

ББК 65.в641
УДК 33с3.1

Гранберг А.Г., Суслов В.И., Суспицын С.А.

Г 77 Многорегиональные системы: экономико-математическое исследование. — Новосибирск: Сибирское Научное Издательство, 2007. — 371 с.

ISBN 978-5-91124-014-5

В книге представлен экономико-математический инструментарий для исследований структуры и динамики национальной экономики, рассматриваемой как система взаимосвязанных региональных экономик. Прослежена эволюция теоретических конструкций оптимизационных межрегиональных межотраслевых моделей. Выявлены условия продуктивности многорегиональной системы и типичные свойства оптимальных решений межрегиональных моделей. Изложены основные результаты теории межрегиональных экономических взаимодействий. Описана базовая модель экономического взаимодействия регионов, ее соотношения с оптимизационной межрегиональной моделью и возможности использования для измерения особых состояний и эффектов межрегиональных взаимодействий, включая параметризацию множества Парето, выявление эффективных и неэффективных коалиций регионов, нахождение ядра и равновесия многорегиональных систем. Описан опыт моделирования экономических взаимодействий союзных республик в составе СССР, макрорегионов Российской Федерации, регионов мира.

Обобщены исследования авторов, посвященные развитию методологии системного моделирования применительно к многорегиональной экономике. Изучены и развиты алгоритмы горизонтальной и вертикальной координации региональных и народнохозяйственных решений. Предложены подходы к согласованию решений в двухуровневой системе «национальная экономика — регионы», базирующиеся на построении и использовании функций отклика регионов и идеях рефлексивного моделирования. Представлены основные результаты исследовательского проекта СИРЕНА (Синтез РЕгиональных и НАроднохозяйственных решений).

Монография представляет интерес для специалистов в области моделирования пространственных систем.

ББК 65.в641
УДК 33с3.1

ISBN 978-5-91124-014-5

© ИЭОПП СО РАН, 2007
© Гранберг А.Г.,
Суслов В.И.,
Суспицын С.А., 2007

ЧАСТЬ I

Оптимизационные
межрегиональные
межотраслевые
модели

Глава 1. Базовые оптимизационные межрегиональные межотраслевые модели

1.1. Подходы к построению многорегиональных моделей национальной экономики

Попытки построения многорегиональных структурных моделей национальной экономики стали предприниматься в 1950-х гг. в рамках методологии «затраты—выпуск» (*input—output*), получившей к тому времени широкое научное признание и практическое применение благодаря работам В. Леонтьева и его последователей во многих странах мира.

Первые межрегиональные модели представляли собой обобщение точечной статической модели «затраты—выпуск» (по отечественной терминологии — межотраслевого баланса). Основные идеи этой модели — пропорциональность затрат и выпуска продукции, увязка материальных балансов отраслей в единой системе уравнений и т.д. — были распространены на многорегиональные системы. Наибольшую известность получили балансовые модели В. Леонтьева, У. Айзарда, Л. Мозеса¹. Все они сводятся к системе линейных алгебраических уравнений, имеющих единственное решение. Это достигается благодаря фиксации важнейших параметров территориальных пропорций: либо структуры размещения производства (в модели В. Леонтьева), либо структуры межрегиональных связей (в моделях У. Айзарда и Л. Мозеса). В более сложных балансовых моделях единственное решение обеспечивается включением особых статистических зависимостей между основными

¹ Леонтьев В. и др. Исследование структуры американской экономики. М., Госстатиздат, 1958. Гл. III, IV; Moses L. The Stability of Interregional Trading Patterns and Input-Output Analysis // The American Economic Review. 1955. V. 45, No. 5. Модель, аналогичная модели Л. Мозеса, изложена в книге Ченери Х., Кларк П. Экономика межотраслевых связей. М., ИЛ, 1962. Гл. III.

переменными (например, «гравитационной» модели межрегиональных поставок в модели В. Леонтьева и А. Страута)¹. Таким образом, в балансовых моделях главные проблемы оптимизации территориальной структуры экономики по сути не решаются; такие модели могут использоваться, главным образом, в анализе сложившихся территориальных пропорций.

Следующим этапом в развитии моделирования многорегиональных экономических систем стала разработка простых оптимизационных межрегиональных межотраслевых моделей. Первые модели, предложенные Б. Стивенсом, Л. Мозесом, У. Айзардом, представляли собой сочетания моделей региональных межотраслевых балансов и условий транспортных задач в рамках общей схемы линейного программирования². Далее в 1960-х гг. за рубежом периодически публиковались статьи, содержащие различные постановки моделей такого же типа. Но качественного скачка в уровне исследований и особенно в их практических приложениях не было достигнуто; ни в одной стране межрегиональные модели не стали рабочим инструментом прогнозирования и экономической политики.

В СССР первые описания оптимизационных межрегиональных межотраслевых моделей были предложены В.В. Коссовым, А.Г. Аганбегяном, В.А. Машем³; однако, эмпирических исследований ими не проводились.

В 1963–1964 гг. ЦЭМИ АН СССР, ИЭиОПП СО СССР, НИЭИ, СОПСом и ИКТП Госплана СССР, ЦЭНИИ Госплана РСФСР была начата совместная подготовительная работа для решения задачи оптимального развития и размещения производства примерно по 100 отраслям

¹ Leontief W., Straut A. Multiregional Input-Output Analysis (Structural interdependence and economic development) Proceedings of an International Conference. Geneva, 1961. Гл. IV, V.

² Stevens B. An Interregional Linear Programming Model // Journal of Regional Science. No. 1. 1958. V. 1. Moses L.A. General Equilibrium Model of Production, International Trade and Location of Industry // The Review of Economics and Statistics. 1960. V. 42. No. 4. Изард У. Методы регионального анализа М.: Прогресс, 1966.

³ Коссов В.В. К вопросу об оптимальном планировании развития районов, // Сб. «Проблемы оптимального планирования, проектирования и управления производством». МГУ, 1963; Коссов В.В. Экономико-математическая модель территориального планирования // Сб. «Математические методы и проблемы размещения производства». М.: Экономиздат, 1963; Аганбегян А.Г. Экономико-математические модели перспективного планирования. Автореферат докторской диссертации. М., 1963; Маш В.А. О задаче оптимального развития народного хозяйства на перспективу в отраслевом и территориальном разрезе // Экономика и математические методы. 1965. Т. 1. Вып. 6.

и всем союзным республикам и экономическим районам СССР («100 — продуктовая модель»). К сожалению, этот замысел не осуществился. Поэтому в ИЭиОПП было принято решение о разработке и реализации оптимизационной межрегиональной межотраслевой модели (ОМММ) собственными силами в рамках проекта создания системы моделей оптимального территориально-производственного планирования.

Первые варианты конструировавшейся ОМММ были опубликованы в 1965 г. [1]. Они ориентировались на возможности информационно-го и математического обеспечения и различались способами отражения межрегионального обмена, внешней торговли, транспорта, инвестиционного процесса, конечного потребления. Первые экспериментальные расчеты по ОМММ на десятилетнюю перспективу (в разрезе 16 отраслей материального производства и 10 экономических зон СССР) были проведены в 1967 г. [2].

Несколько позднее экспериментальные работы с межрегиональной моделью были начаты в СОПСе Госплана СССР под руководством С.А. Николаева. Первые расчеты были выполнены по 25 группам продукции и 5 зонам¹. Отличия этой модели от моделей ИЭОПП заключаются в следующем: 1) модель СОПСа решала проблемы только *размещения* материального производства, исходя из заданных показателей по народному хозяйству; 2) критерием оптимальности являлась минимизация совокупных (производственных и транспортных) затрат; 3) перечень отраслей (продуктов) не охватывал всю сферу материального производства; 4) не учитывался расход ресурсов на транспорт (транспортные затраты присутствовали только в критерии оптимальности); 5) модель являлась полностью статической; она не включала межотраслевые и межрегиональные связи по воспроизводству и использованию инвестиций; затраты на инвестиции фиксировались; 6) потребности в конечной продукции по регионам и в целом по стране фиксировались. Таким образом, излагаемая модель СОПС, строго говоря, являлась моделью многоотраслевого производственного комплекса, а не моделью всей национальной экономики.

Отечественные и зарубежные исследования по моделированию многорегиональных систем, проводившиеся начиная с 1970-х гг., будут отмечены в последующих главах.

¹ Николаев С. А. Межрайонный и внутрирайонный анализ размещения производительных сил. М.: Наука, 1971; Николаев С. А., Арянин А. Н., Медницкий В. Г. Оптимизация размещения промышленного производства. М.: СОПС, 1971.

1.2. Структура ОМММ

Построение и применение ОМММ базируется прежде всего на теориях межотраслевого анализа и оптимального использования ресурсов, в развитии которых выдающуюся роль сыграли нобелевские лауреаты В.В. Леонтьев и Л.В. Канторович.

Главные преимущества ОМММ заключаются в возможности совместного исследования важнейших условий развития экономики отдельных регионов и национальной экономики в целом: а) демографического, природно-ресурсного и производственно-технического потенциала; б) региональных различий эффективности различных отраслей производства (в том числе трудоемкости, капиталоемкости, материалоемкости); в) географического положения и транспортных затрат на перемещение продукции; г) межотраслевых связей внутри регионов, д) региональных различий уровня жизни и структуры потребления и др.

Теоретические модели пространственной экономики могут включать описание взаимодействий очень большого числа экономических, социальных, технологических, природных, демографических и других факторов и иметь сколь угодно сложную математическую структуру. В отличие от них прикладные модели (предназначенные для аналитических, прогнозных и плановых расчетов) могут опираться только на известные количественные связи между факторами, должны быть приспособлены к существующим источникам информации и разработанному математическому аппарату. Все это вынуждает отказываться от попыток построения всеобъемлющей и детализированной пространственной модели национальной экономики, приводит к необходимости ограничения сферы моделирования лишь важнейшими аспектами, сознательного упрощения многих условий моделей и значительного агрегирования показателей.

По своей структуре ОМММ представляет собой систему региональных блоков (описывающих развитие экономики регионов), связываемых условиями использования общих ресурсов, достижения общих целей для страны, межрегионального перемещения продукции и ресурсов, развития межрегиональной транспортной инфраструктуры. Совокупность всех условий ОМММ образует область выбора возможных вариантов развития и размещения производительных сил, то есть региональных объемов производства продукции всех отраслей, объемов инвестиций и направлений их использования, межрегиональных поставок продукции, общего и региональных уровней конечного потребления.

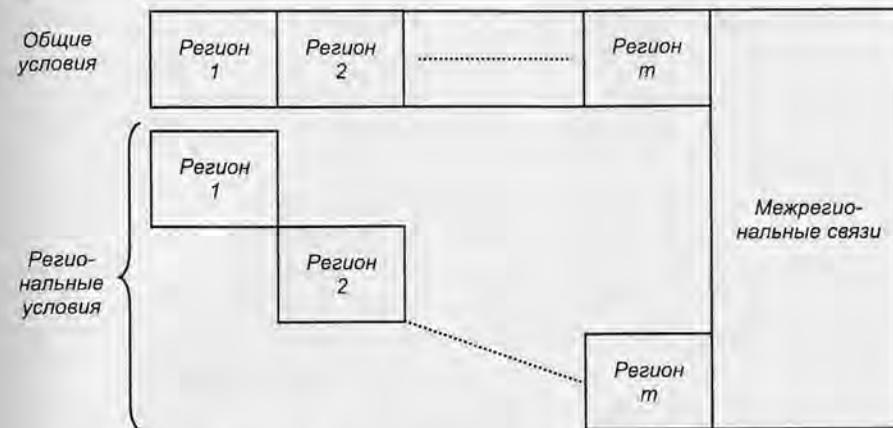


Рис. 1.1. Принципиальная структура ОМММ

В рассматриваемых ниже ОМММ основными условиями связи региональных блоков в единую многорегиональную систему являются соотношения региональных уровней конечного потребления (критериальная часть модели) и условия транспортировки продукции между регионами (транспортная часть модели рис. 1.1).

Каждый региональный блок ОМММ включает типовые условия точечной межотраслевой модели национальной экономики: систему балансов производства и распределения продукции (но с акцентированными внешними связями), балансы инвестиций или основных фондов (производственных мощностей), балансы трудовых ресурсов. Основная часть уравнений ОМММ приходится на балансы производства и распределения продукции. При построении модели для территориального планирования в СССР желательно было выделять 24 региона (14 союзных республик и 10 экономических районов РСФСР), а если принять за основу отраслевую классификацию разработанных межотраслевых балансов (примерно, 105 отраслей), то общее число уравнений балансов продукции только для одного года должно было превышать 2,5 тысячи, что приводило к задаче, трудно реализуемой при имевшейся вычислительной технике. Этим объясняется вынужденная необходимость сильного агрегирования отраслей производства в ОМММ.

В динамических (многопериодных) ОМММ общее число уравнений и переменных возрастает почти пропорционально числу лет расчетного (планируемого) периода. При этом большое число уравнений

выражает процесс воспроизводства основного капитала (производственных мощностей) по годам. Поэтому для сокращения размерности модели и требований к исходной информации по инвестиционному процессу преимущественное применение получили «полудинамические» ОМММ, в которых основные уравнения описывают только последний год расчетного периода; кроме того, в модель вводятся гипотезы о динамике инвестиций внутри расчетного периода.

Особенностью прикладных моделей национальной экономики, включая ОМММ, является их «открытость». Значительная часть условий, переменных и параметров социально-экономического развития исследуются и определяются вне модели. Например, в первой ОМММ инвестиции на весь планируемый период являются экзогенными величинами. Но уже в последующей ОМММ инвестиции становятся эндогенными переменными. Возможности построения и реализации ОМММ, включающих расширяющееся множество социально-экономических условий и соответствующих эндогенных переменных, рассматриваются в гл. 3.

1.3. Исходная ОМММ

Первая ОМММ, по которой проводились экспериментальные расчеты оптимального развития и размещения производительных сил СССР, включала следующие основные группы условий:

- 1) региональные межотраслевые балансы производства и распределения продукции (включая отрасль «транспорт») последнего года планируемого периода, предусматривающие возможность выбора оптимальных вариантов взаимосвязей между отраслями и регионами;
- 2) балансы наличия и использования трудовых ресурсов по каждому региону (с учетом прогнозируемой миграции) в последнем году планируемого периода;
- 3) ограничения по инвестициям (их материально-вещественному составу) в целом по стране за весь планируемый период;
- 4) дополнительные ограничения по отдельным переменным (объемам производства, межрегиональным поставкам и т.д.), учитывающие лимитирующие природные условия, целесообразность использования имеющихся производственных мощностей и т.п.

При этих условиях находится вариант развития производства и межрегиональных связей, обеспечивающий максимальный рост ко-

нечного потребления в целом по стране при заданной структуре (материально-вещественной и территориальной).

Выбор критерия оптимальности, ориентирующего на максимизацию материального благосостояния населения, а не на минимизацию затрат для достижения задаваемого уровня благосостояния, имеет принципиальное значение для модели народнохозяйственного уровня¹. Ограниченные вычислительные и информационные возможности, существовавшие к моменту проведения расчетов, вынудили упростить ряд условий модели:

- 1) в каждом регионе и каждой отрасли учитывается только по одному способу производства;
- 2) инвестиции в развитие транспорта принимаются известными (исходя из существующей стратегии развития транспортной сети); на величину намечаемых инвестиций в транспорт корректируется общий объем распределяемых инвестиций;
- 3) трудовые ресурсы закрепляются по регионам; в самой модели не предусматриваются условия перемещения трудовых ресурсов между регионами (возможные и целесообразные миграционные потоки населения учитываются при обосновании лимитов по труду);
- 4) все виды транспорта объединены в один (с усреднением затрат);
- 5) по перевозкам продукции определенной отрасли для каждой пары смежных регионов выбирается один маршрут;
- 6) затраты на перевозку между смежными регионами относятся полностью на регион-отправитель.

Обозначения. Модель охватывает n отраслей, не считая транспорта ($i, j = 1, \dots, n$), и m регионов ($r = 1, \dots, m$). Основными неизвестными являются показатели последнего года планируемого периода:

- x_i^0 — объем производства продукции i -й отрасли в r -м регионе, получаемой в последнем году с производственных мощностей, действовавших на начало планируемого периода (удобно пронумеровать отрасли таким образом, чтобы последние номера, начиная с $k + 1$, отводились отраслям, создающим материально-вещественные элементы инвестиций);
- \bar{x}_i^r — прирост производства продукции i -й отрасли в r -м регионе за счет инвестиций на расширение мощностей;

¹ Обоснование выбора такого типа критерия оптимальности (целевой функции) и его модификаций для ОМММ дается в [4, с.48–59].

x_r^r — объем продукции транспорта в r -м регионе;
 x_i^{rs} — объем поставки i -й продукции из региона r в смежный регион s (непосредственно учитываются связи только между смежными регионами)¹;
 z — общий объем максимизируемого конечного потребления населения².

Параметрами модели являются:

N_i^r — объем продукции i -й отрасли в r -м регионе, который может быть получен в последнем году планируемого периода с производственных мощностей, действовавших на начало планируемого периода;
 q_i^r — фиксированная часть конечного использования продукции i -й отрасли в r -м регионе;
 H_i — лимит чистых инвестиций i -го вида в целом по стране за весь планируемый период;
 L^r — лимит трудовых ресурсов для производственной сферы в r -м регионе;
 \bar{a}_j^r — максимально допустимый прирост производства продукции j -й отрасли в r -м регионе;
 \underline{a}_j^r — минимальный прирост производства продукции j -й отрасли в r -м регионе;
 δ_{ij} — элемент единичной матрицы;
 \bar{a}_{ij}^r — затраты продукции i -й отрасли на производство единицы продукции j -й отрасли в r -м регионе на мощностях, действовавших к началу планируемого периода (старых мощностях);
 a_{ij}^r — затраты продукции i -й отрасли на производство единицы продукции j -й отрасли на мощностях, введенных в планируемом периоде (новых мощностях);

¹ Непосредственно регистрируются связи только между смежными (граничащими) регионами. Это позволяет намного уменьшить число неизвестных задачи. Метод учета связей только между смежными регионами соответствует сетевой постановке транспортной части модели, когда между двумя смежными регионами существует один путь. Другой возможный способ регистрации межрегиональных связей — непосредственно между всеми регионами — соответствует матричной постановке транспортных задач. Подробнее см. [1, с. 148–155, 160–170].

² Могут использоваться различные модификации однопараметрического критерия оптимальности и условий формирования структуры потребления.

h_{ij}^r — затраты инвестиций вида i на единицу продукции j -й отрасли в r -м регионе, получаемой на новых мощностях;
 b_{ij}^r — затраты инвестиций вида i в последнем году на единицу продукции j -й отрасли в r -м регионе, получаемой на новых мощностях;
 \bar{i}_j^r — затраты труда на производство единицы продукции j -й отрасли в r -м регионе, получаемой на старых мощностях;
 i_j^r — затраты труда на производство единицы продукции j -й отрасли в r -м регионе, получаемой на новых мощностях;
 a_{ir}^r — затраты продукции i -й отрасли на единицу работы транспорта в r -м регионе;
 i_r^r — затраты труда на единицу работы транспорта в r -м регионе;
 a_{ij}^{rr} — затраты транспорта на внутрирайонные перевозки единицы продукции j -й отрасли в r -м регионе;
 a_{ij}^{rs} — затраты транспорта на перевозку единицы продукции j -й отрасли из региона r в регион s ;

α_i^r — доля общего фонда конечного потребления страны, приходящаяся на потребление продукции i -й отрасли в r -м регионе ($\sum_{r,i} \alpha_i^r = 1$). Отметим, что суммирование параметров a_i^r по каждому r -му региону ($\sum_r \alpha_i^r$) дает параметры λ^r , которые показывают доли регионов в общем фонде конечного потребления населения. При этом $\sum_r \lambda^r = 1$.

Для упрощения обозначений и записи моделей здесь и в дальнейшем не указываются переменные и параметры по экспорту и импорту продукции и передачам электроэнергии¹.

В более ранних описаниях модели [2, 3] полные объемы производства (x_j^r) выражались через алгебраические суммы $x_j^r = N_j^r + \bar{x}_j^r - \underline{x}_j^r$, где \underline{x}_j^r интерпретировались как уменьшения объемов производства продукции на мощностях, действовавших на начало планируемого периода. Теперь $x_j^r = \bar{x}_j^r + \underline{x}_j^r$, причем $\bar{x}_j^r \leq N_j^r$. Разделение производства на старых и новых мощностях создает возможность определять с по-

¹ Полностью все обозначения и условия приведены в сб. «Методы и модели территориального планирования». Вып. 1, с. 8–13. Новосибирск: ИЭ и ОПП СО АН СССР, 1971.

мощью ОМММ некоторые важные характеристики технического прогресса (интенсивность обновления старой техники, распространение новых технологий и т.п.).

Ограничения на фонд инвестиций в целом за планируемый период выражаются следующим образом:

$$\sum_{r,j} h_{ij}^r \bar{x}_j^r \leq H_i, \quad i = k+1, \dots, n \quad (1.1)$$

(число таких неравенств совпадает с числом отраслей машиностроения и строительства, создающих материально-вещественные элементы инвестиций).

Расчетный (планируемый) период при использовании ОМММ не может быть кратким. Он должен быть достаточным для сооружения инвестиционных объектов в отраслях с большими сроками капитального строительства и освоения производственных мощностей (подробнее см. [4, с. 69–72]). Практически расчеты по ОМММ проводятся на период 10–15 лет. При построении двух- или трехпериодной ОМММ (см. гл. 3) каждый временной отрезок составляет, как правило, 5–10 лет.

В балансах продукции в ресурсовую часть входят производство, ввоз из других регионов и импорт (для пограничных регионов), а в расходную часть — текущее производственное потребление, инвестиций, затраты на транспорт, непроемленное потребление, фиксированное конечное использование продукции, вывоз продукции в другие регионы и экспорт (для пограничных регионов).

Имеем

$$x_i^0 + \bar{x}_i^r + \sum_s x_i^{sr} \geq \sum_j a_{ij}^0 x_j^r + \sum_j a_{ij}^r \bar{x}_j^r + \sum_j b_{ij}^r \bar{x}_j^r + a_{ix}^r x_x^r + \alpha_i^r z + \sum_s x_i^{rs} + q_i^r$$

(s — индекс регионов, смежных с r).

После приведения подобных членов получаем

$$\begin{aligned} \sum_j (\delta_{ij} - a_{ij}^0) x_j^r + \sum_j (\delta_{ij} - a_{ij}^r - b_{ij}^r) \bar{x}_j^r - a_{ix}^r x_x^r - \alpha_i^r z - \sum_s x_i^{rs} + \\ + \sum_s x_i^{sr} \geq q_i^r, \quad i = 1, \dots, n; \quad r = 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (1.2)$$

При этом общие затраты инвестиций и инвестиций последнего года планируемого периода (учитываемые в балансах продукции) связаны соотношениями

$$\sum_j b_{ij}^r \bar{x}_j^r = \beta_i^r \sum_j h_{ij}^r \bar{x}_j^r,$$

где β_i^r — доля инвестиций последнего года в общем объеме инвестиций за планируемый период по r -му региону.

При равных годовых темпах прироста инвестиций ρ и длительности планируемого периода T $\beta = \frac{\rho(1+\rho)^{T-1}}{(1+\rho)^T - 1}$ (с возможной дифференциацией по видам инвестиций), при этом ρ определяется из уравнения

$$\frac{(1+\rho)[(1+\rho)^T - 1]}{\rho} = \frac{H}{H_0},$$

где H_0 — инвестиции базисного года.

