РАН. – Новосибирск, 2009. – 236 с.
2. Павлов А.В., Павлов В.Н. Нечетко-случайные методы исследования неопределенности и их макроэкономические приложения. Изд-во СО РАН РФ, Новосибирск, 2012. – 188 с.