Объем транспортной работы региона складывается из внутрирегиональных перевозок, обеспечивающих внутрирегиональное потребление продукции (x_j^{rr}), межрегиональных перевозок, обеспечивающих вывоз продукции, и экспортно-импортных перевозок (для пограничных регионов):

$$x_r^r \geq \sum_j a_{rj}^{rr} x_j^{rr} + \sum_{s,j} a_{rj}^{rs} x_j^{rs}, \quad r = 1, \dots, m,$$

По экономическому содержанию внутрирегиональное потребление j -й продукции есть

$$x_j^{rr} = x_j^0 + \bar{x}_j^r + \sum_s x_j^{sr} - \sum_s x_j^{rs},$$

Поэтому можем принять

$$x_r^r \geq \sum_j a_{rj}^{rr} x_j^0 + \sum_j a_{rj}^{rr} \bar{x}_j^r + \sum_{s,j} a_{rj}^{rr} x_j^{sr} + \sum_{s,j} (a_{rj}^{rs} - a_{rj}^{rr}) x_j^{rs}$$

или

$$\begin{aligned} - \sum_j a_{rj}^{rr} x_j^0 - \sum_j a_{rj}^{rr} \bar{x}_j^r + x_r^r - \sum_{s,j} (a_{rj}^{rs} - a_{rj}^{rr}) x_j^{rs} - \sum_{s,j} a_{rj}^{rr} x_j^{sr} \geq 0 \\ r = 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (1.3)$$

Решению задачи должны удовлетворять только неотрицательные значения x_j^{rr} . Если рассматривать внутрирегиональное потребление

не с точки зрения поступления ресурсов, а с точки зрения использования продукции, то

$$x_i^{rr} = \sum_j a_{ij}^0 x_j^r + \sum_j a_{ij}^r \bar{x}_j^r + \sum_j b_{ij}^r \bar{x}_j^r + a_{ir}^r x_r^r + \alpha_i^r z + q_i^r.$$

Очевидно, что условия $x_i^{rr} \geq 0$ выполняются автоматически при неотрицательности остальных неизвестных. Поэтому, освободившись от переменных x_i^{rr} путем подстановок, можно не вводить особых условий, гарантирующих неотрицательность внутрирегионального потребления.

Трудовые затраты в r -м регионе на производство продукции и транспортировку составляют

$$\sum_j t_j^0 x_j^r + \sum_j t_j^r \bar{x}_j^r + t_r^r x_r^r \leq L^r, \quad r=1, \dots, m. \quad (1.4)$$

Основные условия (1.1)–(1.4), а также ограничения на отдельные переменные

$$\underline{d}_j^r \leq \bar{x}_j^r \leq \bar{d}_j^r \quad (\text{для некоторых } j, r), \quad (1.5)$$

$$x_j^0 \leq N_j^r \quad (1.6)$$

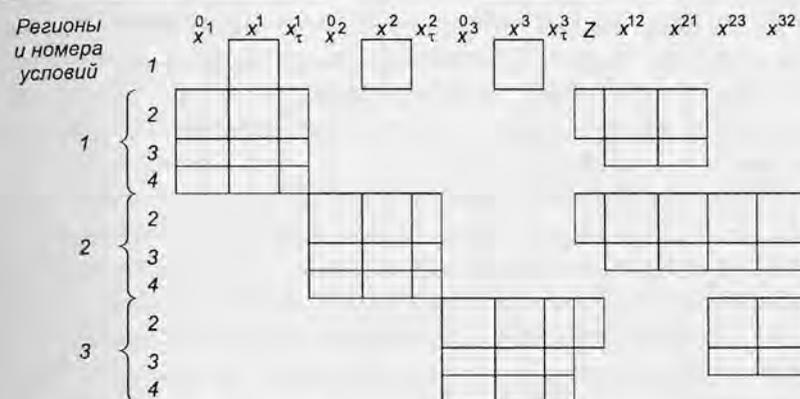
$$x_j^r, \bar{x}_j^r, x_r^r, x_j^{rs} \geq 0 \quad (1.7)$$

и функционал

$$z \rightarrow \max \quad (1.8)$$

образуют модель оптимизации национальной экономики в территориальном разрезе.

Матрица задачи (1.1)–(1.8) имеет специфическую структуру. Региональные блоки связаны между собой ограничениями по общим объемам инвестиций, структурой фонда конечного потребления и условиями межрегиональных транспортных связей (по смежным регионам). Пусть, к примеру, территория страны разделена на три региона, причем смежными являются регионы 1 и 2, а также 2 и 3. Структура матрицы будет иметь следующий вид:



Если допустить, что в оптимальном плане старые мощности используются полностью (то есть $x_j^0 = N_j^r$), то условия (1.2)–(1.4) упрощаются (исключаются связи с переменными x_j^0) и исчезает условие (1.6). Модель может включать и некоторые дополнительные условия, не усложняющие ее структуру: ограничения на интенсивности некоторых межрегиональных потоков, ограничения по использованию природных ресурсов и т.п.

Отметим важное свойство решения («оптимального плана») модели. При заданных долях регионов в общем фонде конечного потребления страны ($z^r = \lambda^r z$) получаем решение, которое нельзя улучшить ни для одного региона (в смысле увеличения z^r), не уменьшая уровень конечного потребления хотя бы в одном другом регионе. Иными словами, каждому вектору $\Lambda = (\lambda^k)$ долей регионов λ^r в общем фонде конечного потребления соответствует оптимальное по Парето состояние много-региональной системы.

Изложенная ОМММ является особой формой *Основной задачи производственного планирования*, сформулированной и исследованной Л.В. Канторовичем¹.

¹ Канторович Л.В. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 280–288.

Авторы придерживаются взгляда, что как статическая, так и динамическая основная производственная задача Л.В. Канторовича являются теоретическими оптимизационными моделями экономики, которым соответствует широкое множество специализированных моделей (см. Гранберг А.Г. Моделирование социалистической экономики. М.: Экономика, 1988. С. 224–229, 346–350).

Общность моделей выражается в том, что они включают идентичные базовые элементы: 1) балансы продукции и ограниченных ресурсов; 2) способы производства (видов деятельности); 3) критерий оптимальности — максимум конечной продукции в заданном ассортименте. Особо выделим два момента.

Способы перемещения продукции в ОМММ (соответствующие переменным x_i^{rs}) являются усложнениями способов *транспортной задачи*, также исследованной Л.В. Канторовичем. Они включают не только коэффициенты +1 и -1, но и еще два коэффициента транспортной работы (1.3). Критерий оптимальности, введенный Л.В. Канторовичем, несмотря на свою внешнюю простоту и технократический оттенок («ассортиментное задание» и т.п.), доказал свою продуктивность в развитии семейства ОМММ: в базовых моделях (гл. 1), в моделях векторной оптимизации многорегиональных систем (гл. 3–4) и моделях экономического взаимодействия регионов (гл. 5–9), посредством которых исследуются парето-оптимум многорегиональных систем, эффективные коалиции регионов, пространственное экономическое равновесие.

Отметим также, что Л.В. Канторович дал анализ частного случая основной производственной задачи с матрицами «затраты—выпуск» В. Леонтьева. Этот анализ пересекается с методологией и результатами изучения свойств ОМММ (см. параграф 2.3).

1.4. ОМММ с эндогенными инвестициями

Способ учета динамики развития регионов и капитальных затрат, принятый в исходной модели (1.1)–(1.8), имеет ряд недостатков.

Задание лимитов инвестиций на планируемый период затрудняет нахождение оптимального соотношения потребления и накопления в национальной экономике. Хотя общие объемы инвестиций могут определяться в точечной модели верхнего уровня, но вследствие учета пространственных факторов, как правило, возникает необходимость корректировки этих объемов. Такую корректировку, в принципе, можно осуществлять путем решения ОМММ с разными лимитами инвестиций; однако, методика вариантных расчетов слишком трудоемка.

Другой недостаток исходной модели связан с методикой расчета коэффициентов b_{ij}^r . В среднем эти коэффициенты в β_i^r раз меньше коэффициентов h_{ij}^r , причем величины β_i^r зависят от принимаемых гипотез роста инвестиций по регионам в течение планируемого периода. Но, как пока-

зывают многочисленные экспериментальные расчеты, исходные гипотезы, используемые при расчете коэффициентов β_i^r , редко когда оправдываются. Поэтому после получения первого решения задачи целесообразно корректировать коэффициенты b_{ij}^r , пересчитывать ОМММ снова и т.д.

Более общий подход к построению упрощенной динамической ОМММ заключается в том, что параметры роста и абсолютные объемы инвестиций становятся *эндогенными* переменными (то есть определяются непосредственно в рамках модели); при этом в модель вводятся лишь гипотезы о формуле роста инвестиций по регионам (например, линейный, экспоненциальный, параболический рост и т.п.).

Пусть u_i^r — расход инвестиций i -го вида на прирост производства в r -м регионе в году t (планируемый период по-прежнему включает T лет). В уравнения региональных балансов продукции последнего года (по отраслям, создающим материально-вещественные элементы инвестиций) входят величины u_i^{Tr} , а объемы производственных инвестиций

в регионе за весь планируемый период $\sum_{t=1}^T u_i^{Tr}$ включаются в региональные балансы инвестиций.

Теперь в модифицированной ОМММ вместо (1.1) и (1.2) имеем корреспондирующие друг с другом региональные балансы инвестиций и продукции:

$$\sum_j h_{ij}^r \bar{x}_j^r - \sum_{t=1}^T u_i^{Tr} \leq 0, \quad i = k+1, \dots, n; r = 1, \dots, m; \quad (1.9)$$

$$\begin{aligned} & \sum_j \left(\delta_{ij} - a_{ij}^r \right) \bar{x}_j^r + \sum_j (\delta_{ij} - a_{ij}^r) \bar{x}_j^r - u_i^{Tr} - a_{ir}^r x_r^r - \alpha_i^r z - \\ & - \sum_s x_i^{rs} + \sum_s x_i^{sr} \geq q_i^r, \quad i = 1, \dots, n; r = 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (1.10)$$

Ограничения (лимиты) на объемы инвестиций в целом по национальной экономике исключаются, а условия (1.3)–(1.8) исходной ОМММ в точности сохраняются. Перенумеруем их в той же последовательности: уравнения транспорта — (1.11), балансы трудовых ресурсов — (1.12), ограничения на отдельные переменные — (1.13), ограничения на производственные мощности, действовавшие на начало планируемого периода — (1.14), условия неотрицательности переменных — (1.15), функционал — (1.16).

Для завершения построения модифицированной ОМММ необходимо связать друг с другом неизвестные u_i^{Tr} и $\sum_{i=1}^T u_i^{Ir}$, выразив их в виде функций инвестиций базисного года (u_i^{0r}) и неизвестных параметров ежегодного роста инвестиций (ρ_i^r):

$$u_i^{Tr} = f_i^r(u_i^{0r}, \rho_i^r) \quad (1.17)$$

$$\sum_{i=1}^T u_i^{Ir} = \varphi_i^r(u_i^{0r}, \rho_i^r). \quad (1.18)$$

Подстановка функций (1.17) в (1.10) и (1.18) в (1.9) завершает построение модифицированной ОМММ. Необходимо только выбрать вид функций (1.17) и (1.18), то есть формулу роста инвестиций в течение планируемого периода¹.

Важно подчеркнуть, что решение ОМММ определяет оптимальные значения параметров роста инвестиций (ρ_i^r), обеспечивающие максимальное значение z . Любые отклонения от этих оптимальных значений уменьшают максимизируемый уровень конечного потребления. В частности, невыгодно, чтобы инвестиции росли чрезмерно высокими темпами, так как отвлечение ресурсов на накопление в последнем году планируемого периода может уменьшить возможности роста конечного потребления.

При линейном законе роста инвестиций, то есть когда их ежегодный абсолютный прирост одинаков,

$$u_i^{Tr} = u_i^{0r} + T\rho_i^r, \quad (1.19)$$

$$\sum_{i=1}^T u_i^{Ir} = Tu_i^{0r} + \frac{T(T+1)}{2} \rho_i^r \quad (1.20)$$

Подстановка этих выражений в (1.9) и (1.10) не нарушает линейности модели, что является важным преимуществом. Возможность получения отрицательных значений параметров $\bar{\rho}_i^r$ обеспечивается заменой неизвестных $\rho_i^r = \bar{\rho}_i^r - \rho_i^*$, где $\bar{\rho}_i^*$, ρ_i^* — неотрицательные числа, характеризующие, соответственно, положительные или отрицательные изменения объемов инвестиций базисного года.

¹ Запись модели (1.9)–(1.18) в векторно-матричной форме дается в [6, с. 23–31]. Кроме того, в этой версии ОМММ выделяются затраты на капитальный ремонт основных фондов (с. 25–26).

При всех математических удобствах линейной динамики необходимо принимать во внимание, что при постоянных абсолютных приростах годовые темпы прироста монотонно снижаются. Такое распределение инвестиций во времени выгодно с позиций максимизации производственного потребления в последнем году планируемого периода, но оно малопривлекательно с точки зрения непрерывного повышения уровня жизни. Гипотеза о постоянных абсолютных приростах оправдывает себя только применительно к регионам с низкими темпами развития.

Для развивающейся экономики более приемлемым является рост инвестиций по степенной функции, то есть с одинаковым ежегодным темпом прироста ρ :

$$u_i^{Tr} = (1 + \rho_i^r)^T u_i^{0r}, \quad (1.21)$$

$$\sum_{i=1}^T u_i^{Ir} = \frac{(1 + \rho_i^r)[(1 + \rho_i^r)^T - 1]}{\rho_i^r} u_i^{0r}. \quad (1.22)$$

Подстановка (1.21) и (1.22) в (1.9) и (1.10) приводит к задаче нелинейного программирования. Однако кусочно-линейная аппроксимация функций (1.21) и (1.22) позволяет перейти к задаче линейного программирования с дополнительными ограничениями. Благодаря специфике функций (1.21) и (1.22) однократное решение линейно-программной задачи дает решение исходной нелинейной задачи с любой требуемой точностью. Это свойство рассматриваемой задачи связано с тем, что функция $f = (1 + \rho)^T$ растет быстрее, чем функция $\varphi = (1 + \rho)[(1 + \rho)^T - 1]/\rho$. Например, отношение приростов функций φ и f при увеличении ρ от 0,06 до 0,07 составляет 4,612, при увеличении ρ от 0,07 до 0,08 оно равно 4,491 и далее продолжает монотонно убывать (при $\Delta\rho = 0,01$): 4,391; 4,286; 4,194 и т.д. Аналитически это свойство функции φ и f выражается в том, что $(\varphi' / f')' < 0$ ¹.

Пусть $[\rho^0, \bar{\rho}]$ — интервал, в котором определяется оптимальный темп прироста инвестиций (для упрощения обозначений опустим индексы продукции и региона), $e = (\rho - \rho^0) / k$ — длина каждого отрезка

$$f' = T(1 + \rho)^{T-1}, \quad \varphi' = \left[\sum_{i=1}^T (1 + \rho)^i \right] = \sum_{i=1}^T i(1 + \rho)^{i-1}, \quad \frac{\varphi'}{f'} = \sum_{i=1}^T \frac{i}{T} (1 + \rho)^{i-T},$$

$$\left(\frac{\varphi'}{f'} \right)' = \sum_{i=1}^T (i - T) \frac{i}{T} (1 + \rho)^{i-T-1} < 0.$$

аппроксимации, μ — номер отрезка аппроксимации. Функции (1.21) и (1.22) заменяются кусочно-линейными функциями:

$$u^T = u^0 \sum_{\mu=0}^k a_{\mu} \xi_{\mu} \quad (1.21)$$

$$\sum_{i=1}^T u^i = u^0 \sum_{\mu=0}^k b_{\mu} \xi_{\mu}, \quad (1.22)$$

где ξ_{μ} — переменные аппроксимации,

$$a_0 = u^0 (1 + \rho^0)^T$$

$$b_0 = \frac{(1 + \rho^0)((1 + \rho^0)^T - 1)}{\rho^0}$$

$$a_{\mu} = (1 + \rho^0 + \mu e)^T - [1 + \rho^0 + (\mu - 1)e]^T, \quad \mu = 1, \dots, k$$

$$b_{\mu} = \frac{(1 + \rho^0 + \mu e)[(1 + \rho^0 + \mu e)^T - 1]}{\mu e}$$

$$- \frac{[1 + \rho^0 + (\mu - 1)e][1 + \rho^0 + (\mu - 1)e]^T - 1}{(\mu - 1)e}, \quad \mu = 1, \dots, k.$$

Кроме того,

$$0 \leq \xi_{\mu} \leq 1, \quad \mu = 0, \dots, k. \quad (1.23)$$

Очевидно, при $b_{\mu} / a_{\mu} = \Delta \varphi / \Delta f$ при $\rho \in [\rho^0 + (\mu - 1)e, \rho^0 + \mu e]$. В пределе (при $e \rightarrow 0$) имеем $b_{\mu} / a_{\mu} = \Delta \varphi' / \Delta f'$. Как было указано выше, $(b_{\mu} / a_{\mu})' < 0$. Пусть $\hat{\mu}$ — максимальный номер, для которого $\xi_{\hat{\mu}} > 0$. Тогда искомая величина находится по формуле

$$\rho = \rho^0 + (\hat{\mu} - 1 + \xi_{\hat{\mu}})e. \quad (1.24)$$

Далее придется прибегнуть к свойствам задачи, двойственной к изложенной выше ОМММ. Введем обозначения переменных двойственной задачи: v — оценка продукции (соответствует (1.10)); w — оценка инвестиций (соответствует (1.9)); y_{μ} — оценки условий (1.23). Все эти оценки неотрицательны.

Покажем, что указанный способ аппроксимации позволяет решить исходную нелинейную задачу за один шаг с любой точностью, задаваемой величиной ϵ . Для этого достаточно доказать, что в оптимальный план задачи линейного программирования входят переменные $\Delta \rho_{\mu}$ только со смежными номерами, начиная с $\mu = 0$.

Доказательство. Будем исходить из «типичных» свойств ОМММ: 1) оптимальные планы прямой и двойственной задачи существуют и единственны; 2) оценки v и w строго положительны. Принимаем во внимание три качественно различных случая, когда оптимальное ξ принадлежит концам или внутренности отрезка $[0, 1]$.

1. Если $0 < \xi_{\mu} < 1$, то $\xi_{\mu-\eta} = 1$, $\xi_{\mu+\theta} = 0$ (η и θ — целые положительные числа, $\eta < \mu$). Из условия двойственной задачи, соответствующего переменной ξ_{μ} , находим: $u^0 b_{\mu} w - u^0 a_{\mu} v = 0$, откуда $v / w = b_{\mu} / a_{\mu}$. Предположим, что $\xi_{\mu-\eta} < 1$. Тогда из соответствующего условия двойственной задачи получим $v / w = b_{\mu-\eta} / a_{\mu-\eta}$. Но это невозможно, так как $b_{\mu} / a_{\mu} < b_{\mu-\eta} / a_{\mu-\eta}$. Допустим теперь, что $\xi_{\mu+\theta} > 0$. Тогда $u^0 b_{\mu+\theta} w - u^0 a_{\mu+\theta} v - y_{\mu+\theta} = 0$, откуда $v / w \leq b_{\mu+\theta} / a_{\mu+\theta}$, что также невозможно, так как $b_{\mu+\theta} / a_{\mu+\theta} < b_{\mu} / a_{\mu}$.

2. Если $\xi_{\mu} = 0$, то $\xi_{\mu+\theta} = 0$. В противном случае получаем из условий двойственной задачи два несовместных неравенства: $v / w \geq b_{\mu} / a_{\mu}$ и $v / w \leq b_{\mu+\theta} / a_{\mu+\theta}$.

3. Если $\xi_{\mu} = 1$, то $\xi_{\mu-\eta} = 1$. Предположим, что $\xi_{\mu-\eta} < 1$. Тогда $y_{\mu-\eta} = 0$ и из условий двойственной задачи получаем несовместные неравенства: $v / w \leq b_{\mu} / a_{\mu}$ и $v / w \geq b_{\mu-\eta} / a_{\mu-\eta}$.

Методика линеаризации функций (1.21) и (1.22) для более поздней версии ОМММ излагается в [6, с. 26–27]. Другие подходы к линеаризации функций роста инвестиций предлагались в работах Б.М. Смехова и А.А. Конюса¹.

¹Б.М. Смехов с целью сохранения линейности соотношений народнохозяйственной модели предлагал использовать формулу $u_t^i = u_t^{i0} (1 + \Delta_i^{\sigma} \sigma_t^i)$, где Δ_i^{σ} — относительная величина прироста инвестиций в году t ; σ_t^i — искомый параметр роста инвестиций.

Иными словами, предполагается, что капиталовложения растут по фиксированному заранее соотношению годовых приростов. Ожидаемые темпы прироста не всегда точны, и поэтому могут потребоваться повторные решения задачи. Экспериментальная проверка данного способа линеаризации, кроме того, показывает, что задание коэффициентов Δ_i^{σ} в соответствии с оптимальными ρ_i^{σ} не гарантирует получение оптимального плана с такими же темпами. Происходит устойчивое уклонение в сторону варианта с неизменными абсолютными приростами инвестиций, который «выгоднее» с точки зрения максимизации непроизводственного потребления в последнем году

Изложенная ОМММ уже длительное время используется как базовая в аналитических и прогностических исследованиях многорегиональных систем разного типа (см. главы 4, 6, 7). Принципы ее построения для одного периода сохраняются при переходе к многопериодным ОМММ (см. 3.6).

планового периода (Смехов Б.М. Перспективное народнохозяйственное планирование. М.: Экономика, 1968).

Линейность всех соотношений модели удается сохранить при использовании гипотезы роста капиталовложений по *параболе второго порядка* (Кониус А.А. Перспективное планирование при предложении равномерного роста капиталовложений // Сб. «Планирование и экономико-математические методы». М.: Наука, 1964).

Пусть $u_i^{0r} - u_i^{-1r} = \Delta_i^r$ (известная величина прироста инвестиций в базисном году по сравнению с предшествующим); $u_i^{1r} - u_i^{0r} = \rho_i^r$, где ρ_i^r — искомый параметр роста инвестиций. В соответствии с формулой параболы второго порядка

$$u_i^r = u_i^{0r} + \frac{T(T+1)}{2} \rho_i^r - \frac{(T-1)T}{2} \Delta_i^r,$$

$$\sum_{i=1}^T u_i^r = T u_i^{0r} + \frac{T(T+1)(T+2)}{6} \rho_i^r - \frac{(T-1)T(T+1)}{6} \Delta_i^r.$$

Парабола второго порядка характеризует такую динамику инвестиций, когда абсолютные приросты растут, а темпы прироста снижаются. Возможности использования приведенных формул хотя бы для некоторых регионов можно выяснить в результате анализа данных по статистике инвестиций.

Глава 2. Экономико-математический анализ ОМММ

2.1. Продуктивность многорегиональной системы

Продуктивность в точечном анализе. Отдельный регион может рассматриваться как точечная многоотраслевая система. Свойства продуктивности такой системы хорошо изучены. Матрица r -го региона a^r называется продуктивной, если существует такой $x^r \geq 0$, что $y^r = (e - a^r)x^r > 0$, или, если существует такой $p^r \geq 0$, что $\pi^r = p^r(e - a^r) > 0$,

где a^r — матрица размерности $n \times n$ коэффициентов материальных затрат (*input-output*),

x^r — вектор-столбец размерности n объемов производства (выпусков);

y^r — вектор-столбец размерности n конечной продукции (ВРП по использованию);

p^r — вектор-строка размерности n цен;

π^r — вектор-строка размерности n удельных величин валовой добавленной стоимости;

e — единичная матрица размерности $n \times n$ (единичную матрицу в современной литературе обозначают I , но в этом разделе необходимо различать единичные матрицы «большие» и «малые», поэтому приходится вернуться к старым обозначениям).

Оба эти определения эквивалентны, так что если в качестве собственно определения принять одно из них, то второе окажется необходимым и достаточным условием продуктивности. Имеются и другие необходимые и достаточные условия, среди которых можно отметить существование и неотрицательность матрицы $(e - a^r)^{-1}$. Последнее означает, что в продуктивной региональной системе (в регионе с продуктивной матрицей a^r) может быть произведен неотрицательный век-

Изложенная ОМММ уже длительное время используется как базовая в аналитических и прогностических исследованиях многорегиональных систем разного типа (см. главы 4, 6, 7). Принципы ее построения для одного периода сохраняются при переходе к многопериодным ОМММ (см. 3.6).

планового периода (Смехов в Б.М. Перспективное народнохозяйственное планирование. М.: Экономика, 1968).

Линейность всех соотношений модели удается сохранить при использовании гипотезы роста капиталовложений по *параболе второго порядка* (Кониус А.А. Перспективное планирование при предложении равномерного роста капиталовложений // Сб. «Планирование и экономико-математические методы». М.: Наука, 1964).

Пусть $u_i^{0r} - u_i^{-1r} = \Delta_i^r$ (известная величина прироста инвестиций в базисном году по сравнению с предшествующим); $u_i^{1r} - u_i^{0r} = \rho_i^r$, где ρ_i^r — искомый параметр роста инвестиций. В соответствии с формулой параболы второго порядка

$$u_i^r = u_i^{0r} + \frac{T(T+1)}{2} \rho_i^r - \frac{(T-1)T}{2} \Delta_i^r,$$

$$\sum_{i=1}^T u_i^r = T u_i^{0r} + \frac{T(T+1)(T+2)}{6} \rho_i^r - \frac{(T-1)T(T+1)}{6} \Delta_i^r.$$

Парабола второго порядка характеризует такую динамику инвестиций, когда абсолютные приросты растут, а темпы прироста снижаются. Возможности использования приведенных формул хотя бы для некоторых регионов можно выяснить в результате анализа данных по статистике инвестиций.

Глава 2. Экономико-математический анализ ОМММ

2.1. Продуктивность многорегиональной системы

Продуктивность в точечном анализе. Отдельный регион может рассматриваться как точечная многоотраслевая система. Свойства продуктивности такой системы хорошо изучены. Матрица r -го региона a^r называется продуктивной, если существует такой $x^r \geq 0$, что $y^r = (e - a^r)x^r > 0$, или, если существует такой $p^r \geq 0$, что $\pi^r = p^r(e - a^r) > 0$,

где a^r — матрица размерности $n \times n$ коэффициентов материальных затрат (*input-output*),

x^r — вектор-столбец размерности n объемов производства (выпусков);

y^r — вектор-столбец размерности n конечной продукции (ВРП по использованию);

p^r — вектор-строка размерности n цен;

π^r — вектор-строка размерности n удельных величин валовой добавленной стоимости;

e — единичная матрица размерности $n \times n$ (единичную матрицу в современной литературе обозначают I , но в этом разделе необходимо различать единичные матрицы «большие» и «малые», поэтому приходится вернуться к старым обозначениям).

Оба эти определения эквивалентны, так что если в качестве собственно определения принять одно из них, то второе окажется необходимым и достаточным условием продуктивности. Имеются и другие необходимые и достаточные условия, среди которых можно отметить существование и неотрицательность матрицы $(e - a^r)^{-1}$. Последнее означает, что в продуктивной региональной системе (в регионе с продуктивной матрицей a^r) может быть произведен неотрицательный век-

тор конечного продукта в любой отраслевой структуре (для любого $y^r \geq 0$ найдется $x^r \geq 0$) или могут быть назначены неотрицательные цены, обеспечивающие неотрицательный вектор удельных величин валовой добавленной стоимости также в любой отраслевой структуре.

Существуют и другие необходимые и достаточные условия продуктивности: а) строгая положительность главных миноров матрицы $(e - a^r)$; б) строго меньшая единицы величина собственного числа Фробениуса—Перрона матрицы a^r (это наибольшее по модулю собственное число¹).

Матрица a^r непродуктивна, если существует такой $x^r \geq 0$, что $y^r < 0$, или существует такой $p^r \geq 0$, что $\pi^r < 0$. Классы продуктивных и непродуктивных матриц материалоемкости не пересекаются, но их объединение не дает множество всех возможных матриц. Имеются промежуточные классы: полупродуктивные и равновесные матрицы. Полный анализ региональных матриц дан в [Сулов В.И. Измерение эффектов... 1991. С. 68–70].

Полезно также напомнить, что для неразложимых матриц a^r в определении продуктивности можно требовать не строгую положительность y^r и π^r , а лишь полуположительность, обозначаемую обычно « \geq ». Аналогично в определении непродуктивности « $<$ » замещается на « \leq ». Матрица $(e - a^r)^{-1}$ в случае продуктивности и неразложимости строго положительна, и для любого неотрицательного y^r или π^r существует строго положительный, соответственно, x^r или p^r .

В точечном анализе определение продуктивности традиционно дается в терминах выпусков и конечной продукции. В пространственном анализе более полезным и более содержательным оказывается «двойственное» определение — в терминах цен и удельных валовых добавленных стоимостей. Между тем цены p^r в отличие от продуктов x^r или y^r нельзя рассматривать как результат простой «регионализации» (приписывания индекса региона) «точечных» величин. При этом обязательно встает вопрос об их содержательном смысле, о соответствии ценам, используемым в практике.

Прежде чем переходить к анализу цен, отметим значение понятия продуктивности для ОМММ.

Связь с оптимизационной моделью. Продуктивность a^r является необходимым, но не достаточным условием существования допусти-

¹ Беллман Р. Введение в теорию матриц. М.: Наука, 1976. Гл. 2. Никайдо Х. Выпуклые структуры и математическая экономика. М.: Мир, 1972. Гл. 16.

мого решения в региональном блоке модели, а ее непродуктивность — достаточным условием отсутствия допустимого решения. Прокомментируем первое из этих утверждений.

После агрегирования и некоторого упрощения регионального блока модели с эндогенными инвестициями, представленного в гл. 1, его можно записать следующим образом:

$$\begin{array}{c}
 \left[\begin{array}{c} x^r \\ e - a^r \\ -c^r \\ -I^r \end{array} \right] \geq \left[\begin{array}{c} \overbrace{u^r \quad z^r \quad x^{rs} \quad x^{sr}}^{y^r} \\ U \quad \alpha^r \quad -a^{rs} \quad a^{sr} \quad q^r \\ -\Psi \end{array} \right]
 \end{array}$$

здесь π^r

u^r — вектор-столбец (размерности, равной количеству капиталобразующих отраслей) инвестиций в последнем году планируемого периода (в прикладных расчетах — двухкомпонентный: машиностроение и строительство);

U — матрица со столбцами-ортами: единицы в строках балансов капиталобразующих отраслей;

α^{rs} — матрица, состоящая из единичной матрицы в блоке отраслей с транспортательной продукцией и транспортными коэффициентами затрат со знаком «минус» в строке транспортного баланса;

a^{sr} — аналогичная матрица для ввозимой продукции (в ней транспортные коэффициенты размещены с «плюсом»);

c^r — матрица коэффициентов капиталоемкости в целом за планируемый период объемов производства последнего года (это средневзвешенные капиталоемкости поддержания производства на старых мощностях и прироста производства);

I^r — вектор-строка трудоемкостей производства;

Ψ — диагональная матрица с элементами, показывающими, во сколько раз инвестиции в целом за период превышают инвестиции последнего года; при нулевом темпе прироста инвестиций они равны T , с ускорением динамики инвестиций они сокращаются (в прикладных расчетах при $T = 10-15$ их уровень — $8-12$).

В региональном блоке модели более детально представлены u^r и π^r , и свойства продуктивности остались бы такими же, как для a^r , если бы инвестиционные строки и столбцы были не связанными. Но в силу наличия матрицы ψ продуктивность регионального блока модели будет определяться не матрицей a^r , расширенной матрицей \tilde{a}^r : вправо столбцами — U , вниз строками — $c^r \Psi^{-1}$. Операцию Ψ^{-1} надо провести, чтобы новая ситуация была качественно такой же как прежняя: $e - a^r \Rightarrow \tilde{e} - \tilde{a}^r$, где \tilde{e} получена расширением e за счет $\Psi \Psi^{-1}$.

В силу того, что ψ достаточно велика, «довесок» $c^r \Psi^{-1}$ мало значим и не должен заметно ухудшить свойства продуктивности. Но если планируемый период слишком короток, региональный блок модели может оказаться непродуктивным, несмотря на продуктивность матрица материалоемкости.

Региональные цены. Цены p^r , фигурирующие в определении продуктивности, обеспечивают не только строгую положительность валовых добавленных стоимостей в стоимости выпусков каждой отрасли. Правила измерения в ценах такого типа, действующие в региональной межотраслевой модели, приводят к тому, что вся произведенная и вся потребленная продукция каждого вида измеряется в одной и той же цене — цене данного региона. Произведенная — независимо от того, где и как будет потребляться, потребленная — независимо от места ее производства. Формально эти правила выражают требования принципа двойственности: каждому соотношению прямой задачи (балансу производства и потребления продукции) соответствует строго одна двойственная переменная (цена продукции). Содержательно это означает, что переход от натурально-вещественных измерителей к стоимостным и наоборот не меняет структуры баланса производства и потребления продукции.

Такой метод ценностного измерения назван методом региональных цен, или цен региона. Введение особого термина в данном случае было бы вряд ли уместно, если бы обозначаемый им метод был сколько-нибудь широко известен в практике статистики (на сводном уровне). Парадоксально, но факт: этот наиболее естественный метод ценностного измерения не используется при разработке региональных межотраслевых балансов. Причины такого положения коренятся, по-видимому, в неразвитости статистики цен и, как следствие, в невозможности приведения статистики в натуральном и стоимостном выражении к «общему знаменателю». При разработке межотраслевых балансов приходится

пользоваться такими показателями в стоимостном выражении, которые уже рассчитаны для различных других целей.

Более того, и в теории регионального межотраслевого баланса такой метод ценностного измерения не известен (если не иметь в виду ряда формальных разделов этой теории). Рассматриваются методы, основанные на ценах производителей или ценах потребителей, или смешанных ценах потребителей¹.

При использовании метода цен производителей независимость теряют, по крайней мере, цены потребленной и ввезенной продукции. Эти цены становятся зависимыми от места производства продукции и не могут оставаться на уровне, едином для всех показателей баланса конкретного вида продукции в регионе. Метод цен потребителей ставит в аналогичное положение цены произведенной и вывезенной продукции (зависимость от места потребления), а метод смешанных цен потребителей (вывоз и ввоз измеряется в ценах франко-граница региона) приводит еще и к разрыву между стоимостным и натурально-вещественным содержанием показателей производства и вывоза.

Какой бы из этих методов ни применялся, разные показатели регионального баланса транспортабельной продукции измеряются в различных ценах², зато перевозимая продукция в балансах регионов-контрагентов дается в одинаковых ценах. Результаты применения метода региональных цен имеют прямо противоположный характер.

Вопросы ценностного измерения продукции в пространственной межотраслевой системе, соответствия метода измерения типу модели подробно исследованы в [Суслов В.И., 1979, 1982]. Здесь можно обратить внимание на то, что «хорошей» моделью региональных цен являются двойственные оценки продукции в ОМММ.

Если продукция производится в регионе, то ее оценка из соответствующего двойственного уравнения имеет структуру цены производителей (внутрирегиональные транспортные затраты выступают техноло-

¹ В современной практике построения региональных межотраслевых балансов, основанной на методологии СНС, все эти проблемы сохраняются. Немного меняется терминология и добавляется еще один вид цен производителей — основные цены, уменьшенные на величину налогов на продукты.

² Практика ценностных измерений в межотраслевом балансе еще более «сурова». Вынужденное применение цен конечного потребления, которые в результате действия сложного механизма финансовых перераспределений могут быть совершенно различными для разных потребителей, приводит к значительной вариации цены по строке баланса производства и потребления продукции. Все это существенно снижает аналитические возможности межотраслевых балансов.

гическими затратами). Оценка ввозимой в регион продукции по двойственному уравнению для способа межрегиональной перевозки имеет структуру цены потребителей. Таким образом, цены выступают одновременно ценами производителей для производимой и вывозимой продукции и ценами потребителей для потребляемой и ввозимой продукции. Метод региональных цен совмещает в себе достоинства методов цен производителей и потребителей — достоинства в смысле обеспечения единой цены по строке баланса продукции.

Межрегиональные межотраслевые балансы. Существует два в определенном смысле противоположных подхода к построению межрегиональных балансов: фиксирование переменных ввоза относительно объемов регионального потребления или переменных ввоза относительно объемов регионального производства. В первом случае получают W -балансы, во втором — V -балансы.

Представление этих балансов становится особенно наглядным при упрощении ситуации за счет отказа от явного учета транспортных затрат на межрегиональные перевозки и перехода в описании перевозок от смежных к прямым связям между регионами (более полное изложение этого вопроса дано в [Оптимизационные..., 1989, гл. 4]). Теперь векторы x^{rs} имеют размерность n , $v^r = \sum_{s \neq r} x^{rs}$, $w^r = \sum_{s \neq r} x^{sr}$, и после введения вектора внутрирегиональных поставок x^{rr} можно записать два тождества:

$$x^r = \sum_s x^{rs} \quad (2.1)$$

$$a^r x^r + \bar{y}^r = \sum_s x^{sr}, \quad (2.2)$$

где \bar{y}^r — вектор конечного потребления или использованной конечной продукции (без сальдо вывоза-ввоза).

Из (2.2) в конкретном состоянии экономической системы определяются диагональные матрицы g^{sr} так, чтобы

$$x^{sr} = g^{sr}(a^r x^r + \bar{y}^r). \quad (2.3)$$

Коэффициенты g фиксируются, то есть структура обеспечения потребления в каждом регионе по регионам-поставщикам принимается неизменной: $\sum_s g^{sr} = e$. В тождестве (2.1) проводится подстановка пе-

ременных в соответствии с (2.3) и после необходимых преобразований получаются соотношения W -баланса:

$$(E - GA)X = G\bar{Y}$$

где X, \bar{Y} — композиции векторов x^r и \bar{y}^r ;

A — блочно-диагональная матрица $\{a^r\}$;

G — блочная матрица $\{g^{rs}\}$;

E — единичная матрица размерности $nm \times nm$.

Такой баланс известен как модель Мозеса—Ченери. V -баланс получают аналогичной последовательностью действий, но в противоположном направлении: от (2.1) к (2.2). Из (2.1) определяются диагональные матрицы h^{sr} : $x^{rs} = h^{sr}x^r$, фиксирующие структуру распределения произведенной в каждом регионе продукции по регионам-потребителям: $\sum_s h^{sr} = e$. Проводится замена переменных в (2.2), и после элементарных преобразований получаются соотношения искомого баланса: $(H - A)X = \bar{Y}$, где H — блочная матрица $\{h^{rs}\}$.

Оба эти баланса выражают неэквивалентность одноименной продукции разных регионов. Но если в W -балансе одноименные продукты разных регионов можно считать практически различными в технологическом смысле (этот баланс развивает известную тематику отражения недополняющего, или неконкурирующего, ввоза), то в V -балансе эти различия скорее следуют из некоторой инерционности торгово-распределительных отношений.

Продуктивность в модели межрегионального межотраслевого баланса. Из двух типов балансов, рассмотренных выше, W -баланс более «похож» на обычный точечный, и именно он анализируется далее. Вопросы продуктивности V -баланса существенно более сложны и, вероятно, не имеют «изящных» решений.

Ставится вопрос о продуктивности квадратной неотрицательной матрицы GA , то есть точно так же, как и в точечном анализе. Эта матрица продуктивна, если существуют такие цены $P \geq 0$, что

$$P(E - GA) > 0$$

или

$$p^r - p_G^r a^r > 0, \quad r = 1, \dots, m, \quad (2.4)$$

где P — композиция p^r , $r = 1, \dots, m$; $p_G^r = \sum_{s=1}^m p^s g^{sr}$ — средние цены (производителей) потребляемой в r -м регионе продукции.

Если данная матрица продуктивна, то производством может быть обеспечено любое неотрицательно конечное потребление в системе — $Y \geq 0$, так как из неотрицательности $(E - GA)^{-1}$ следует неотрицательность $(E - GA)^{-1}G$. Можно обратить внимание на то, что в данном случае речь идет о неотрицательности конечного потребления, а не конечного продукта, как в точечном анализе. Для пространственных систем это более естественно, так как наличие сальдо вывоза-ввоза в конечном продукте обесценивает содержательный смысл требования его неотрицательности.

Еще одно отличие заключается в том, что свойства продуктивности GA зависят не только от региональных матриц материалоемкости, но и от структур снабжения G . В факте этой зависимости можно легко убедиться, построив пример такой A , что при одних G матрица GA продуктивна, при других — непродуктивна.

Пусть G_j — квадратная матрица, образованная элементами g_j^{rs} , $r = 1, \dots, m$; $s = 1, \dots, m$. Она выражает структуру снабжения продукцией j -го вида, сумма элементов по каждому ее столбцу равна единице; матрица G является особой композицией этих матриц.

Базисной называется такая структура снабжения G , при которой производство каждого продукта в полном объеме сосредоточивается в одном регионе. Пусть производство j -й продукции сосредоточивается в r_j -м регионе. Тогда в каждой матрице G_j все элементы r_j -й строки равны единице, а остальные элементы нулевые. Модель межрегионального баланса преобразуется так, что балансы каждого j -го продукта во всех регионах, кроме r_j , приобретают вид $x_j^r = 0$, то есть сводится к обычной точечной модели для n продуктов. Матрица материалоемкости этой точечной модели составная: ее j -й способ, $j = 1, \dots, n$, взят из матрицы региона r_j ; конечный продукт равен суммарному по регионам конечному потреблению. Базисная структура снабжения G и соответствующая ей (базисная) модель полностью определяются множеством регионов $\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$, которое также называется базисным.

При построении примера, о котором только что шла речь, проще и нагляднее пользоваться базисными структурами.

Продуктивная матрица может содержать столбцы, сумма элементов по которым выше единицы. Пусть матрицы материалоемкости продуктивны во всех регионах, но содержат такие столбцы (с суммами элементов, превышающими единицу), причем в разных регионах они различны, и для каждого продукта j существует по крайней мере один регион r_j^* , в матрице которого j -я столбцовая сумма превышает единицу.

У матрицы модели с базисным множеством r_j^* , $j = 1, \dots, n$, суммы всех столбцов больше единицы, то есть матрица непродуктивна. Но так как все исходные региональные матрицы продуктивны, существует множество G , обеспечивающих продуктивность GA (например, $G = E$, или базисные G с $r_j = r$, $j = 1, \dots, m$). Требуемый пример построен.

Теперь возникает вопрос о том, всегда ли продуктивность GA зависит от G , или существуют такие особые A , что GA оказывается продуктивной или непродуктивной независимо от G . Проведенный анализ позволяет утвердительно ответить на второй из этих вопросов.

Взаимная продуктивность и непродуктивность. Матрицы a^r , $r = 1, \dots, m$ называются взаимно продуктивными, если существует такой $p^0 \geq 0$, что $p^0(e - a^r) > 0$, $r = 1, \dots, m$. В отличие от точечного анализа «двойственное» определение — в терминах выпусков и конечных продуктов — не эквивалентно данному определению. Из существования единых цен, обеспечивающих безубыточность производства во всех регионах, не следует существование единого плана производства, дающего положительный конечный продукт во всех регионах, и наоборот.

Точно так же взаимно непродуктивными называются матрицы a^r , $r = 1, \dots, m$, если существует такой $p^0 \geq 0$, что $p^0(e - a^r) < 0$, $r = 1, \dots, m$.

Введенные понятия имеют ясную геометрическую интерпретацию. Пусть a_j^r — j -й столбец матрицы $e - a^r$, μ_j^r — полупространство $pa_j^r \geq 0$ цен, обеспечивающих неубыточность производства в j -й отрасли. Пересечение μ_j^r , $j = 1, \dots, n$, обозначаемое μ^r , является замкнутым выпуклым многогранным конусом «безубыточных» цен r -го региона. Для продуктивных a^r конус μ^r расположен в неотрицательном ортанте и имеет максимальную размерность, то есть не «вмещается» ни в какое подпространство неполной размерности; для непродуктивной матрицы он расположен в неположительном ортанте и также имеет максимальную размерность. Если матрицы взаимно продуктивны, то все их конусы «безубыточности» имеют в неотрицательном ортанте общее пересечение максимальной размерности (если размерность не максимальна, то по аналогии с полупродуктивностью следует говорить о «полувзаимной» продуктивности). Конусы «безубыточности» взаимно непродуктивных матриц имеют аналогичное пересечение в неположительном ортанте. Различные ситуации взаимоотношений матриц двух регионов при $n = 2$ показаны на рис. 2.1. Конус первого региона выделен на рисунке горизонтальной штриховкой, конус второго региона — вертикальной штриховкой.

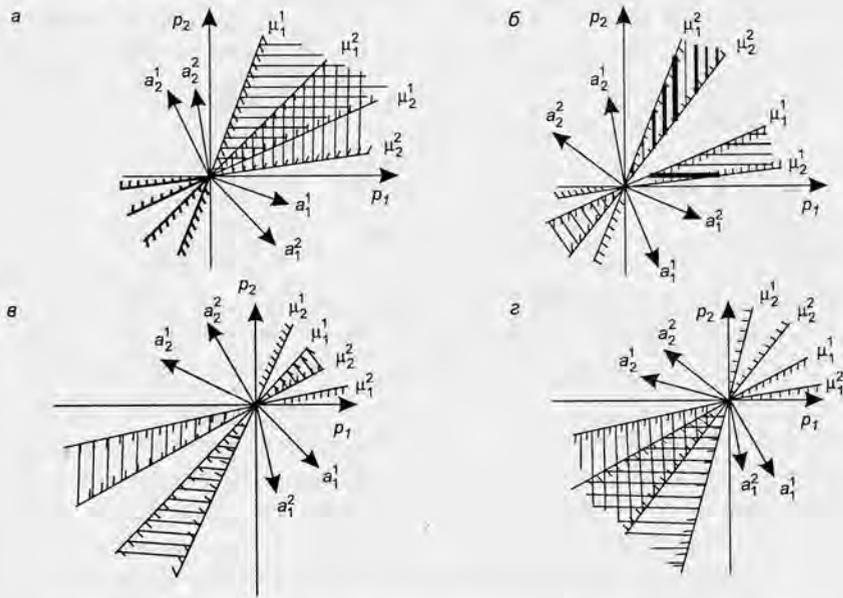


Рис. 2.1. Взаимная продуктивность и непродуктивность при $n = 2$.

а — взаимная продуктивность; б — продуктивность без взаимности;
в — непродуктивность без взаимности; з — взаимная непродуктивность

Основное утверждение данного параграфа заключается в том, что в случае взаимной продуктивности a^r и только в этом случае матрица GA продуктивна независимо от G . Достаточность условия очевидна, поскольку если $p^r = p^0$, $r = 1, \dots, m$, то и $p_G^r = p^0$, $r = 1, \dots, m$, при любом G , и (2.4) выполняется по определению.

Для доказательства необходимости следует показать существование такой матрицы G , что GA непродуктивна, если региональные матрицы не взаимно продуктивны. Можно организовать поиск требуемой G только в классе базисных и показать, что возможно собрать непродуктивную матрицу из двух продуктивных, но не взаимно продуктивных матриц. Это завершит доказательство. В общем случае такая возможность показывается с использованием теоремы о разделяющей гиперплоскости (см. ниже).

На рис. 2.1, а матрицы взаимно продуктивны, и видно, что любая базисная матрица, собранная из них, продуктивна. Во всех остальных случаях (б, в, з) возможность получить непродуктивную базисную матрицу имеется. Нетривиально это лишь для случая продуктивности без взаим-

ности (рис. 2.1, б): несмотря на продуктивность исходных матриц, базисному множеству $\{1, 2\}$ соответствует непродуктивная матрица (ее конус «безубыточности» выделен на рисунке диагональной штриховкой).

Матрица GA непродуктивна независимо от G , если и только если матрица a^r , $r = 1, \dots, m$, взаимно непродуктивны. Доказательство этого утверждения аналогично («симметрично») предыдущему. Рис. 2.1 хорошо иллюстрирует справедливость и этого утверждения. Только в случае взаимной непродуктивности отсутствует возможность собрать продуктивную матрицу; когда обе матрицы непродуктивны, но не являются взаимно непродуктивными (рис. 2.1, в), базисное множество $\{1, 2\}$ дает продуктивную матрицу (ее конус «безубыточности» также заштрихован по диагонали). Если региональные матрицы материалоемкости не являются взаимно продуктивными или взаимно непродуктивными, матрица межрегионального баланса GA может быть как продуктивной, так и непродуктивной в зависимости от структуры снабжения G .

Поскольку при доказательстве сделанных утверждений использовались в основном базисные структуры снабжения, их легко обобщить для сводной (средневзвешенной по регионам) матрицы материалоемкости. Сводная матрица продуктивна независимо от территориальной структуры весов агрегирования, если региональные матрицы взаимно продуктивны; она непродуктивна независимо от территориальной структуры при взаимной непродуктивности исходных региональных матриц; может оказаться продуктивной или непродуктивной в зависимости от весов агрегирования, если исходные матрицы не являются взаимно продуктивными или взаимно непродуктивными.

Если бы определения взаимной продуктивности и непродуктивности давались в терминах выпусков и конечной продукции, то следовало бы говорить о базисных матрицах, собираемых из строк региональных матриц материалоемкости. Это противоречит смыслу межотраслевых моделей.

Возможность собрать непродуктивную матрицу. Пусть матрицы a^1 и a^2 продуктивны, то есть из $p \in \mu^1 \cup \mu^2$ следует $p \geq 0$ (конусы «безубыточности» рассматриваются без точки $p = 0$), но не взаимно продуктивны, то есть $\mu^1 \cap \mu^2$ пусто. Два выпуклых множества не пересекаются, следовательно, существует гиперплоскость, строго разделяющая их¹. Пусть u^1 — нормаль этой гиперплоскости. Тогда $pu^1 > 0$ при $p \in \mu^1$ и $pu^1 < 0$ при $p \in \mu^2$.

¹ Линейные неравенства и смежные вопросы. М.: Изд-во иностр. лит., 1959. Разд. III.

Пусть $\Delta u > 0$. Гиперплоскость с нормалью $u^2 = u^1 + \varepsilon \Delta u$ при некотором $\varepsilon > 0$ также является строго разделяющей: $pu^1 + \varepsilon p \Delta u > 0$ для $p \in \mu^1$ при любом $\varepsilon > 0$, $pu^1 + \varepsilon p \Delta u < 0$ для $p \in \mu^2$ при $0 < \varepsilon < \min_{p \in \mu^2} (-pu^1 / p \Delta u)$.

Указанный минимум существует в положительной области, так как функция $-pu^1 / p \Delta u > 0$ непрерывна на замкнутом и ограниченном множестве (p можно нормировать, что ограничивает множество задания этой функции).

Поскольку $\mu^1 = \{p: p = \pi(e - a^1)^{-1} \text{ при } \pi \geq 0\}$, $\pi(e - a^1)^{-1} u^1 > 0$ при любом $\pi \geq 0$. Следовательно, $x^1 = (e - a^1)^{-1} u^1 > 0$, то есть существует такой $x^1 > 0$, что $u^1 = (e - a^1)x^1$. Аналогично (так как $p(-u^2) > 0$ при $p \in \mu^2$) можно показать, что для некоторого $x^2 > 0$ выполняется $u^2 = -(e - a^2)x^2$.

Теперь условие $u^1 - u^2 = -\varepsilon \Delta u < 0$ можно записать так: $(e - a^1)x^1 + (e - a^2)x^2 < 0$, где $x^1, x^2 > 0$. Это означает, что матрица \tilde{a} , полученная как средневзвешенная a^1 и a^2 по весам x^1 и x^2 , непродуктивна, то есть существует $\tilde{p} \geq 0$ такой, что $\tilde{p}(e - \tilde{a}) < 0$. Другими словами, для каждого j средняя двух величин $\tilde{p}a_j^1$ и $\tilde{p}a_j^2$ строго меньше нуля, поэтому хотя бы одна из этих величин должна быть также отрицательна. Пусть для каждого $j = 1, \dots, n$ отрицательна величина $\tilde{p}a_j^{r_j}$, где r_j равен 1 или 2. Базисное множество $\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ приводит к непродуктивной матрице, обозначаемой \bar{a} , и является искомым.

Эффекты взаимодействия. Наиболее ярко результаты объединения регионов и их взаимодействия проявляются, когда из непродуктивных региональных экономик образуется продуктивная пространственная система. Она обретает свойство, которым не обладает ни один ее элемент в отдельности. Такие свойства называются эмерджентными.

Обратный пример: система непродуктивна при продуктивных региональных элементах. В данном случае в базисное множество включается способ производства продукта того региона, в котором «безубыточная» цена на данный продукт (относительно) наиболее высока. Другими словами, выбирается территориальная организация производства, в определенном смысле противоположная рациональной. Если же выбирать рациональные территориальные структуры, то «степень» продуктивности матрицы материалоемкости может возрастать для систе-

мы по отношению к отдельным регионам, то есть может возникать положительный эффект взаимодействия.

Так, рис. 2.1 показывает, что в случае продуктивности региональных матриц (и при отсутствии вложенности друг в друга исходных конусов «безубыточности») всегда существует такое базисное множество, при котором объединенный конус «безубыточности» шире исходных региональных (на рис. 2.1, a — $\{1, 2\}$, на рис. 2.1, b — $\{2, 1\}$). Это иллюстрирует возможность возникновения положительных эффектов взаимодействия, хотя ширина конуса «безубыточности» не является надежной мерой степени продуктивности. Последующее изложение специально посвящено данному вопросу.

Сравнительная продуктивность: влияние измерителей. Вопрос о сравнении двух матриц материалоемкости по степени продуктивности приобретает в межрегиональном анализе особое значение, ибо в его рамках фактически обсуждаются подходы к измерению и сами способы измерения сравнительной эффективности региональных хозяйств.

Важную роль при сравнении матриц a^r и a^s играет матрица $(e - a^r)^{-1}(e - a^s)$, обозначаемая в дальнейшем d^{rs} . В частности, если матрицы r -го и s -го регионов взаимно продуктивны, то существует такой $\pi > 0$, что $\pi d^{rs} > 0$ (или $\pi d^{sr} > 0$). Действительно, при взаимной продуктивности существует такой $p \geq 0$, что $p(e - a^r) > 0$ и $p(e - a^s) > 0$. Из первого соотношения следует существование $\pi > 0$, при котором $p = \pi(e - a^r)^{-1}$, из второго $\pi(e - a^r)^{-1}(e - a^s) > 0$. Обратное не верно, так как данное условие (существование $\pi > 0$, такого, что $\pi d^{rs} > 0$) выполняется и для взаимно непродуктивных матриц. Однако, если иметь в виду только продуктивные матрицы, а ниже рассматривается именно этот случай, указанное условие выступает необходимым и достаточным для взаимной продуктивности.

Если матрица d^{rs} неотрицательна (в этом случае для продуктивных и неразложимых a^r и a^s она полуположительна, так как не может содержать нулевых строк и столбцов) и $\pi d^{rs} \geq 0$ при любом $\pi \geq 0$, то конус «безубыточности» r -го региона вложен в конус s -го региона. Такая возможность учитывается в дальнейшем и рассматривается как один из факторов сравнительной продуктивности.

Сравнение продуктивности по стоимости. О степени продуктивности матрицы материалоемкости можно судить по какой-либо более или менее устойчивой характеристике средней величины материалоемкости совокупного продукта. Такой характеристикой является, напри-

мер, собственное число Фробениуса—Перрона данной матрицы. Более продуктивной при этом считается та матрица материалоемкости, у которой меньше данное собственное число. При анализе динамических моделей, в частности в исследовании их кооперабельности, такой подход к измерению меры продуктивности является естественным, так как указанные собственные числа жестко связаны с максимальным темпом сбалансированного роста экономической системы.

В более общем случае, безотносительно экстремальной задачи, такой подход оказывается весьма узким и бесполезным во многих отношениях (бесполезным, то есть не имеющим содержательных обобщений и следствий). Правильнее, по-видимому, подходить с позиции исходного определения продуктивности. Например, считать r -й регион более продуктивным, чем s -й при некоторых ценах $p \geq 0$, если

$$p(e - a^r) \geq p(e - a^s), \quad (2.5)$$

то есть, если в нем при ценах, таких же, как в другом регионе, производство во всех отраслях не менее прибыльно, чем в этом другом регионе, а по некоторым отраслям — более прибыльно. Стоимостная оценка конечного продукта при любом строго положительном векторе выпусков всегда выше в более продуктивном в этом смысле регионе (убедиться в этом можно, умножив обе части соотношения (2.5) на $x > 0$). Данное определение — одно из нескольких возможных. Аналогичным образом можно сконструировать еще пять определений.

Матрица материалоемкости в r -м регионе более продуктивна, чем в s -м, при некотором $\pi > 0$, если

$$\pi(e - a^r)^{-1} \leq \pi(e - a^s)^{-1}. \quad (2.6)$$

В этом случае в r -м регионе при коэффициентах валовых добавленных стоимостей, таких же, как в s -м регионе, более низкие цены, то есть опять же выше прибыльность (больше доля валовой добавленной стоимости в цене). Стоимостная оценка любого строго положительного вектора конечного продукта ниже в более продуктивном регионе. Это — второе возможное определение.

Третий вариант определения: r -й регион продуктивнее s -го при ценах $p \geq 0$, если

$$p(e - a^s)(e - a^r)^{-1} \leq p, \quad (2.7)$$

то есть цены в r -м регионе, обеспечивающие одинаковые с s -м регионом коэффициенты валовой добавленной стоимости, ниже, чем в s -м регионе.

Остальные варианты определения формулируются следующим образом: четвертый — матрица a^r более продуктивна, чем матрица a^s , при некотором $\pi > 0$, если

$$\pi(e - a^r)^{-1}(e - a^s) \leq \pi; \quad (2.8)$$

пятый вариант — при некотором $p \geq 0$, если

$$p(e - a^r)(e - a^s)^{-1} \geq p; \quad (2.9)$$

шестой вариант — при некотором $\pi \geq 0$, если

$$\pi(e - a^s)^{-1}(e - a^r) \geq \pi. \quad (2.10)$$

Все эти шесть вариантов определения «обыгрывают» с разных сторон одну и ту же «тему»: более продуктивна — более прибыльна, то есть приводит к более высокой доле валовой добавленной стоимости в цене и к более низкой доле материальных затрат (оценке средней величины материалоемкости совокупного продукта). Во всех этих вариантах продуктивность сравнивается с помощью стоимостных показателей, то есть по стоимости. Встает вопрос: какой из них выбрать в качестве собственно определения?

Эти варианты хоть и близки, но не эквивалентны друг другу. Между ними имеются определенные связи. Например, если при некотором $\pi > 0$ выполняется (2.8), то в силу неотрицательности матрицы $(e - a^s)^{-1}$ выполняется и (2.6), кроме того, при $p = \pi(e - a^r)^{-1}$ выполняется и (2.5).

Наиболее жесткими являются условия четвертого и шестого вариантов определения. Кроме того, данные варианты имеют естественное обобщение на случай, когда в производстве учитываются не только материальные затраты, но и затраты ресурсов: вектор π замещается на векторы коэффициентов затрат ресурсов. Выбор, по-видимому, следует осуществлять именно между этими вариантами. Он сделан в пользу четвертого варианта

Определение отношений по продуктивности. Матрица материалоемкости в r -м регионе называется более продуктивной, чем в s -м регионе при некотором $\pi > 0$, если $\pi(e - d^{rs}) \geq 0$ (см. условие (2.8)). Это означает, что при любом $x > 0$ стоимость πx конечного продукта в s -м регионе более высокая, чем стоимость $\pi d^{rs} x$ того же конечного продукта в r -м регионе (вектор $d^{rs} x$ выражает план производства в r -м регионе, обеспечивающий такой же вектор конечной продукции, что и план x

в s -м регионе). Иногда будет использоваться более «компактная» терминология: r -й регион продуктивнее s -го по π .

«Конкурирующее» условие такого положения регионов по продуктивности имеет вид $\pi(e - d^{rs}) \leq 0$ (шестой вариант определения — см. (2.10)); оно выражает в терминах принятого определения нечто противоположное положению, когда, наоборот, s -й регион продуктивнее r -го по π . Тем не менее, как уже отмечалось, эти условия не эквивалентны друг другу.

Можно также обратить внимание на то, что определение степени продуктивности по величине собственных чисел матрицы не соответствует принятому определению. В этом легко убедиться, построив пример, в котором рост столбцовых сумм неотрицательной матрицы сопровождается сокращением величины ее корня Фробениуса—Перрона. Такой пример показывает еще и то, что собственное число матрицы материалоемкости не во всех случаях оказывается удачной мерой ее продуктивности.

Чтобы завершить представление системы отношений по продуктивности, в которых могут находиться матрицы материалоемкости двух регионов, следует ввести определение равной продуктивности. Матрицы a^r и a^s равны по продуктивности при некотором $\pi > 0$ (равнопродуктивны по π), если $\pi(e - d^{rs}) = 0$. Это — типичное отношение эквивалентности, так как оно рефлексивно ($d^{rr} = e$), симметрично ($d^{rs} = (d^{sr})^{-1}$) и транзитивно ($d^{rs}d^{st} = d^{rt}$). В отличие от него отношение «быть продуктивнее» не только не рефлексивно и не симметрично (условия $\pi \geq \pi d^{rs}$ и $\pi \geq \pi d^{sr}$ исключают друг друга, поскольку из первого следует $\pi(e - a^s)^{-1} \geq \pi(e - a^r)^{-1}$, а из второго — $\pi(e - a^s)^{-1} \leq \pi(e - a^r)^{-1}$, но и не транзитивно (на это обращается внимание ниже), что исключает возможность скалярного выражения степени продуктивности матрицы.

Учитывая, что $e - d^{rs} = (e - a^r)^{-1}(a^s - a^r)$, $(e - a^r)^{-1} \geq 0$, $(e - a^r)^{-1} \neq 0$, можно сделать несколько заключений.

Если матрицы a^r и a^s равнопродуктивны при некотором $\pi > 0$, то $|a^r - a^s| = 0$, но независимо от π равнопродуктивными могут быть только равные матрицы. Матрица в r -м регионе продуктивнее, чем в s -м, независимо от $\pi > 0$, если $a^s \geq a^r$, что кажется естественным, или если $a^s - a^r = (e - a^r)f$, где f — некоторая полуположительная матрица (то есть разность $a^s - a^r$ не обязательно должна быть полуположительной, поскольку даже при продуктивной a^r не обязательно полуположителен

результат умножения $e - a^r$ на полуположительный вектор). Такое положение в паре матриц материалоемкости является, вероятно, достаточно редким. В общем случае следует предполагать, что в определении отношений по продуктивности значительную роль играют задаваемые коэффициенты валовой добавленной стоимости.

В разных областях значений $\pi > 0$ для одной и той же пары матриц r -го и s -го регионов могут проявляться различные отношения: r -й регион продуктивнее s -го или наоборот, s -й продуктивнее r -го, или они равнопродуктивны или, наконец, отношения между ними не определены. Другими словами, безусловные и вполне однозначные заключения о сравнительной эффективности региональных хозяйств возможны лишь в редких случаях. Чаще всего эти заключения оказываются зависимыми от системы используемых измерителей.

Сравнительная продуктивность: эффекты взаимодействия. Результат объединения двух региональных межотраслевых моделей при отсутствии ограничений на территориальную структуру производства может выражаться одной из 2^n базисных межотраслевых моделей. Если какая-то объединенная базисная матрица материалоемкости продуктивнее обеих исходных матриц, то можно говорить о положительных эффектах взаимодействия. Если наиболее продуктивная из всех базисных матриц совпадает с одной из исходных региональных матриц, то эффекты взаимодействия только неотрицательны, и все производство в системе для достижения максимальной эффективности должно сосредоточиться в том регионе, матрица которого наиболее продуктивна.

Во всех ли случаях возможна такая постановка проблемы? Ведь отношение сравнительной продуктивности определено не всегда. Каковы условия, если они существуют, строгой положительности эффектов взаимодействия? Это вопросы, обсуждаемые в данном параграфе.

Сравнение продуктивности по затратам ресурса. Поставленные вопросы можно изучать в рамках того же, что и в предыдущем параграфе, подхода к сравнительной продуктивности. Тогда речь шла бы об эффектах взаимодействия при определенных $\pi > 0$. Но можно «объективизировать» измерители и сравнивать продуктивность не по стоимости в некоторых произвольных ценах, а по затратам определенного дефицитного невозпроизводимого ресурса (наиболее естественно принимать в качестве такового трудовые ресурсы); при этом ценами продукции будут выступать коэффициенты полных затрат ресурса. В данном случае такой подход представляется более предпочтительным.

Пусть b^r — вектор-строка коэффициентов затрат ресурса на производство продукции в r -м регионе (считается, что $b^r > 0$). Матрица a^r продуктивнее (или более продуктивна по b) a^s , если $b^r d^{rs} \leq b^s$. Это означает, что при любом положительном x затраты ресурса в s -м регионе ($b^s x$) превышают затраты в r -м регионе на такой же конечный продукт ($b^r d^{rs} x$). В отличие от подхода к сравнению продуктивности по стоимости, когда измерители π произвольны, но одинаковы в обоих регионах, здесь измерители однозначно определены, хотя и различны в регионах.

В дальнейшем используемые межотраслевые модели преобразуются: в них осуществляется переход от переменных объемов производства продукции по отраслям к переменным объемам затрат ресурса на производство в отраслях. Вектор таких переменных обозначается x_b^r . Переход к новым переменным проводится делением коэффициентов способов матрицы $e - a^r$ на соответствующие коэффициенты затрат ресурса. Преобразованная матрица $e - a^r$ обозначается $(e - a^r)_b$ ($(e - a^r)_b = (e - a^r)(\hat{b}^r)^{-1}$ где \hat{b}^r — диагональная матрица коэффициентов b^r), ее j -й столбец — a_{bj}^r , матрицу d^{rs} , полученную на основе пересчитанных таким образом региональных матриц материалоемкости, обозначим d_b^{rs} ; вектор-строку столбцовых сумм этой матрицы ($\hat{e} d_b^{rs}$) обозначим \hat{d}_b^{rs} (\hat{e} — вектор-строка единиц). В новых обозначениях вектор $\hat{e}(e - a^r)_b^{-1}$ показывает коэффициенты полных затрат ресурса; условие большей продуктивности r -го региона по сравнению с s -м записывается как $\hat{d}_b^{rs} \leq \hat{e}$, а условие равной продуктивности — как $\hat{d}_b^{rs} = \hat{e}$.

Геометрические иллюстрации. Множество конечных продуктов $(e - a^r)_b x_b$, которые можно получить в r -м регионе при использовании единицы ресурса ($\hat{e} x_b = 1$), является гиперплоскостью в пространстве конечных продуктов, натянутой на векторы a_{bj}^r , $j = 1, \dots, n$ (рис. 2.2, а). Каждый регион характеризуется своей гиперплоскостью конечных продуктов. Гиперплоскость продуктивной матрицы обязательно пересекает неотрицательный ортант (любой неотрицательный конечный продукт может быть произведен).

Длина отрезка j -й неотрицательной полуоси пространства конечных продуктов, который отсекается от начала координат гиперплоскостью r -го региона, обозначается c_j^r (см. рис. 2.2, а). Из условий $(e - a^r)_b x_b = e_j c_j^r$, $\hat{e} x_b = 1$, где e_j — j -й орт-столбец, определяется, что $\hat{e}(e - a^r)_b e_j = 1 / c_j^r$, то есть c_j^r является величиной, обратной коэффи-

циенту полных затрат ресурса на производство j -го продукта в r -м регионе. Вектор-строка этих величин обозначается c^r .

Условия

$$(e - a^r)_b x_b = a_{bj}^s, \hat{e} x_b = k \quad (2.11)$$

выражают j -й способ s -го региона как линейную комбинацию способов r -го региона с весами x_b , сумма которых равна k . Поэтому скаляр k характеризует положение способа a_{bj}^s относительно гиперплоскости r -го региона. Если $k = 1$, то способ a_{bj}^s попадает как раз на гиперплоскость r -го региона; если $k > 1$, данный способ «пронизывает» гиперплоскость; если $0 < k < 1$, он не «дотягивается» до гиперплоскости; если $k = 0$, параллелен ей; если $k < 0$, направлен в сторону от нее.

После исключения x_b из условия (2.11) получается равенство $\hat{e}(e - a^r)_b^{-1} a_{bj}^s = k$, показывающее, что скаляр k равен в данном случае величине \hat{d}_{bj}^{rs} (j -я компонента вектора \hat{d}_b^{rs}). Теперь можно объяснить геометрический смысл сравнительной продуктивности.

Если r -й регион продуктивнее s -го, то ни один способ s -го региона не «пронизывает» гиперплоскость r -го региона и хотя бы один — не «дотягивается» до нее, параллелен ей или направлен в сторону от нее (на рис. 2.2, б второй регион продуктивнее первого). Равнопродуктивные регионы имеют одну и ту же гиперплоскость конечных продуктов (рис. 2.2, в).

«Конкурирующее» определение большей продуктивности (шестой вариант в предыдущем параграфе): r -й регион продуктивнее s -го, если $\hat{d}_b^{rs} \geq \hat{e}$, — не эквивалентно, как уже отмечалось, принятому определению. Из того, что все способы r -го региона «дотягиваются» до гиперплоскости s -го региона, а некоторые «пронизывают» ее, не следует большая продуктивность r -го региона по сравнению с s -м. Так, на рис. 2.2, б способы третьего региона «пронизывают» гиперплоскость второго, но он не является более продуктивным, чем этот второй регион.

Если r -й регион продуктивнее s -го, то в силу $(e - a^r)_b^{-1} \geq 0$ коэффициенты полных затрат ресурса в r -м регионе не больше, а по некоторым отраслям — строго меньше, чем в s -м регионе (если a^s неразложима, то — строго меньше по всем отраслям). Другими словами, гиперплоскость более продуктивного r -го региона «отсекает» от начала координат более длинные отрезки осей координат: $c^r \geq c^s$ (на рис. 2.2, б второй регион продуктивнее первого и $c^2 > c^1$). Обратное не верно. Регион с

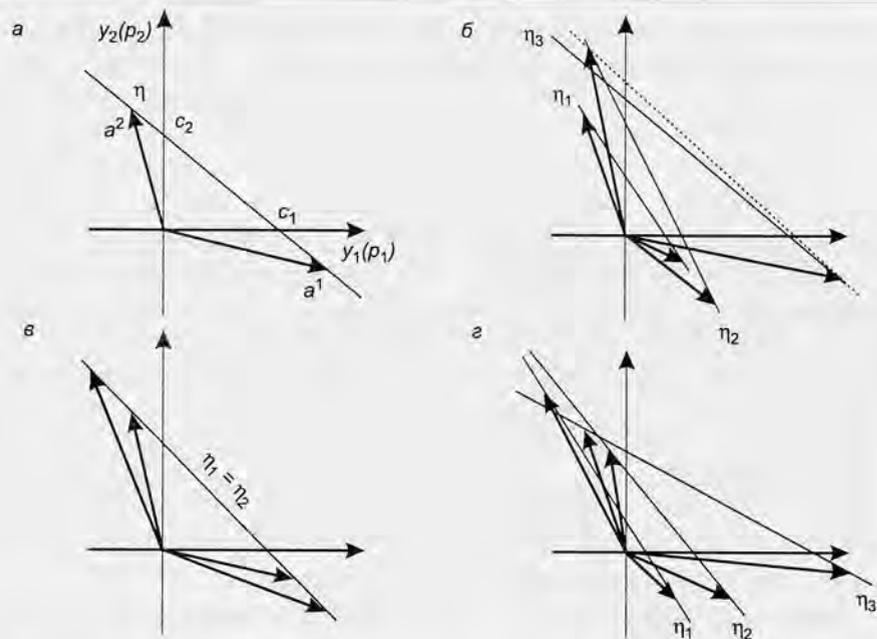


Рис. 2.2. Сравнительная продуктивность (η_r — гиперплоскость конечных продуктов r -го региона): а — гиперплоскость региона и коэффициенты полных затрат ресурсов; б — отношение «быть продуктивнее»; в — отношение равнопродуктивности; г — отсутствие транзитивности

более низкими коэффициентами полных затрат ресурса не обязательно более продуктивен (на рис. 2.2, б $c^3 > c^2$, но третий регион не продуктивнее, чем второй).

Как уже отмечалось, отношение «быть продуктивнее» не транзитивно. Этот факт иллюстрируется на рис. 2.2, г. Здесь второй регион продуктивнее первого, а третий регион, будучи продуктивнее второго, не продуктивнее, чем первый. Несмотря на отсутствие транзитивности, это отношение монотонно по c : более продуктивному региону соответствует больший (не меньший, а по некоторым компонентам строго больший) вектор c , что еще раз иллюстрируется на рис. 2.2, г.

Условие положительности эффекта взаимодействия. Если r -й регион не является более продуктивным, чем s -й, или равнопродуктивным с ним, в векторе \hat{d}_{bs}^{rs} обязательно содержатся элементы, большие единицы. Пусть $\hat{d}_{bj}^{rs} > 1$. Тогда путем замены j -го способа в $(e - a^r)_b$ со-

ответствующим способом из $(e - a^s)_b$ строится базисная матрица, более продуктивная, чем $(e - a^r)_b$. Геометрически (для $n = 2, 3$) это понятно: в результате такой замены гиперплоскость со стороны замещаемого способа «отодвинется» от начала координат, и замещенный способ теперь не будет до нее «дотягиваться», но остальные способы останутся лежащими на ней. Проведенную замену можно назвать продуктивной (рис. 2.3).

Утверждение о возможности продуктивной замены в матрице, которая не является более продуктивной или равнопродуктивной по отношению к некоторой другой матрице, можно доказать и в общем случае. Пусть $(e - a^r)_b$ — матрица r -го региона с j -м способом, взятым из матрицы s -го региона. Все компоненты вектора $\hat{e}(e - a^r)_b(e - a^r)_b$, кроме j -й, равны единице, так как при $i \neq j$ выполняется $(e - a^r)_b e_i = a_{bi}^r$ и $\hat{e}(I - a^r)_b^{-1} a_{bi}^r = \hat{e}e_i = 1$: незамещенные способы лежат на новой гиперплоскости. Остается показать, что $\hat{e}(I - a^r)_b a_{bi}^r < 1$, то есть старый (замещенный) способ не «дотягивается» до новой гиперплоскости.

Анализируемая ситуация отражается условиями (2.11) при $k > 1$. Поскольку матрицы $(e - a^r)_b$ и $(I - a^r)_b$ продуктивны (полуположительно обратимы), их определители строго положительны, и переменная x_{bj} , являясь по правилу Крамера отношением этих определителей, также строго положительна. В данной системе уравнений меняются местами правая часть и слагаемое $a_{bj}^r x_{bj}$ левой части, затем обе части системы делятся на $-x_{bj}$, что возможно, так как $x_{bj} \neq 0$. Образовано условие, характеризующее положение старого способа относительно новой гиперплоскости. Сумма весов k в этом условии равна по построению $(1 - \sum_{i \neq j} x_{bi}) / x_{bj}$ или $1 - (k - 1) / x_{bj}$ поскольку (из 2.11) $\sum_{i \neq j} x_{bi} = k - x_{bj}$.

Утверждение доказано, так как $k > 1$ и $x_{bj} > 0$.

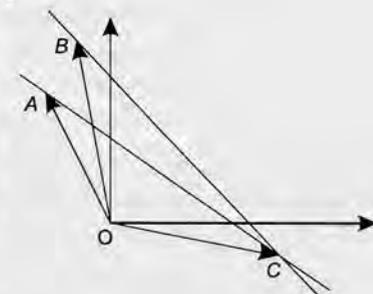


Рис. 2.3. Продуктивная замена: (OA и OB — замещаемый и замещающий способы; AC и BC — исходная и новая гиперплоскости)

Аналогичным образом можно показать, что в паре равнопродуктивных матриц любая замена равнопродуктивна (из $k = 1$ при любой замене следует $\bar{k} = 1$). В таком случае равнопродуктивны все базисные матрицы. Рис. 2.2, в не оставляет никаких сомнений в этом.

В случае, когда r -й регион продуктивнее, чем s -й, для s -го региона обязательно существует продуктивная замена одного из его способов на соответствующий способ r -го региона, то есть вектор \hat{d}_b^{rs} содержит, по крайней мере, одну компоненту, большую единицы. В противном случае s -й регион был бы равно- или более продуктивным по отношению к r -му региону, что противоречит исходной посылке.

Пользуясь этими утверждениями как леммами, можно показать, что условие строгой положительности эффектов взаимодействия в двухрегиональной системе формулируется следующим образом: регионы не должны быть равнопродуктивными, и ни один из них не должен быть продуктивнее другого.

Пусть это условие выполняется.

Поскольку региональные матрицы не являются равнопродуктивными, среди 2^n базисных матриц всегда найдется такая или несколько таких равнопродуктивных, которая (или которые) продуктивнее всех прочих. Это — самая продуктивная (или самые продуктивные) из базисных матриц. Доказательство можно начать с рассмотрения вектора \hat{d}_b любой базисной матрицы по отношению к невошедшим в нее способам. Все его компоненты не могут равняться единице (так как матрицы не равнопродуктивны), поэтому либо они не превышают единицу, причем некоторые из них строго меньше единицы (тогда для данной матрицы продуктивная замена не возможна), либо некоторые из них строго больше единицы (тогда возможна продуктивная замена). Понятно, что процесс продуктивных замен приведет к базисной матрице, для которой $\hat{d}_b \leq 1$, поскольку этот процесс строго монотонен по c (на каждом его шаге образуется более продуктивная матрица, и показатели c не уменьшаются, а по некоторым компонентам растут) и величины c ограничены (так как $b > 0$); кроме того, сам выбор осуществляется в конечном множестве.

Найдена базисная матрица, в которой невозможны продуктивные замены. Она является самой продуктивной, то есть искомой или одной из равнопродуктивных искомым. Действительно, существование более продуктивной базисной матрицы противоречило бы факту невозможности продуктивной замены. Это означает, что отношение «быть про-

дуктивнее» выпукло и любой локальный максимум — «самая продуктивная» матрица — является глобальным.

Если бы одна из региональных матриц была продуктивнее другой, то она совпала бы с найденной — самой продуктивной — базисной матрицей или была бы с ней равнопродуктивна. Иначе возникло бы аналогичное противоречие. В таком случае для данного региона (с более продуктивной матрицей) эффект взаимодействия равен нулю. Однако эта ситуация исключается исходным условием, и для матрицы обоих регионов существуют продуктивные замены. Данное рассуждение завершает доказательство того, что сформулированное условие гарантирует положительный эффект взаимодействия для обоих регионов.

Смысл сравнительной продуктивности. Определение отношения «быть продуктивнее» в альтернативной форме отмеченными свойствами не обладает. Так, на рис. 2.2, б в соответствии с альтернативным определением третий регион продуктивнее второго, но из способов этих регионов можно собрать более продуктивную матрицу: она включает второй способ второго региона и первый способ третьего региона (ее гиперплоскость изображена штриховой линией). Такими свойствами не обладает любой другой из вариантов определения, обсуждавшихся в предыдущем параграфе, а тем более — определения в терминах выпусков и конечных продуктов.

Легко заметить, что в рамках принятого определения для пары неравнопродуктивных матриц существует наиболее продуктивная базисная матрица, но наименее продуктивная может быть неопределенной; в рамках альтернативного определения, наоборот, всегда существует наименее продуктивная матрица, но не обязательно — наиболее продуктивная.

Теперь должны быть понятны причины выбора в пользу принятого определения, а также основная идея самого подхода к пониманию сравнительной продуктивности. Она (сравнительная продуктивность) рассматривается в тесной связи с результатами взаимодействия в системе регионов, нацеленного на достижения максимальной эффективности (когда существенны лишь технологические ограничения). Сам эффект взаимодействия представляется как разрыв в степени продуктивности между объединенной матрицей, полученной в результате взаимодействия, и исходными матрицами регионов. Этот разрыв не имеет однозначного скалярного выражения (такая возможность исключена не транзитивностью отношения). Введенные определения позволяют непосредственно давать ему лишь качественную характеристику: положительный, нулевой, отрицательный, неопределенный, — хотя возмож-

ны и более метризованные измерения, основанные на построении цепочек продуктивных замен.

Сравнительная продуктивность, наоборот, представляется в терминах эффектов взаимодействия. В паре регионов более продуктивен тот, который для достижения максимума эффективности должен «поглотить» другой регион в том смысле, что другой регион должен полностью перейти на его технологии. Понятно, что эффект взаимодействия для более продуктивного региона равен нулю. Отношение по продуктивности не определено, если максимум эффективности достигается не на отдельной региональной матрице, а на комбинированной матрице. В таком случае эффекты взаимодействия положительны для обоих регионов.

Теорема о замещении. Доказанное утверждение о том, что для пары неравнопродуктивных регионов всегда существует наиболее продуктивная базисная матрица (или несколько таковых, равнопродуктивных между собой), является фактически вариантом известной теоремы о замещении для межотраслевой системы с двумя способами производства леонтьевского типа по каждому продукту. В соответствии с данной теоремой, сформулированной Самуэльсоном и впервые доказанной Гейлом¹, оптимизационную модель с несколькими способами производства леонтьевского типа для каждого продукта можно заменить обычной межотраслевой моделью, построенной на предварительно найденном наборе «лучших» способов, или, иными словами, набор «лучших» способов — оптимальный базис — устойчив относительно вариации вектора конечного продукта (правой части) в неотрицательной области (и даже в более широкой области — сохраняющей неотрицательность выпусков).

В терминах оптимизационной задачи базисная матрица материалоемкости является опорным базисом задачи, продуктивная замена — шагом в симплекс-процессе последовательного улучшения допустимого базиса, взаимная продуктивность — условием допустимости любой возможной базисной матрицы, отношение «быть продуктивнее» — условием оптимальности (по ограничениям двойственной задачи) для базиса, образованного более продуктивной матрицей. Матрица конкретного региона формирует оптимальный базис задачи (один из возможных оптимальных базисов), если и только если этот регион продуктивнее другого. Необходимым и достаточным условием неопределенности отношений по продуктивности в паре регионов является наличие

¹Беленький В.З. К теореме замещения в общей модели Леонтьева // Экон. и мат. методы. 1982. Т. 18, вып. 1.

в оптимальном базисе (в любом из возможных оптимальных базисов) способов как одного, так и другого региона.

Условия строгой положительности эффектов взаимодействия можно обобщать на случай более чем двух регионов. Например, если речь идет о трех регионах, то отношения сравнительной продуктивности должны быть неопределенными как в каждой паре регионов, так и для каждого региона по отношению к наиболее продуктивной базисной матрице в оставшейся паре. Однако проще эти условия формулируются в терминах оптимизационной задачи с несколькими леонтьевскими способами производства каждого продукта. Необходимым и достаточным условием положительности эффектов взаимодействия для всех регионов является участие всех этих регионов в оптимальном базисе данной задачи.

Таблица 2.1

Вероятности выполнения условий строгой положительности эффектов взаимодействия в системах разной размерности
(n — количество отраслей, m — количество регионов)

n	m					
	2	3	4	5	6	7
2	0,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,750	0,222	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,875	0,444	0,094	0,0	0,0	0,0
5	0,938	0,617	0,234	0,038	0,0	0,0
6	0,969	0,741	0,381	0,115	0,015	0,0
7	0,984	0,826	0,513	0,215	0,054	0,006
8	0,992	0,880	0,623	0,323	0,114	0,036
9	0,996	0,922	0,711	0,427	0,189	0,064
10	0,998	0,948	0,781	0,523	0,272	0,109

При большом количестве регионов эти условия являются весьма жесткими. Если в системе взаимно продуктивных регионов максимум эффективности с равной вероятностью достижим на любой базисной матрице, то вероятность выполнения этих условий равна $\sum_{i=1}^m (-1)^{i+u} C_m^i (1/m)^n$ (получено по индукции), где n — число отраслей, m — число регионов; u — нуль, если m четно, и единица, если m нечетно. Представления о численных значениях вероятности дает табл. 2.1.

При $m > n$ эта вероятность всегда равна нулю, при $m = n$ она равна $m!/m^m$, при $n \rightarrow \infty$ стремится к единице. Видно, что при относительно большом числе регионов вероятность строгой положительности эффектов взаимодействия очень мала.

2.2. Оптимальные оценки

Из теории математического программирования (в том числе линейного) следует, что любой разрешимой оптимизационной задаче соответствует двойственная задача, решением которой являются оптимальные значения двойственных переменных, или *оптимальные оценки* (Л.В. Канторович употреблял термин «объективно обусловленные оценки»). Формально они являются частными производными функционала по правым частям соответствующих ограничений оптимизационной задачи.

Каждому условию (ограничению) оптимизационной задачи соответствует оптимальная оценка, имеющая свой определенный экономический смысл. Так, оптимальные оценки продукции в достаточно общих моделях экономики являются одновременно измерителями дефицитности (сбалансированности) продукции, общественно необходимых затрат на ее производство и общественной полезности ее использования. Оптимальные оценки ограниченных (невоспроизводимых) ресурсов отражают их дефицитность или общественную эффективность их экономики.

Рассмотрим систему оптимальных оценок для исходной ОМММ (1.1)–(1.8). Существование и единственность этой системы оценок является следствием таких типичных свойств ОМММ, как существование, ограниченность, невырожденность оптимального плана.

Введем новые обозначения и одновременно укажем (в скобках), какому условию ОМММ соответствует определенный вид оценки:

w_i — оценка ресурсов инвестиций i -го вида (1.1);

w_i^r — оценка трудовых ресурсов в r -м регионе (1.4);

$\overset{0}{w}_j^r$ — оценка производственных мощностей базисного года по j -й продукции в r -м регионе, функционирующих в последнем году планируемого периода (1.6);

\bar{w}_j^r — оценка минимального прироста производства продукции j -й отрасли в r -м регионе (1.5);

$\bar{\bar{w}}_j^r$ — оценка максимального прироста производства продукции j -й отрасли в r -м регионе (1.5);

v_j^r — оценка продукции j -й отрасли в r -м регионе (1.2);

v_{τ}^r — оценка продукции транспорта в r -м регионе (1.3).

Остановимся вначале на экономическом содержании и возможных направлениях использования оптимальных *оценок ограниченных ресурсов* ($w_i, w_i^r, \overset{0}{w}_j^r, \bar{w}_j^r$).

Эти оценки количественно характеризуют соотношения между приростом фонда конечного потребления и приростом соответствующих ресурсов (в границах некоторых интервалов изменения объемов ресурсов). В оптимальном плане хотя бы один вид ресурсов является дефицитным и, следовательно, оценка хотя бы одного ресурса строго положительна (все оценки ресурсов неотрицательны).

Специфика оценок *различных* ресурсов заключается в том, что они позволяют сопоставлять одинаково измеряемый полезный эффект (прирост конечного потребления в последнем году) с затратами, осуществляемыми в разные моменты времени. Так, величина w_i показывает предельную эффективность увеличения объема инвестиций за весь планируемый период при равномерном их росте. Величины w_i^r и \bar{w}_j^r характеризуют предельную эффективность прироста ресурсов в последнем году планируемого периода. Наконец, оценка $\overset{0}{w}_j^r$ характеризует тот прирост уровня конечного потребления, который можно получить, если на производственных мощностях, действовавших в r -м регионе в базисном году, максимально возможный выпуск j -й продукции в последнем году планируемого периода станет больше на «малую» единицу; этот прирост производительности мощностей (не требующий новых инвестиций) может достигаться в течение любого отрезка планируемого периода. Заметим, что полное использование производственных мощностей базисного года может оказываться менее эффективным, чем увеличение производства на создаваемых новых мощностях (например, из-за различий производительности труда). Тогда $\overset{0}{w}_j^r = 0$.

Оценки инвестиций w_i могут быть нулевыми. Это означает, что увеличение лимитов инвестиций H_i не позволяет увеличить конечное потребление в последнем году планируемого периода и, скорее всего, заданные лимиты недоиспользуются. Значения оценок труда w_i^r показывают прирост фонда конечного потребления страны в результате увеличения используемых трудовых ресурсов в регионе на одного годового работника; поэтому межрегиональное сопоставление трудовых

оценок позволяет дать рекомендации о целесообразном перемещении трудовых ресурсов между регионами и привлечении иностранной рабочей силы в трудодефицитные регионы.

Оценки инвестиций и трудовых ресурсов определяют соотношения эквивалентной замены двух главных факторов экономического роста в каждом регионе: $\frac{dH}{dL^r} = -\frac{w_i^r}{w_j^r}$. Например, если норма в определенном

регионе высокая, то здесь эффективно использовать технологии, которые благодаря высокой капиталовооруженности позволяют интенсивнее экономить труд.

Оценки \bar{w}_j^r характеризуют предельные эффекты увеличения максимально допустимого прироста производства (например, в добывающих отраслях). По существу величина \bar{w}_j^r есть рента за ограниченность возможностей производства продукции j -й отрасли в регионе r .

Ограничения на минимальные приросты производства продукции включаются в ОМММ для смягчения резких сдвигов в размещении производства или на основе внемоделных расчетов. Иными словами, для внутренней логики ОМММ такие условия являются неестественными, и не случайно, что они затрудняют анализ типичных свойств ОМММ. Оценки \underline{w}_j^r , соответствующие указанным условиям, показывают размеры уменьшения функционала при увеличении обязательных заданий на прирост производства ($\underline{w}_j^r \leq 0$). Они интерпретируются как субсидии (или компенсации) производителям за каждую дополнительную единицу невыгодной продукции.

Оптимальные оценки продукции (v_j^r) показывают уменьшение фонда конечного потребления при дополнительном (сверхассортиментном) увеличении потребления продукции j -й отрасли в r -м регионе (в расчете на «малую» единицу). Отсюда следует, что соотношения этих оценок характеризуют эквивалентную взаимозаменяемость продукции разных отраслей и регионов в фонде конечного потребления страны с учетом всех условий ОМММ. Типичным свойством модели является положительность оценок всех видов продукции. Формулы оценок v_j^r выводятся из условий задачи, двойственной задаче (1.1)–(1.8).

При $x_i^r > 0$ имеем

$$v_j^r = \sum_i a_{ij}^r v_i^r + a_{ij}^{rr} v_i^r + t_j^r w_i^r + \bar{w}_j^r. \quad (2.12)$$

При $\bar{x}_j^r > 0$ имеем

$$v_j^r = \sum_i (a_{ij}^r + b_{ij}^r) v_i^r + a_{ij}^{rr} v_i^r + t_j^r w_i^r + \sum_i h_{ij}^r w_i + \bar{w}_j^r - \underline{w}_j^r. \quad (2.13)$$

Таким образом, оценка продукции включает материальные, транспортные, трудовые, капитальные затраты, ренту, субсидии (с отрицательным знаком).

В рамках ОМММ оценки v_j^r выполняют функции цен. Если исходные показатели модели даны в ценностном выражении, то v_j^r означают индексы необходимого изменения исходных цен (единых по стране). С помощью этих индексов получаем такие новые цены, которые в рамках используемой модели наилучшим образом соизмеряют различные виды затрат, эффектов, дефицитов и экономических регуляторов¹.

Совокупность оценок тех видов продукции, которые используются на конечное потребление, удовлетворяет условию двойственной задачи:

$$\sum_{r,i} \alpha_i^r v_i^r = 1. \quad (2.14)$$

Если $\sum_{r,i} \alpha_i^r = 1$ (то есть α_i^r — доля продукции i -й отрасли, используемой в r -м регионе, в общем фонде потребления страны), то средней величиной, около которой колеблются оценки, является единица.

Типичным свойством ОМММ является положительность оценок транспорта v_τ^r . Их особенность состоит в том, что они линейно выражаются через оценки продукции других отраслей и труда:

$$v_\tau^r = \sum_i a_{i\tau}^r v_i^r + t_\tau^r w_i^r. \quad (2.15)$$

Оценки транспорта (v_τ^r) трактуются в рамках модели как оптимальные транспортные тарифы, дифференцированные по регионам. Если же продукция транспорта дана в ценностном выражении, то v_τ^r означают индексы, приводящие исходные ценностные измерители к оптимальным региональным транспортным тарифам.

¹ Надо отметить, что вследствие упрощенности исходной ОМММ (специально не предназначавшейся для решения проблем ценообразования) в оценках v_j^r недостаточно полно и точно отражена роль трудовых и капитальных затрат. Если трудовые ресурсы в регионах недоиспользуются, то затраты труда совсем не влияют на оценки. Не учтены некоторые специфические затраты по использованию основных фондов (амортизация и т.д.). Зато дважды учитываются капитальные затраты на прирост продукции (годовые и за весь период). Эти обстоятельства ограничивают интерпретацию оценок v_j^r как региональных цен.

Оценки продукции можно анализировать и с точки зрения транспортно-экономических связей между регионами. Из соотношений двойственной задачи следует, что если в оптимальный план входит поставка x_j^r , то между оценками региона-отправителя r и региона-потребителя s имеет место равенство:

$$v_j^s = v_j^r + (a_{rj}^{rs} - a_{rj}^{rr})v_r^r + a_{rj}^{ss}v_r^s \quad (2.16)$$

Таким образом, оптимальные оценки продукции одной отрасли, но в разных регионах потребления отличаются на величину полных затрат, связанных с транспортировкой продукции¹. Поскольку всегда $v_r^r > 0$, то равенство оценок одноименной продукции в связанных между собой регионах возможно в двух случаях:

- 1) если $a_{rj}^{rs} < a_{rj}^{rr}$ и $(a_{rj}^{rr} - a_{rj}^{rs})v_r^r = a_{rj}^{ss}v_r^s$,
- 2) если $a_{rj}^{rs} = a_{rj}^{rr}$ и $a_{rj}^{ss} = 0$.

Первый случай совершенно нереален. Второй случай теоретически возможен, когда затраты на перевозку внутри региона s равны нулю, что также нереально.

Соотношение (2.16) имеет важное значение для теории ценообразования в пространственной экономике, объясняющее главную причину пространственной дифференциации цен. Формула (2.16) разъясняет также, что пространственная дифференциация цен связана со схемами оптимальных межрегиональных потоков. Независимо от прямых (видимых) затрат на производство продукции в регионе, вывозящем эту продукцию, цена здесь должна быть меньше, чем в регионе, ввозящем эту продукцию. Система ценообразования, удовлетворяющая требованиям соизмерения всех видов общественных затрат, предполагает включение в региональные цены дифференциальной ренты, учитывающей не только устойчивые региональные различия производственных условий, но и различия транспортно-географического положения. Региональные различия оптимальных оценок (и соответственно цен) на нетранспортабельную (между регионами) продукцию объясняются различиями оценок на потребляемые в соответствующих регионах виды продукции и ресурсов.

¹Это свойство оптимальных оценок было отмечено Л. В. Канторовичем: «Разность оценок одного и того же фактора в двух различных местах, если перемещение из одного места в другое возможно, не должна превосходить оценки потерь, связанных с таким перемещением» (Канторович Л. В. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 145).

В соответствии с математической теорией двойственности для каждого используемого в оптимальном плане способа производства и транспортировки полные дифференциальные затраты всех учитываемых в модели факторов равны соответствующей оценке продукции. Только для неиспользуемых в оптимальном плане способов деятельности сумма полных дифференциальных затрат, как правило, превышает значения оценок соответствующих видов продукции.

Отметим некоторые особенности оптимальных оценок в ОМММ с эндогенными инвестициями (1.9)–(1.18).

Вследствие того, что эта модель включает региональные балансы инвестиций, для каждого региона получается собственная оптимальная оценка инвестиций. При этом оценки инвестиций находятся в определенной пропорциональной зависимости от региональных оценок продукции отраслей, создающих материальные элементы инвестиций. Более глубокая экономическая интерпретация оценок инвестиций (в частности, сопоставление их с нормативами эффективности инвестиций, нормами амортизационных отчислений и т.д.) требует специального исследования. На наш взгляд, особо важное значение имеет факт территориальной дифференциации оценок инвестиций.

Оценки продукции имеют более простую структуру, чем в исходной ОМММ, поскольку в ней отсутствуют коэффициенты b_{ij}^r .

При $\bar{x}_j^r > 0$ имеем

$$v_j^r = \sum_i a_{ij}^r v_i^r + a_{rj}^{rr} v_r^r + t_j^r w_i^r + \sum_i h_{ij}^r w_i^r + \bar{w}_j^r - w_j^r. \quad (2.17)$$

При линейном законе роста инвестиций оптимальные оценки продукции и инвестиций связаны соотношением

$$w_i^r = \frac{2}{T+1} v_i^r. \quad (2.18)$$

Подстановка этой формулы в (2.17) еще более упрощает структуру оценки продукции при $\bar{x}_j^r > 0$:

$$v_j^r = \sum_i \left(a_{ij}^r + \frac{2}{T+1} h_{ij}^r \right) v_i^r + a_{rj}^{rr} v_r^r + t_j^r w_i^r + \bar{w}_j^r - w_j^r. \quad (2.19)$$

При степенном законе роста инвестиций связь оценок продукции и инвестиций более сложна. Пусть, как и прежде, (см. параграф 1.4), в оптимальном плане $\hat{\mu}$ — максимальный номер отрезка аппроксима-

ции, для которого $\xi_{\hat{\mu}} > 0$ (индексы продукции и регионов опущены). Тогда система уравнений двойственной задачи, соответствующая переменным аппроксимации степенного закона роста инвестиций, записывается следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} va_{\mu} - wb_{\mu} + y_{\mu} &= 0, & \mu = \overline{0, \hat{\mu} - 1}, \\ va_{\hat{\mu}} - wb_{\hat{\mu}} &= 0, \\ va_{\mu} - wb_{\mu} &> 0, & \mu = \overline{\hat{\mu} + 1, k}. \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

Здесь

$$y_{\mu} > y_{\mu+1} > 0, \mu = \overline{0, \hat{\mu} - 2}; \quad va_{\mu} - wb_{\mu} < va_{\mu+1} - wb_{\mu+1}, \mu = \overline{0, k-1}$$

Такой характер выполнения соотношений двойственности соответствует свойствам данного способа линейной аппроксимации, доказанным в параграфе 1.4.

Оптимальные оценки служат важным инструментом анализа структуры оптимальных планов и их корректировки, как будет показано в параграфах 2.3, 2.4. Развитие базовых ОМММ приводит к изменению состава, экономического смысла и структурных формул оптимальных оценок. Поэтому к проблеме оптимальных оценок мы будем возвращаться неоднократно.

2.3. Конструкции ОМММ и свойства оптимальных планов

Исследование свойств ОМММ как математической задачи предполагает получение ответов, в первую очередь, на вопросы: о существовании решения (оптимального плана) модели, его единственности или возможной неединственности, невырожденности или вырожденности. При отсутствии такого предварительного математического изучения модели могут происходить неожиданные и необъяснимые сбои в процессе ее эксплуатации. Далее желательно выявить характерные свойства оптимальных планов и их зависимость от конструкции реализуемой модели: состава условий (ограничений и переменных), структуры матрицы, интервалов значений экзогенных величин и т.д.

В математической экономике хорошо изучены свойства точечных межотраслевых моделей и в гораздо меньшей степени — свойства даже упрощенных многорегиональных моделей, например, с двухкомпонентными «транспортными» способами.

Первые математические исследования более сложных моделей типа ОМММ проведены К.В. Ачелашвили, Г.Я. Ярахмедовым, М.В. Якобсоном¹. Несмотря на «очевидный» характер некоторых свойств модели (например, существование и ограниченность решений), их строгое математическое обоснование является довольно трудным.

Г.Я. Ярахмедов и К.В. Ачелашвили вывели некоторые точные соотношения для модели, близкой ОМММ (1.1)–(1.8) (максимизируется $\sum_{i,r} z_i^r$, где z_i^r — потребление продукции i -й отрасли в r -м регионе; неравенства (1.2) и (1.3) заменены равенствами $d_j^r = 0$ при всех j, r). С учетом новой записи модели доказанные свойства можно сформулировать следующим образом.

1. Если коэффициенты производственных затрат на старых и новых мощностях равны ($a_{ij}^r = a_{ij}^r, t_j^r = t_j^r$ при всех i, j, r), то существует оптимальный план, в котором $(N_j^r - \bar{x}_j^r)\bar{x}_j^r = 0$ при всех j, r , то есть если $\bar{x}_j^r < N_j^r$, то $\bar{x}_j^r = 0$, если $\bar{x}_j^r > 0$, то $\bar{x}_j^r = N_j^r$.

2. Существует оптимальный план, в котором отсутствуют циклы поставок продукции, то есть $x_j^{r_1 r_2} \cdot x_j^{r_2 r_3} \cdot \dots \cdot x_j^{r_{k-1} r_k} \cdot x_j^{r_k r_1} = 0$ при всех r, s, j . Частным случаем этого свойства какого-либо оптимального плана является отсутствие встречных поставок в оптимальном плане: $x_j^{rs} \cdot x_j^{sr} = 0$ (при всех r, s, j).

Очевидно, что если оптимальный план *единственный*, то свойства 1 и 2 для него обязательно выполняются. При дополнительном предположении о положительности всех коэффициентов a_{ij}^{rs} доказывалось, что свойства 1 и 2 являются необходимыми для *всякого* оптимального плана.

Попытки выявления более широкого множества *общих* свойств ОМММ, то есть выполняющихся при любых допустимых значениях параметров, не приносили успеха. М.В. Якобсон нашел выход из этой ситуации, введя понятие «типичного» свойства модели, выполняющегося для «почти всех» задач с определенными ограничениями на параметры.

¹ Ачелашвили К.В., Ярахмедов Г. Я. О некоторых свойствах решения задачи оптимального территориального планирования // Сб. «Методы и модели территориального планирования». Вып. 1. Новосибирск, 1971; Якобсон М. В. О типичных свойствах некоторых оптимизационных моделей ([7]).

Для доказательства типичных свойств исходной ОМММ (1.1)–(1.8) М.В. Якобсоном приняты допущения: а) все региональные матрицы — продуктивные; б) $\underline{d}_j^r = 0$ при всех j, r ; в) $a_{ij}^{rs} > a_{ij}^{rs}$ при всех j, r, s ; г) величины импорта «не слишком велики»; д) отсутствуют «особые» регионы (в которых производство по всем отраслям с транспортабельной продукцией равно нулю). При этих допущениях доказаны следующие типичные свойства:

- 1) всякий план ограничен;
- 2) оптимальный план не вырожден;
- 3) оптимальный план единственен;
- 4) в оптимальном плане условия (1.2) и (1.3) обращаются в равенство;
- 5) оптимальные оценки продукции всех отраслей (включая отрасль «транспорт») — положительные.

Данные свойства типичны в том смысле, что при случайном выборе параметров задачи (в рамках принятых допущений) вероятность получить решение, не обладающее этими свойствами, практически равна нулю. Следует отметить, что все принятые допущения, кроме «б», соответствуют реальной информации, используемой в расчетах по ОМММ. Условие «б», по-видимому, может быть ослаблено.

Указанные типичные свойства доказаны для ОМММ с эндогенными инвестициями и ряда других модификаций модели, рассматриваемых в гл. 3.

В проводившихся многовариантных расчетах по оптимизации развития многорегиональных систем всегда выполнялись все отмеченные выше условия (как типичные для исходной ОМММ, так и точные, но доказанные для родственной модели).

Можно отметить, что существование решений задачи (1.1)–(1.8) обеспечивается разумным заданием величин минимальных приростов продукции (\underline{d}_j^r) и прочей конечной продукции (q_i^r). Величины $\underline{d}_j^r > 0$ всегда малы по сравнению с N_j^r и задаются только в исключительных случаях. Поэтому исключение условий $\underline{d}_j^r \leq \bar{x}_j^r$ не приводит к существенным изменениям. Разумные задания величин q_i^r также не должны приводить к несовместимости ограничений задачи.

Доказательства типичности существования оптимального плана, его единственности и невырожденности облегчает анализ структуры оптимального плана ОМММ.

Важной характеристикой структуры оптимального варианта является соотношение количеств входящих в него переменных объемов производства и межрегиональных поставок. Рассмотрим вначале случай, когда все условия (1.6) выполняются как равенства, а условия (1.5) отсутствуют или все они выполняются как строгие неравенства.

Пусть l — число условий (1.1) и (1.4), обращаемых в равенства ($l \leq m + n - k$). Поскольку оптимальный план невырожден, $z > 0$ и уже поэтому все $x_i^r > 0$, то общее число положительных переменных \bar{x}_j^r и x_i^{rs} в оптимальном плане составит $nm + l - 1$.

В оптимальном варианте с предельной концентрацией производства (когда продукция каждой отрасли производится только в одном регионе) число положительных \bar{x}_j^r равно n , а число положительных x_i^{rs} равно $n(m - 1) + l - 1$, что при реальных значениях параметров значительно меньше числа потенциально осуществимых связей nmk (где k — среднее для каждого региона число смежных районов; $\max k = m - 1$). В оптимальном варианте с предельной диверсификацией производства (когда в каждом регионе производится продукция всех отраслей) число положительных \bar{x}_j^r равно nm , а число положительных x_i^{rs} — только $l - 1$; таким образом, необходимым условием осуществимости в оптимальном плане полной автаркии регионов является $l = 1$. Оба эти предельные варианты неэффективны не только в реальной действительности, но и в рамках условий ОМММ: первый — из-за чрезмерных транспортных затрат и наличия отраслей с нетранспортабельной продукцией; второй — из-за высоких затрат на производство некоторых видов продукции в ряде регионов или отсутствия соответствующих природных условий.

При включении в задачу условий (1.5) число положительных переменных x_i^{rs} в оптимальном плане увеличивается. Обозначим: n_1 — число условий (1.5), выполняющихся как равенство; n_2 — число положительных \bar{x}_j^r , не принимающих предельных значений; n_3 — число \bar{x}_j^r , принимающих нулевые значения; n_4 — число положительных x_i^{rs} . Тогда в оптимальном плане выполняется соотношение $n_2 + n_4 = nm + l - 1$, откуда $n_4 = n_1 + n_3 + l - 1$ и $n_2 = nm - n_4 + l - 1$.

Основной вариант первой задачи оптимизации территориальных пропорций СССР, решавшейся в 1967 г. (см. гл. 4), имел следующие характеристики:

$$n = 14, m = 10, l = 3,$$

$$n_1 = 62, n_2 = 77, n_3 = 1, n_4 = 65.$$

В многорегиональных межотраслевых моделях влияние на выбор оптимального плана оказывает большее число условий (пространственно распределенных), чем в точечных межотраслевых моделях. Вследствие этого оптимальный план ОМММ оказывается значительно более диверсифицированным, чем оптимальный план точечного аналога ОМММ.

Различия структур оптимальных планов точечной и пространственной моделей экономики покажем на примере задачи текущего планирования (на ближайший год), когда основная часть инвестиций не связана с приростом продукции (они задаются в составе q_i), а главными ограничивающими ресурсами являются наличные производственные мощности.

Точечная межотраслевая модель оптимизации производственных мощностей (статический вариант) в принятых в гл. 1 обозначениях формулируется следующим образом:

$$\sum_j (\delta_{ij} - a_{ij}) x_j - \alpha_i z \geq q_i, \quad i=1, \dots, n; \quad (2.21)$$

$$0 \leq x_i \leq N_i, \quad i=1, \dots, n; \quad (2.22)$$

$$z \rightarrow \max. \quad (2.23)$$

Типичным свойством модели (2.21)–(2.23) является то, что $\max z$ определяется одним узким местом — производственной мощностью какого-либо одного вида продукции. Иными словами, в оптимальном варианте полностью используется *только один вид* производственных мощностей.

В ОМММ для текущего планирования, по сравнению с исходной ОМММ для долгосрочного периода (1.1)–(1.8), исключаются условия (1.1), (1.5) и инвестиции с коэффициентами b_{ij}^r в составе условий (1.2). Упрощенная ОМММ принимает вид:

$$\sum_j (\delta_{ij} - a_{ij}^0) x_j^0 - a_{ic}^r x_c^r - \alpha_i^r z - \sum_s x_i^{rs} + \sum_s x_i^{sr} \geq q_i^r \quad (2.24)$$

$$i = 1, \dots, n; r = 1, \dots, m;$$

$$- \sum_j a_{cj}^{rr} x_j^r + x_c^r - \sum_{s,j} (a_{cj}^{rs} - a_{cj}^{rr}) x_j^{rs} - \sum_{s,j} a_{cj}^{sr} x_j^{sr} \geq 0 \quad (2.25)$$

$$r = 1, \dots, m;$$

$$\sum_j t_j^0 x_j^0 + t_c^r x_c^r \leq L^r, \quad r = 1, \dots, m; \quad (2.26)$$

$$0 \leq x_j^0 \leq N_j^0; \quad (2.27)$$

$$x_c^r, x_i^{rs} \geq 0; \quad (2.28)$$

$$z \rightarrow \max. \quad (2.29)$$

Свойства модели (2.24)–(2.29) тождественны свойствам исходной ОМММ, кроме свойства о связи между x_j^0 и \bar{x}_j^r . Для сопоставимости с задачей (2.21)–(2.23) исключим условия (2.26). Благодаря возможностям пространственного перемещения продукции, производимой в разных регионах на ограниченных мощностях, в оптимальном плане обеспечивается более полное использование мощностей *разных* отраслей. Допустима и такая ситуация (при выполнении всех типичных свойств), когда мощности во всех регионах полностью используются. Этой ситуации соответствуют наиболее интенсивные межрегиональные связи: число положительных переменных x_j^{rs} достигает $nm - 1$. В проводившихся модельных экспериментах полное использование мощностей по *многим* отраслям (а не в одной, как в точечной модели) достигалось в большинстве регионов ([8, гл. 10]).

Таким образом, при конструировании ОМММ, в том числе методом сборки типовых блоков, необходимо предвидеть влияние состава ограничений и переменных на структуры получаемого оптимального плана. Известны случаи, когда предлагавшиеся некоторыми авторами модельные конструкции давали слишком «бедные» по своей структуре оптимальные решения, например, когда определенная продукция производится только в одном регионе¹.

Существенную помощь в анализе свойств ОМММ оказывает построение *условно-оптимальных планов* путем исключения из «полной» ОМММ отдельных условий (например, ограничений на трудовые и отдельные переменные выпусков продукции), что позволяет оценивать влияние исключенных условий на структуру оптимального типа. Роль указанного метода возрастает при переходе к более сложным ОМММ, включающим дополнительные условия.

¹ Ачелашвили К.В. Экономико-математический анализ некоторых оптимизационных межрайонных моделей // Методы и модели территориального планирования. Выпуск II. Новосибирск: ИЭиОПП СО АН СССР, 1971.

Глава 3. Развитие ОМММ

3.1. Тенденции моделирования многорегиональных систем

На этапе своего становления мультирегиональное моделирование экономики шло по пути синтеза региональных моделей «затраты—выпуск» и моделей транспортно-экономических связей. В последующем стали создаваться более разнообразные мультирегиональные конструкции.

В монографии по итогам международной конференции по мультирегиональному экономическому моделированию, проводившейся Международным институтом прикладного системного анализа (Австрия), дается сравнительный анализ 50 моделей, разработанных в 18 странах и отобранных международными экспертами. В список входят 33 модели балансового типа (в том числе 19 — с матрицами «затраты—выпуск»), 14 оптимизационных, а также эконометрические и имитационные. От СССР в список включены комплекс моделей SMOPP, созданный в ЦЭМИ АН СССР (руководители Э.Ф. Баранов и А.С. Матлин) и ОМММ с эндогенными инвестициями (см. параграф 1.4), получившая имя SYREN-OPT¹.

Классификация 50 мультирегиональных моделей в указанной монографии выделяет 8 типов описания региональных и народнохозяйственных взаимосвязей: 1) изолированный «верх—низ»; 2) изолированный «низ—верх»; 3) взаимосвязанный «верх—низ»; 4) взаимосвязанный «низ—верх»; 5) изолированный регионально-национально-разделенный; 6) взаимосвязанный регионально-национально-разделенный; 7) изолированный регионально-национально-замкнутый; 8) взаимосвязанный регионально-национально-замкнутый. К высшему типу 8 отнесены только восемь моделей из семи стран, в том числе SMOPP и SYREN-OPT.

¹ Multiregional Economic Modeling: practice and prospect. North – Holland publ. comp, 1982.

Работы по мультирегиональному моделированию продолжались и в последующие десятилетия с преобладанием упрощенных конструкций («верх—низ», «низ—верх» и т.п.), не претендующих на охват всей национальной экономики в региональном разрезе, ориентирующихся на изучение отдельных проблем (экологии, рынков труда и жилья, миграции, инфраструктуры и т.п.). Главным затруднением в развитии межотраслевых мультирегиональных моделей в большинстве стран всегда являлось отсутствие региональных таблиц «затраты—выпуск» (межотраслевых балансов), разрабатываемых органами государственной статистики и согласованных с национальными таблицами «затраты—выпуск». Эта ситуация частично обходится путем применения разнообразных методов регионализации национальных таблиц.

Мультирегиональные модели по-прежнему пользуются популярностью в среде специалистов по пространственной и региональной экономике, занимая важную нишу в новых обобщающих монографиях¹. Доклады по мультирегиональным моделям регулярно присутствуют в программах конгрессов Международной ассоциации региональной науки и конференций Международной ассоциации исследований «затраты—выпуск». Однако трудно выделить лидирующие и устойчивые научные школы в этом направлении, последовательно и комплексно развивающие инструментальные и информационные возможности и расширяющие области практического применения моделей.

¹ Например, Izard, Walter, Iwan J. Azis, Matthew P. Drennan, Ronald E. Miller, Sidney Saltzman, and Eric Thorbecke. *Methods of International and Regional Analysis*. Brookfield, VT: Ashgate, 1998. ISBN 1859724108. Этот учебник представляет студентам принципы региональной науки и фокусируется на ключевых методах, используемых в региональном анализе, включая региональный и межрегиональный межотраслевой анализ, эконометрику (региональную и пространственную), программный промышленный и городской комплексный анализ, модели гравитации и пространственного взаимодействия, матрицы социальных счетов и анализ социальных счетов (благополучия), а также прикладные модели общего межрегионального равновесия.

Thijs ten Raa. *The Economics of Input-Output Analysis*. Cambridge University Press, 2006. Этот учебник представляет собой систематический обзор последних достижений в межотраслевом анализе, помогая ответить на следующие вопросы: какие отрасли являются конкурентоспособными, что такое мультипликативные эффекты инвестиционной программы, как природоохранные ограничения влияют на цены. Представлены методы линейного программирования и национальных счетов, которые используются для решения таких проблем как выбор техники, определение сравнительного преимущества национальной экономики, ее эффективности и динамического представления. Анализируются перетоки технологии и природных эффектов как на национальном (между отраслями), так и на межстрановом уровне (измерение эффектов глобализации).

В последние годы наиболее значительные разработки по мультирегиональным моделям концентрируются в больших развивающихся странах со значительной ролью государственного регулирования: это Бразилия, Индия и особенно Китай¹. Вероятно, международное сотрудничество ученых России по этому направлению экономико-математических и статистических исследований должно осуществляться, в первую очередь, в рамках группы БРИК (Бразилия, Россия, Индия, Китай), отличающейся значительными межрегиональными диспаритетами и вместе с тем быстро увеличивающей свой вес в мировой экономике.

За рубежом основные принципы моделирования многорегиональных систем более интенсивно применяются для мировой экономики взаимодействующих стран — регионов. Путь к этому проложил В. Леонтьев своей глобальной межотраслевой моделью, включавшей 15 регионов мира², на основе которой под эгидой ООН осуществлялись долгосрочные прогнозы мировой экономики. Позиция авторов книги состоит в том, что многорегиональные модели национальной экономики и многострановые модели мировой экономики имеют много общего и поэтому целесообразно их рассматривать в рамках одного направления экономико-математических исследований. Этому посвящается гл. 9 настоящей книги.

Большинство исследований по моделированию многорегиональных систем в СССР, начатых в 1980-х гг., не получили продолжения. Наиболее близкое отношение к ОМММ, совершенствованием которой занималась новосибирская школа, имела «Система моделей оптимального народнохозяйственного планирования в отраслевом и территориальном разрезах» (СМОТР, английская аббревиатура — SMOPP), созданная в ЦЭМИ АН СССР и включавшая (наряду с другими блоками) модели регионов, транспортного комплекса, миграци-

¹ См. книги японских исследователей по межрегиональному анализу экономики Китая: Okamoto N., Thara T. *Spatial Structure and Regional Development in China: Interregional Input-Output Approach*. 2005, Palgava Macmillan. В этой книге региональное развитие Китая анализируется с точки зрения пространственного взаимодействия с использованием межрегиональной межотраслевой модели китайской экономики.

Shinichi Ichimura and Hui-Jiong Wang (eds), *Interregional Input-Output Analysis of the Chinese Economy*. World Scientific Publishing Co., Singapore, 2003. Пионерная работа по построению межрегионального межотраслевого баланса китайской экономики и ее применению для анализа межрегиональных и межотраслевых связей в Китае. Китайские провинции объединены в 7 регионов, в разрезе которых и построен межотраслевой баланс.

² Будущее мировой экономики. Доклад группы экспертов ООН во главе с В. Леонтьевым. М.: Международные отношения, 1979.

онных процессов¹. Экспериментальная отработка комплекса СМОТР проводилась в 1970-х гг. К сожалению, эта масштабная работа была остановлена.

В настоящее время аналитические и прогнозные расчеты межотраслевых пропорций в разрезе крупных регионов ведутся в Институте народнохозяйственного прогнозирования РАН под руководством Ф.Н. Клоцвога.

В следующих параграфах гл. 3 рассматриваются исследования по развитию ОМММ, выполнявшиеся в ИЭОПП СО РАН, а в последние годы совместно с СОПС.

3.2. Основные направления развития ОМММ

Наиболее узким местом в моделировании многорегиональных систем всегда оставалось информационное обеспечение, особенно для построения региональных блоков моделей типа «затраты—выпуск». Вследствие этого на этапе экспериментальных расчетов по ОМММ все региональные матрицы материалоемкости, трудоемкости и капиталоемкости из-за отсутствия прямых данных формировались экспертным путем.

Первый информационный прорыв был достигнут благодаря тому, что Центральное статистическое управление СССР построило межотраслевые балансы (таблицы «затраты—выпуск») за 1966 г. по всем союзным республикам. Параллельно силами научных коллективов велись аналогичные работы по российским регионам, что ускорило построение официальных статистических межотраслевых балансов по всем экономическим районам РСФСР. В результате была создана уникальная, не имеющая прецедентов в мировой статистике система межотраслевых балансов национальной экономики в разрезе 24 территориальных единиц (14 союзных республик и 10 экономических районов РСФСР).

В ИЭОПП новые разработки на расширившейся и обновляющейся информационной базе стали вестись по двум направлениям: 1) экономико-математический анализ системы региональных межотраслевых балансов и 2) подготовка информации для новых серий прогнозных расчетов по ОМММ и двухуровневым моделям «национальная экономика — регионы».

¹ Система моделей народнохозяйственного планирования / Под ред. Н.П. Федоренко и Э.Ф. Баранова. М.: Наука, 1982. Гл. 5.

В книгах [12, 13] обобщены результаты сравнительного анализа региональных межотраслевых балансов и рассмотрены возможности специальных инструментов межрегионального анализа: межрегиональных межотраслевых балансов и статической (краткосрочной) ОМММ. Эта модель, построенная непосредственно на информации региональных межотраслевых балансов, получила дополнительную ориентацию: на выявление узких мест в системе территориальных пропорций и обоснование мероприятий по их устранению [13].

Разработка системы межотраслевых балансов по союзным республикам и экономическим районам сначала за 1966, а затем за 1972, 1977, 1982 и 1987 годы радикально изменила методики формирования исходных данных для ОМММ. Была создана база данных, объединяющая все межотраслевые балансы, что открыло возможности для применения статистических методов прогнозирования параметров моделей, в частности, региональной материалоемкости.

Ниже рассматриваются только некоторые усовершенствования базовых ОМММ, которые прошли экспериментальную проверку и применялись в аналитических и прогнозных расчетах.

Векторная оптимизация многорегиональной экономики. Ключевой проблемой функционирования и развития многорегиональных систем является гармоничное сочетание экономических интересов отдельных регионов и национальной экономики в целом. Это требование теории выражается в переходе от скалярной оптимизации экономики (с единственным критерием оптимальности) к векторной (многокритериальной) оптимизации с композицией региональных критериев.

Максимизируемая в базовой ОМММ величина конечного потребления z является суммой региональных максимизируемых величин z^r :

$$z = \sum_r z^r.$$

Пусть λ^r — доля r -го региона в общенациональном объеме конечного потребления $\left(0 \leq \lambda^r \leq 1, \sum_r \lambda^r = 1\right)$. Тогда

$$z^r \geq \lambda^r z, \quad r = 1, \dots, m$$

$$z \rightarrow \max \quad (3.1)$$

Решение задачи при фиксированном векторе $\lambda = (\lambda^r)$ дает вариант развития регионов и страны, который является *эффективным (опти-*

мальным по Парето) в том смысле, что его нельзя улучшить в интересах какого-либо региона, не ухудшая положение хотя бы одного другого региона.

Изменяя вектор λ , можно «прощупать» всю границу Парето. Содержательный смысл этой процедуры состоит в изучении возможностей и последствий изменения соотношения между уровнями конечного потребления регионов, то есть поиске приемлемых компромиссов между интересами регионов и общенациональной задачей уменьшения социально-экономического неравенства между регионами.

Двойственная задача по отношению к расширенной ОМММ (включающей условия (3.1.)), определяет оптимальные оценки фондов конечного потребления π^r

$$\pi^r = \sum_{i=1}^n \bar{\alpha}_i^r v_i^r, \quad r = 1, \dots, m, \quad (3.2)$$

где $\bar{\alpha}_i^r$ — доля i -й продукции в фонде конечного потребления в регионе r ,

v_i^r — оптимальная оценка i -й продукции в регионе r .

Величина π^r показывает, насколько сокращается общий по стране фонд конечного потребления (в заданной территориальной структуре) при увеличении конечного потребления в r -м регионе на «малую» единицу сверх того объема, который определяется заданной территориальной структурой. Эти показатели «переводят» региональные фонды потребления в единицы общего по стране фонда конечного потребления и тем самым выражают народнохозяйственную «цену» единицы потребления в регионе.

Из условий дополняющей нежесткости также следует, что

$$\sum_r \lambda^r \pi^r = 1, \quad (3.3)$$

то есть региональные оптимальные оценки конечного потребления π^r колеблются около единицы, или средняя региональная оценка конечного потребления равна единице.

Оценки π^r позволяют анализировать последствия изменения территориальной структуры конечного потребления. Из формальных свойств этих оценок вытекает, что увеличение в территориальной структуре потребления доли того региона, в котором оценка потребления выше единицы (потребление «дороже» среднего уровня), ведет к сокращению об-

щего по стране фонда потребления. По мере увеличения доли региона в общем потреблении его оценка π^r растет: каждый очередной шаг в сторону увеличения доли данного региона в общем потреблении обходится национальной экономике все дороже. На начальных этапах этого процесса (при относительно малой доле региона в потреблении) общий по стране фонд потребления может даже увеличиваться (если оценка потребления в регионе меньше единицы), но, начиная с некоторого момента (когда оценка потребления в регионе превысит единицу), общее по стране потребление будет обязательно сокращаться¹.

Модель с взаимосвязями производства, потребления и доходов населения². Базовые ОМММ недостаточно учитывают механизмы распределительных отношений, их роль — в регулировании территориальной дифференциации уровня жизни населения. Например, при разработке прогноза (плана) экономического и социально-экономического развития страны на очередной период можно было бы поставить задачу уменьшения различий в региональных уровнях конечного потребления в два раза. С точки зрения физического распределения фонда потребления, такая задача вполне разрешима посредством соответствующих изменений коэффициентов λ^r . Однако она может оказаться неосуществимой с точки зрения сбалансированности ресурсов потребления и доходов населения.

Эффект указанного недостатка ОМММ можно ослабить, расширив ее путем включения взаимосвязей производства, потребления и доходов населения. Это достигается путем деления конечного потребления на личное и общественное (домашних хозяйств и государственное) и введения соответствующих структурных параметров во взаимосвязях с доходами населения.

Расширенная ОМММ в дополнение к базовой включает региональные балансы доходов и расходов населения:

$$z^r = \gamma^r \left(\sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^r x_j^r + \hat{z}_1^r - \hat{z}_2^r \right) \quad (3.4)$$

где z^r — суммарные реализованные доходы населения r -го региона;

α_{ij}^r — коэффициенты зарплатоемкости продукции j -й отрасли в r -м регионе;

¹ Математические проблемы векторной оптимизации для класса моделей, включающего ОМММ, рассмотрены в книге П о л и щ у к Л.И. Анализ многокритериальных экономико-математических моделей. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1989.

² Раздел подготовлен с участием Н.А. Бересневой.

$\sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^r x_j^r$ — представляет собой суммарные доходы населения r -го региона в сфере производства;

\hat{z}_1^r — доходы населения r -го региона, включающие в себя денежные выплаты из социальных фондов;

\hat{z}_2^r — совокупные расходы населения r -го региона на оплату налогов;

γ^r — коэффициент, характеризующий долю потребительских расходов населения r -го региона в совокупных доходах.

Региональные балансы доходов и расходов населения должны включать и миграцию денежных средств, которая оказывает значительное влияние на формирование объема и структуры денежных доходов и потребления в ряде регионов:

$$z^r = \gamma^r \left(\sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^r x_j^r + \hat{z}_1^r - \hat{z}_2^r - v_z^r \right) + w_{zj}, \quad (3.5)$$

где v_z^r — вывоз денег из r -го региона;

w_{zj} — ввоз денег в регион r .

Тогда величина z^r будет характеризовать доходы, реализованные на территории r -го региона, которые состоят из реализованных доходов населения r -го региона и ввезенных денег. Необходимо, однако, отметить, что учет и оценка миграции денег населения являются одним из наиболее «узких мест» в статистике уровня жизни.

В расширенной ОМММ объемы личного потребления (y_{iz}^r) выступают как функция от доходов населения:

$$y_{iz}^r = \alpha_{iz}^r z^r, \quad (3.6)$$

где α_{iz}^r — доля продукции i -й отрасли, идущая на личное потребление r -го региона¹.

Приведенный выше баланс доходов населения, а также зависимости потребления от величины доходов построены для совокупного населения региона. Учет населения региона по экономическим группам (различающимся по уровню среднедушевого дохода) приводит к построению балансов доходов и расходов для каждой такой группы населения:

¹ Исследования показывают, что в большинстве случаев зависимости расходов населения на определенные товары от изменения доходов достаточно хорошо аппроксимируются линейной функцией.

$$z^r = \gamma^r \left(\sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^r x_j^r + \tilde{z}_{i1}^r - \tilde{z}_{i2}^r \right), \quad (3.7)$$

где l — номер экономической группы населения. Коэффициент α_{ij}^r можно представить следующим образом:

$$\alpha_{ij}^r = \alpha_{ij}^r k_{\beta}^r c_{\beta i}^r, \quad (3.8)$$

где α_{ij}^r — отраслевые коэффициенты заработной платы в i -м регионе;

$c_{\beta i}^r$ — коэффициенты, показывающие уровень дифференциации фонда заработной платы отдельных отраслей в r -м регионе по оплатным группам (β — индекс оплатной группы);

k_{β}^r — коэффициенты, с помощью которых осуществляется переход от распределения работающих по оплатным группам к распределению населения по среднедушевым доходам в регионе r .

Тогда объем личного потребления продукции i -го вида в r -м регионе предстанет в следующем виде:

$$y_{iz}^r = \sum_{l \in L} \alpha_{il}^r r_{il}^r z_l^r, \quad i \in I, \quad (3.9)$$

где r_{il}^r — коэффициенты, характеризующие долю l -й экономической группы в потреблении продукции i -го вида в регионе r .

Информация о приведенных структурных коэффициентах в принципе может быть получена из расчетных дифференцированных балансов доходов и потребления регионов.

Критерий оптимальности, используемый в расширенной ОМММ, — максимум реализованных доходов населения по стране в целом. Этот критерий дополняется соотношениями региональных уровней доходов и условиями увеличения и распределения государственных расходов на социальные нужды:

$$F(Z, V) \rightarrow \max, \quad Z \in Q, \quad V \in P, \quad (3.10)$$

где F — вектор-функция, зависящая от объемов и распределения доходов населения и государственных расходов на социальные нужды;

Z — вектор реализованных доходов населения по регионам: $Z = (z^r)$;

V — вектор распределения государственных расходов по регионам: $V = (v^r)$;

Q — множество условий, регулирующих соотношение региональных уровней доходов;

P — множество условий, регулирующих соотношение распределения государственных расходов по регионам.

Приведем две модификации ОМММ, образующиеся при конкретизации комплекса критериальных условий.

1. Максимизация общей суммы реализованных доходов при фиксированном распределении государственных расходов на социальные нужды:

$$\sum_{r \in R} z^r \rightarrow \max, \quad v^r = v^r. \quad (3.11)$$

При данных условиях получается максимально возможная общая сумма доходов населения страны. Однако дифференциация регионов по уровню доходов на душу населения может оказаться чрезмерно большой. Тем не менее решение в этом случае все же обладает определенной ценностью — хотя бы потому, что по отношению к рассчитанной максимальной величине доходов населения по стране далее могут оцениваться последствия различных мероприятий по регулированию их территориального распределения.

2. Максимизация общей суммы доходов населения при определенных соотношениях региональных уровней доходов и фиксированном распределении социальных фондов:

$$\sum_{r \in R} z^r \rightarrow \max, \quad z^r \geq \xi^r \sum_{r \in R} z^r, \quad v^r = v^r, \quad (3.12)$$

Коэффициент ξ^r рассчитывается по формуле

$$\xi^r = \mu^r \frac{N^r}{\sum_r N^r},$$

где μ^r — отношение душевого дохода r -го региона к среднему по стране;

N^r — численность населения r -го региона.

Изменяя коэффициенты ξ^r (на основе μ^r) в соответствии с целями социальной политики, можно рассчитывать и сопоставлять друг с другом варианты развития отдельных регионов и страны в целом. Данная постановка может дополняться анализом влияния изменений региональных коэффициентов оплаты труда (α_{ij}^r), вводимых в качестве множителей левых частей уравнений доходов населения.

Расширенная оптимизационная межрегиональная модель была экспериментально проверена на примере 5-зональной модели СССР.

Условия межрегиональной мобильности трудовых ресурсов. В базовых ОМММ гипотезы межрегиональной миграции населения и трудовых ресурсов отражаются в задаваемых региональных лимитах трудовых ресурсов L^r .

Пусть L_0^r — размер трудовых ресурсов в r -м регионе (для производственной сферы) в последнем году планируемого периода без учета целенаправленной миграции населения в течение этого периода; x_i^{rs} — «вывоз» трудовых ресурсов из r -го региона в регион s в течение периода; x_i^{sr} — «ввоз» трудовых ресурсов из s -го региона в регион r в течение периода.

Теперь модель включает ограничения по труду

$$\sum_j t_j^0 x_j^0 + \sum_j t_j^r \bar{x}_j^r + t_\tau^r x_\tau^r + \sum_s x_i^{rs} - \sum_s x_i^{sr} \leq L_0^r, \quad r = 1, \dots, m. \quad (3.13)$$

Очевидно, для национальной экономики должно выполняться условие

$$\sum_r \left(\sum_j t_j^0 x_j^0 + \sum_j t_j^r \bar{x}_j^r + t_\tau^r x_\tau^r + \sum_s x_i^{rs} - \sum_s x_i^{sr} \right) \leq L, \quad (3.14)$$

где

$$L = \sum_r L_0^r.$$

Затраты, связанные с миграцией населения (то есть с переменными x_i^{rs} и x_i^{sr}), отражаются в балансах продукции, транспорта, инвестиций.

Поскольку численность населения регионов в последнем году теперь становится неизвестной, несколько усложняется вопрос с критерием оптимальности. Теперь уже нельзя до решения ОМММ поставить в соответствие каждому региону определенную долю общего фонда потребления (α_i^r).

Обозначим через x_i^r объем используемых в r -м регионе трудовых ресурсов

$$x_i^r = \sum_j t_j^0 x_j^0 + \sum_j t_j^r \bar{x}_j^r + t_\tau^r x_\tau^r. \quad (3.15)$$

Будем исходить из предположения, что потребление региона прямо пропорционально связано с занятостью (в разных регионах могут быть

разные коэффициенты пропорциональности). Пусть \bar{z} — уровень душевого потребления в стране на одного занятого; $\bar{\alpha}_i^r$ — ассортиментный коэффициент душевого потребления i -й продукции в r -м регионе (с учетом соотношения населения и занятости).

Душевое потребление i -й продукции в r -м регионе составит $\bar{\alpha}_i^r \bar{z}$. Наборы продуктов душевого потребления при определенном \bar{z} обеспечивают равный уровень удовлетворения потребностей населения в различных регионах. Объемы потребления (y_i^r), включаемые в балансы продукции, выражаются квадратичными функциями

$$y_i^r = \bar{\alpha}_i^r \bar{z} x_i^r. \quad (3.16)$$

При максимизации уровня душевого потребления \bar{z} следует исходить (во избежание значительного недоиспользования трудовых ресурсов) из определенной гипотезы относительно минимальной занятости населения в регионе

$$\sum_r x_i^r \geq \hat{L}^r. \quad (3.17)$$

Вместо решения задачи на максимизацию уровня душевого потребления \bar{z} проще перейти к решению взаимной оптимизационной задачи, в которой условия (3.16) и (3.17) заменяются следующими:

$$\begin{aligned} y_i^r &= \bar{\alpha}_i^r \bar{z}^* x_i^r, \quad i = 1, \dots, n, \quad r = 1, \dots, m, \\ x_i^r &\geq 0, \\ \sum_r x_i^r &\rightarrow \min. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Иными словами, решается задача на минимум затрат труда в национальной экономике для достижения заданного уровня душевого потребления (параметра \bar{z}^*). Для решения этой задачи удобно применить линейное параметрическое программирование. При монотонном увеличении параметра \bar{z}^* последний из допустимых планов будет оптимальным планом сопряженной задачи на максимум душевого уровня потребления.

Главной проблемой реализации изложенного подхода остается создание баз данных о затратах на миграцию и выбор принципов распределения этих затрат между мигрантами, работодателями и государством.

Транспорт. Одним из направлений совершенствования постановки оптимизационной межрегиональной межотраслевой модели заклю-

чалось в изменении блока межрегиональных связей в направлении перехода от сетевого их представления (каждый регион непосредственно связан лишь со смежными регионами, соединенными транспортной сетью) к шахматному (в модели представлены переменные связи каждого региона с каждым).

При сетевом представлении межрегиональных связей фактическая поставка, например, из Центрального федерального округа в Сибирский на уровне межотраслевой модели непосредственно не будет иметь места — она будет представлена совокупностью поставок между смежными округами — из Центрального в Приволжский, далее из Приволжского в Уральский и, наконец, из Уральского в Сибирский. Поскольку формальное распределение транспортных затрат на межрегиональные перевозки осуществляется по принципу «от условного центра производства региона-производителя до условного центра потребления региона-потребителя», то при сетевом представлении транспортных связей неявно предполагается, что отправленная из условного центра производства продукции какой-либо отрасли вначале попадает в условный центр потребления региона, осуществляющего фактически транзит, затем из условного центра производства этого региона попадает в условный центр потребления следующего региона, тоже фактически осуществляющего транзит и т.д.

Как правило, сетевое представление транспортных связей приводит либо к завышению транспортных затрат на дальние перевозки (фактически, прямая связь выглядит как ряд опосредованных и в затраты включаются не только затраты на собственно транспортировку, но и на отсутствующие в реальности многократные погрузки и разгрузки), либо к занижению транспортных затрат на поставки между соседними регионами, либо и к тому, и к другому, если расчет коэффициентов транспортных затрат осуществляется таким образом, чтобы суммарные по всем направлениям затраты совпадали с суммарными для страны в целом затратами на перевозки продукции той или иной конкретной отрасли.

Шахматный принцип моделирования транспортных связей не имеет указанного выше формального недостатка и позволяет учесть тот факт, что затраты на транзит заметно меньше, чем сумма затрат на ввоз (развоз по территории региона потребителя продукции, поступившей из другого региона) и вывоз.

В такой постановке способы транспортировки продукции не четырехкомпонентные, включающие плюс и минус единицы в балансах пе-

ревозимой продукции регионов-контрагентов и транспортные коэффициенты в балансах транспортной работы этих же регионов, а многокомпонентные (если регионы-контрагенты не смежные): дополнительно они включают транспортные коэффициенты в балансах транспортной работы всех транзитных регионов. Сумма транспортных затрат по такому способу меньше, чем аналогичная сумма по совокупности смежных способов, воспроизводящей тот же маршрут. Поэтому если в оптимальном решении модели (индекс продукции опущен) $x^{rs} > 0$, и для этой перевозки l -й регион является транзитным, то переменные x^{rl} и x^{ls} одновременно положительными быть не могут.

Дальнейшее совершенствование представления транспорта в ОМММ должно идти в направлении его детализации (желательно выделить, по крайней мере, железнодорожный и трубопроводный транспорт), а также перенесения инвестиционной нагрузки с региональных переменных объемов транспортной работы на переменные межрегиональных транспортных перевозок. Для этого надо научиться на переменных x_i^{rs} , x_i^{rl} (имеется в виду постановка с сетевым представлением связей) для всех транспортабельных продуктов строить агрегаты общего грузооборота между r -м и s -м регионами, для каждой пары регионов вводить две переменные такого грузооборота: на старых и новых мощностях (если речь идет об однопериодной задаче).

Капиталоемкость региональных объемов транспортной работы будет связана с содержанием и развитием вокзального, станционного, терминального, портового и т.д. хозяйства, подвижного состава, а капиталоемкость общего грузооборота по направлениям — с содержанием и развитием собственно транспортных магистралей. Такое развитие модели чрезвычайно актуально для оценки последствий реализации крупных транспортных проектов, которые относятся, как правило, к модернизации, расширению действующих и строительству новых транспортных магистралей.

Внешнеэкономические связи. Еще более актуальным является переход к прямым транспортным способам для отображения внешнеэкономических связей¹. При сетевом их представлении формальными (то есть отображаемыми на модельном уровне) экспортерами и импортерами являются лишь те регионы (пограничные), с территории которых те или иные товары уходят за рубеж либо на территорию которых

¹Такой переход для некоторых экспериментальных постановок ОМММ был осуществлен в 1990-х гг.

они впервые попадают из-за рубежа при пересечении границы. По этой причине в обычной постановке ОМММ, например, Тюменская область ничего не экспортировала и не импортировала, поскольку не имела границ с другими странами (небольшой участок границы области с Казахстаном не имеет никакого значения в плане обеспечения экспорта тюменской продукции или завоза импортной продукции в Тюменскую область, равно как и побережье Северного Ледовитого океана, относящееся к области).

Шахматный принцип отображения транспортных связей позволяет осуществить переход как к производственно-потребительскому принципу учета внешнеэкономических связей (экспортером считается регион, на территории которого произведена экспортируемая продукция, импортером — тот, на территории которого она потреблена), так и к юридическому (формально регистрируемому статистикой), когда регионом-экспортером считается регион, где расположена фирма, поставляющая продукцию на экспорт, а регионом-импортером — регион, где расположена фирма-первый покупатель импортной продукции.

Юридический принцип разнесения показателей экспорта и импорта по регионам имеет только одно, формальное, преимущество — он обеспечивает сопоставимость показателей экспорта и импорта с регистрируемыми статистикой (для отчетного периода; для прогнозного — лишь в том случае, когда с течением времени не происходит изменения мест регистрации формальных экспортеров и импортеров). Но он не отражает фактической роли каждого из регионов в обеспечении экспортных поставок и потреблении импортной продукции. Поэтому при информационном наполнении межрегиональной межотраслевой модели предпочтение было отдано производственно-потребительскому принципу разнесения по регионам показателей экспорта и импорта.

Как и для внутренних связей, сумма транспортных затрат по любому экспортному способу (или импортному) для внутреннего региона должна быть меньше, чем по внутреннему способу транспортировки до пограничного региона плюс по экспортному способу от этого пограничного региона. Соответственно, если (индекс продукции опущен) $v^r > 0$, и эта экспортная поставка осуществляется через пограничный регион t , то переменные x^r и v^t одновременно положительными не могут быть.

Помимо перехода к шахматному принципу отображения, современная постановка ОМММ адаптирована к возможностям сегментации внешнего рынка: переменные экспорта-импорта получают дополнитель-

ный индекс направления внешнеэкономических связей. В настоящее время в прикладных расчетах учитываются три таких направления: СНГ, Запад и Юго-Восток. Это потребовало освоить новые «пласты» исходной информации (статистика платежного баланса, внешней торговли, таможенная статистика и др.), разработать методические приемы досчета и приведения имеющейся статистики к форматам, требуемым моделью.

Следующим шагом должно явиться введение в ОМММ транссистемных транспортных способов. Это чрезвычайно актуально и важно для исследований экономики России, по территории которой проходят трансконтинентальные транспортные коридоры «Запад—Восток» и «Север—Юг». Для того чтобы переменные объемов транзита могли быть эндогенными, эти способы должны включать не только компоненты затрат (в балансах транспортной работы транзитных регионов), но и компоненты доходов. Эти компоненты (доходов от международного транзита) должны появляться в ограничениях торговых балансов — транзитных регионов и/или общесистемного торгового баланса.

Эти транссистемные способы должны быть эффективнее любых комбинаций экспортно-импортных способов и способов внутренних перевозок. А такие комбинации, имитирующие соответствующую транссистемную перевозку, могут входить в оптимальный план при надлежащем различии цен мирового рынка (заданных в модели) в разных его сегментах.

Переход к многопериодным ОМММ. Переход от однопериодных («полудинамических») постановок ОМММ к многопериодным — в данном случае к двухпериодным — связан, во-первых, с общей логикой развития модельных представлений многорегиональных систем и, во-вторых, с необходимостью разработки прогнозов и сценариев развития не только долгосрочного, но и среднесрочного характера. Последнее обусловлено характером задач, решаемых в 2006–2007 гг. по заказу Минэкономразвития и торговли Российской Федерации.

В формальной постановке отличия по сравнению с «полудинамическим» (однопериодным) вариантом ОМММ сводятся, прежде всего, к тому, что каждая группа ограничений (в двухпериодной задаче) записана дважды: для года T_1 и года T_2 — последних лет, соответственно, первого и второго периодов. В настоящее время базисным годом является 2005, $T_1 = 2010$, $T_2 = 2020$.

Используемый способ моделирования инвестиционного процесса в ОМММ такой постановки аналогичен тому, который применялся

в динамической трехпериодной точечной межотраслевой модели (см. параграф 2.3). В ограничениях, которые связывают инвестиции за каждый прогнозный период с инвестициями последнего года данного периода и последнего года предшествующего периода, используется функциональная зависимость, отображающая степенной закон роста валовых инвестиций в основной капитал внутри каждого из периодов.

Переменные и соотношения линеаризации этой функциональной зависимости в первом периоде полностью аналогичны однопериодной постановке. Только теперь в соотношениях (1.21)–(1.23) T , ρ , ρ^0 , $\bar{\rho}$ пишутся с нижним индексом «1», а коэффициенты a и b , переменные ξ и текущий индекс μ записываются с верхним индексом «1». Точно так же, для второго периода T , ρ , ρ^0 , $\bar{\rho}$ пишутся с нижним индексом «2», а коэффициенты a и b , переменные ξ и текущий индекс μ записываются с верхним индексом «2». Но главное отличие от однопериодной постановки в том, что соотношения (1.21), (1.22) для второго периода записываются без множителя u , а соотношения (1.23) как (индексы продукции и региона, как и прежде, опущены)

$$0 \leq \xi_{\mu^2}^2 \leq u^0 \sum_{\mu^1}^{u^1} a_{\mu^1}^1 \xi_{\mu^1}^1,$$

то есть они становятся ограничениями общего вида, а не на отдельные переменные. Это следствие того, что u^1 , являющиеся начальными инвестициями для второго периода, эндогенны.

Расчетные тождества (1.24) для второго периода записываются теперь следующим образом:

$$\rho_2 = \rho_2^0 + (\hat{\mu}^2 - 1 + \xi_{\mu^2}^2 / u^1) e.$$

Определенную проблему представляет собой включение в модель критериальных величин z^1 и z^2 — объемов конечного потребления (потребления населения и государства) в последних годах первого и второго периодов. По-видимому, они должны быть связанными между собой. Эту связь можно было бы включить в модель следующим образом: задать закон роста этих величин, например, также степенной, линейно аппроксимировать соответствующие функции, как это было сделано для инвестиций, зафиксировать соотношение между темпами прироста конечного потребления в двух периодах (например, сделать их равными) и максимизировать темп прироста в одном из периодов. Однако

практика расчетов показала, что достаточно хорошо «работает» гораздо более простой критерий: максимум некоторой линейной комбинации этих двух целевых переменных.

3.3. Модельно-программный комплекс¹

Разработанный модельно-программный комплекс (МПК) представляет совокупность моделей, банков информации, операций и алгоритмов, что позволяет работать с широким классом моделей и системами выполнения разнообразных итеративных расчетов. МПК включает в себя:

- систему управления базами данных;
- средства подготовки входных данных и обработки выходных наборов данных для стандартных пакетов оптимизации;
- средства по преобразованию информации (вычислений, структурной перестройки массивов).

Можно выделить три основные особенности разработанного модельно-программного комплекса: *диалог, самообучаемость пользователя и гибкость системы*. Пользователь имеет возможность в режиме диалога с компьютером решить задачу прогнозирования и анализа. Сам ход диалога контролируется программным комплексом, так что на каждом шаге пользователю сообщаются его дальнейшие возможные действия, совершенные им ошибки, а при необходимости — подробные разъяснения по отдельным компонентам системы. Этим обеспечивается обучение пользователей, а также возможность работы без специальной подготовки. Модельно-программный комплекс имеет в своем составе как жесткие, так и свободные связи и списки элементов; отражением этого факта является возможность для пользователей вводить новые и видоизменять включенные ранее элементы и связи (ограничения, переменные и т.д.).

Ядром модельно-программного комплекса выступает специально разработанный язык программирования высокого уровня КОМБИ (Комплекс обработки матричных блоков информации), адаптированный к среде Excel, дающий средства описания пред- и послеоптимизационных вычислений, средства связи со стандартными пакетами оптимизации и отражающий базу данных в достаточно упрощенной структуре.

Созданный программный комплекс реализован с помощью языка Visual Basic 6.0 на базе Microsoft Office Excel. Пакет Microsoft Office Excel выбран не случайно. Электронная таблица Excel:

¹ Раздел подготовлен совместно с Н.М. Ибрагимовым.

- дает возможность работать с моделью широкому кругу пользователей;
- может хранить достаточно большое количество «листов», что позволяет легко структурировать данные в одном файле;
- наглядно представляет таблицы данных;
- содержит в своем приложении достаточно большое количество встроенных функций для облегчения работы с данными.

Экономико-математические модели, используемые в прикладных исследованиях пространственных и отраслевых систем, в математическом отношении являются задачами линейного программирования, которые представляют собой системы линейных ограничений, дополненных условиями неотрицательности всех или некоторых переменных и линейной целевой функцией, значение которой надо максимизировать. Для решения таких задач применяются стандартные пакеты программ оптимизации. Входные данные для этих оптимизационных пакетов должны иметь строгий формат. Они обязательно должны содержать следующие файлы:

- MPS-файл, в котором описывается матрица исходных данных задачи, целевая функция и векторы верхних и нижних границ на переменные и ограничения модели;
- SPECS-файл, в котором задается информация о типе и размерности решаемой оптимизационной задачи, требуемой точности решения и различных алгоритмических опциях, которые следует использовать для решения;
- BASIS-файл, который содержит начальные значения переменных модели — базис.

Средствами оптимизационных пакетов осуществляется запись получаемого оптимального плана в выходные наборы данных, которые также имеют строгий формат.

После того, как файлы с входными данными подготовлены и задана структура модели, пользователь может запустить вычисление решения. На этом шаге программа создает стандартные входные данные для пакетов оптимизации (MPS-, SPECS-, BASIS-файлы) и запускает решение. После того, как пакетом будет найдено решение, выходной файл обрабатывается специальным модулем комплекса, который преобразует данные в удобный для пользователя структурированный вид.

Интерфейс модельно-программного комплекса был разработан в основном в 2005–2006 гг. и впоследствии модернизирован.

Адаптация межрегиональной межотраслевой модели к задачам прогнозирования в двухпериодном разрезе потребовала кардинального изменения модельного программного комплекса. Экономико-математические модели, используемые в прикладных исследованиях пространственных и отраслевых систем, в математическом отношении, как уже ранее отмечалось, являются задачами линейного программирования. Для решения таких задач применяются стандартные пакеты программ оптимизации. Построение оптимизационной двухпериодной межрегиональной межотраслевой модели на порядок увеличило размерность задачи: количество ограничений выросло до 928, а число переменных до 5674. Используемый ранее стандартный пакет оптимизации «LPSYST» с такой размерностью задачи не справился, что вызвало необходимость поиска, тестирования и адаптации оптимизационных пакетов для решения большемерных задач на IBM-совместимых компьютерах. В результате этого трудоемкого процесса был выбран оптимизационный пакет «LP-VC», который в настоящее время эксплуатируется как один из основных рабочих стандартных оптимизационных пакетов. В этой связи пришлось заново переписывать и отлаживать программный модуль, обеспечивающий средства связи модельно-программного комплекса с пакетами оптимизации «LP-VC». В частности, были выполнены следующие работы:

- переписан модуль, отвечающий за запуск пакета программ оптимизации, с учетом особенностей пакета LP-VC;
- адаптирован к требованиям пакета LP-VC модуль, собирающий данные и формирующий исходный MPS-файл;
- добавлен модуль, обрабатывающий выходной файл пакета LP-VC с данными расчетов, полученными после решения задачи, а также реализован вывод этих данных в удобный для пользователя вид (сформированные и структурированные таблицы Microsoft Excel);
- реализован вывод в отдельный файл листа с параметрами модели; Также добавлены новые функциональные возможности:
- добавлена информативная строка состояния, показывающая прогресс вычисления задачи и текущее действие программы;
- по завершении вычисления пользователю выдается код успешного или неуспешного завершения программы оптимизатора;

Аппаратные требования модифицированного модельно-программного комплекса не превышают требований операционной системы Microsoft Windows.

3.4. OMMM-2007

Это двухпериодная оптимизационная межрегиональная межотраслевая модель (в проводимых прикладных расчетах первый период 2006–2011 гг., второй — 2011–2020 гг.) с шахматным представлением межрегиональных и внешнеэкономических связей. Зависимость между объемами инвестиций в последнем году периода и в целом за период представлена обобщенно.

Региональные блоки модели

Балансовые ограничения по производству и распределению продукции для года T^1 :

$$x_i^{r0} + x_i^{r1} - \sum_{j=1}^n a_{ij}^{r01} x_j^{r0} - \sum_{j=1}^n a_{ij}^{r11} x_j^{r1} - \alpha_i^{r1} z^{r1} - \sum_{s \neq r} x_i^{rs1} + \sum_{s \neq r} x_i^{sr1} - \sum_{h=1}^H v_i^{rh1} + \sum_{h=1}^H w_i^{rh1} \geq b_i^{r1}; \quad i=1, \dots, n; \quad (3.19)$$

для года T^2 :

$$x_i^{r0} + x_i^{r1} + x_i^{r2} - \sum_{j=1}^n a_{ij}^{r02} x_j^{r0} - \sum_{j=1}^n a_{ij}^{r12} x_j^{r1} - \sum_{j=1}^n a_{ij}^{r22} x_j^{r2} - \alpha_i^{r2} z^{r2} - \sum_{s \neq r} x_i^{rs2} + \sum_{s \neq r} x_i^{sr2} - \sum_{h=1}^H v_i^{rh2} + \sum_{h=1}^H w_i^{rh2} \geq b_i^{r2}; \quad i=1, \dots, n. \quad (3.20)$$

Соответствующие ограничения для капиталобразующих отраслей для года T^1 :

$$x_g^{r0} + x_g^{r1} - \sum_{j=1}^n a_{gj}^{r01} x_j^{r0} - \sum_{j=1}^n a_{gj}^{r11} x_j^{r1} - u_g^{r1} - \alpha_g^{r1} z^{r1} - \sum_{s \neq r} x_g^{rs1} + \sum_{s \neq r} x_g^{sr1} - \sum_{h=1}^H v_g^{rh1} + \sum_{h=1}^H w_g^{rh1} \geq b_g^{r1}; \quad g \in G; \quad (3.21)$$

для года T^2 :

$$x_g^{r0} + x_g^{r1} + x_g^{r2} - \sum_{j=1}^n a_{gj}^{r02} x_j^{r0} - \sum_{j=1}^n a_{gj}^{r12} x_j^{r1} - \sum_{j=1}^n a_{gj}^{r22} x_j^{r2} - u_g^{r2} - \alpha_g^{r2} z^{r2} - \sum_{s \neq r} x_g^{rs2} + \sum_{s \neq r} x_g^{sr2} - \sum_{h=1}^H v_g^{rh2} + \sum_{h=1}^H w_g^{rh2} \geq b_g^{r2}; \quad g \in G. \quad (3.22)$$

Соответствующие ограничения для транспортной отрасли ($i = \tau$) для года T^1 :

$$x_\tau^{r0} + x_\tau^{r1} - \sum_{j=1}^n a_{\tau j}^{r01} x_j^{r0} - \sum_{j=1}^n a_{\tau j}^{r11} x_j^{r1} - \alpha_\tau^{r1} z^{r1} - \sum_{k, s, k \neq s, j=1}^n a_{\tau j}^{ks1} x_j^{ks1} - \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^n c_{\tau j}^{rh1} v_j^{rh1} - \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^n c_{\tau j}^{rwh1} w_j^{rwh1} \geq b_\tau^{r1}; \quad (3.23)$$

для года T^2 :

$$x_\tau^{r0} + x_\tau^{r1} + x_\tau^{r2} - \sum_{j=1}^n a_{\tau j}^{r02} x_j^{r0} - \sum_{j=1}^n a_{\tau j}^{r12} x_j^{r1} - \sum_{j=1}^n a_{\tau j}^{r22} x_j^{r2} - \alpha_\tau^{r1} z^{r1} - \sum_{k, s, k \neq s, j=1}^n a_{\tau j}^{ks2} x_j^{ks2} - \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^n c_{\tau j}^{rh2} v_j^{rh2} - \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^n c_{\tau j}^{rwh2} w_j^{rwh2} \geq b_\tau^{r2}. \quad (3.24)$$

Балансовые ограничения по трудовым ресурсам для года T^1 :

$$\sum_{j=1}^n t_j^{r01} x_j^{r0} + \sum_{j=1}^n t_j^{r11} x_j^{r1} \leq T^{r1}; \quad (3.25)$$

для года T^2 :

$$\sum_{j=1}^n t_j^{r02} x_j^{r0} + \sum_{j=1}^n t_j^{r12} x_j^{r1} + \sum_{j=1}^n t_j^{r22} x_j^{r2} \leq T^{r2}. \quad (3.26)$$

Балансовые ограничения по инвестициям за 1-й период:

$$\sum_{j=1}^n k_{gj}^{r01} x_j^{r0} + \sum_{j=1}^n k_{gj}^{r11} x_j^{r1} - f_1(u_g^{r0}, u_g^{r1}) \leq 0; \quad g \in G; \quad (3.27)$$

за 2-й период:

$$\sum_{j=1}^n k_{gj}^{r02} x_j^{r0} + \sum_{j=1}^n k_{gj}^{r12} x_j^{r1} + \sum_{j=1}^n k_{gj}^{r22} x_j^{r2} - f_1(u_g^{r1}, u_g^{r2}) \leq 0; \quad g \in G. \quad (3.28)$$

Ограничения на региональное внешнеторговое сальдо для года T^1 :

$$\sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^n \beta_j^{rh1} v_j^{rh1} - \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^n \gamma_j^{rh1} w_j^{rh1} \geq Q^{r1}; \quad (3.29)$$

для года T^2 :

$$\sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^n \beta_j^{rh2} v_j^{rh2} - \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^n \gamma_j^{rh2} w_j^{rh2} \geq Q^{r2}. \quad (3.30)$$

Ограничения на объемы выпуска и прироста объемов выпуска:

$$x_j^{r0} \leq d_j^{r0}; \quad x_j^{r1} \leq d_j^{r1}; \quad x_j^{r2} \leq d_j^{r2}; \quad j=1, \dots, n. \quad (3.31)$$

Общесистемные ограничения

Ограничения на максимально и минимально допустимые объемы экспорта и импорта (экспортно-импортные квоты):

$$\begin{aligned} q_j^1 &\leq \sum_{h=1}^H \sum_{r=1}^m v_j^{rh1} \leq \bar{q}_j^1; & p_j^1 &\leq \sum_{h=1}^H \sum_{r=1}^m w_j^{rh1} \leq \bar{p}_j^1; \\ q_j^2 &\leq \sum_{h=1}^H \sum_{r=1}^m v_j^{rh2} \leq \bar{q}_j^2; & p_j^2 &\leq \sum_{h=1}^H \sum_{r=1}^m w_j^{rh2} \leq \bar{p}_j^2; \quad j = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (3.32)$$

Ограничения на территориальную структуру конечного потребления населения для года T^1 :

$$z^{r1} - \lambda^{r1} z^1 \geq 0; \quad r = 1, \dots, m; \quad (3.33)$$

для года T^2 :

$$z^{r2} - \lambda^{r2} z^2 \geq 0; \quad r = 1, \dots, m. \quad (3.34)$$

Ограничения внешнеторгового баланса для года T^1 :

$$\sum_{h=1}^H \sum_{r=1}^m \sum_{j=1}^n \beta_j^{rh1} v_j^{rh1} - \sum_{h=1}^H \sum_{r=1}^m \sum_{j=1}^n \gamma_j^{rh1} w_j^{rh1} \geq Q^1; \quad (3.35)$$

для года T^2 :

$$\sum_{h=1}^H \sum_{r=1}^m \sum_{j=1}^n \beta_j^{rh2} v_j^{rh2} - \sum_{h=1}^H \sum_{r=1}^m \sum_{j=1}^n \gamma_j^{rh2} w_j^{rh2} \geq Q^2. \quad (3.36)$$

Целевая функция

$$\delta^1 z^1 + \delta^2 z^2 \rightarrow \max. \quad (3.37)$$

Обозначения

m, n, H — количества, соответственно, регионов, отраслей, сегментов мирового рынка;

G — множество капиталобразующих отраслей.

Переменные:

x_i^{r0} — базовый объем выпуска в i -о отрасли r -го региона;

x_i^{r1} — прирост выпуска в i -й отрасли r -го региона за 1-й период;

x_i^{r2} — прирост выпуска в i -й отрасли r -го региона за 2-й период;

x_i^{rs1} — объем перевозок продукции i -й отрасли из r -го региона в s -й регион в году T^1 ;

x_i^{sr1} — объем перевозок продукции i -й отрасли из s -го региона в r -й регион в году T^1 ;

x_i^{rs2} — объем перевозок продукции i -й отрасли из r -го региона в s -й регион в году T^2 ;

x_i^{sr2} — объем перевозок продукции i -ой отрасли из s -го региона в r -й регион в году T^2 ;

z^{r1} — объем конечного продукта r -го региона в году T^1 ;

z^{r2} — объем конечного продукта r -го региона в году T^2 ;

v_i^{rh1} — объем экспорта продукции i -й отрасли r -го региона в году T^1 по направлению h ;

w_i^{rh1} — объем импорта продукции i -й отрасли r -го региона в году T^1 по направлению h ;

v_i^{rh2} — объем экспорта продукции i -й отрасли r -го региона в году T^2 по направлению h ;

w_i^{rh2} — объем импорта продукции i -й отрасли r -го региона в году T^2 по направлению h ;

a_g^{r0} — базовый объем инвестиций в части затрат капиталобразующей отрасли g региона r ;

a_g^{r1} — объем инвестиций года T^1 в части затрат капиталобразующей отрасли g региона r ;

a_g^{r2} — объем инвестиций года T^2 в части затрат капиталобразующей отрасли g региона r ;

z^1 — объем максимизируемой части конечного продукта в году T^1 ;

z^2 — объем максимизируемой части конечного продукта в году T^2 ;

Параметры:

a_{ij}^{r01} — коэффициенты текущих материальных затрат (расхода продукции отрасли i на единицу валового выпуска в отрасли j), необходимые для обеспечения объема выпуска в году T^1 на базисных мощностях производства в отрасли j региона r ;

a_{ij}^{r02} — коэффициенты текущих материальных затрат (расхода продукции отрасли i на единицу валового выпуска в отрасли j), необходимые для обеспечения объема выпуска в году T^2 на базисных мощностях производства в отрасли j региона r ;

a_{ij}^{r11} — коэффициенты текущих материальных затрат, необходимые для обеспечения в году T^1 прироста объема выпуска отрасли j региона r за 1-й период;

a_{ij}^{r12} — коэффициенты текущих материальных затрат, необходимые для обеспечения в году T^2 прироста объема выпуска отрасли j региона r за 1-й период;

a_{ji}^{r22} — коэффициенты текущих материальных затрат, необходимые для обеспечения в году T^2 прироста объема выпуска отрасли j региона r за 2-й период;

a_{srj}^{ks1} — транспортные затраты региона r на перевозку единицы продукции отрасли j из региона k в регион s в году T^1 ;

a_{srj}^{ks2} — транспортные затраты региона r на перевозку единицы продукции отрасли j из региона k в регион s в году T^2 ;

b_i^{r1} — фиксированная часть конечного потребления i -й отрасли региона r в году T^1 ;

b_i^{r2} — фиксированная часть конечного потребления i -й отрасли региона r в году T^2 ;

c_{vj}^{rvh1} — транспортные затраты на экспорт единицы продукции отрасли j региона r в году T^1 по направлению h ;

c_{vj}^{rvh1} — транспортные затраты на импорт единицы продукции отрасли j региона r в году T^1 по направлению h ;

c_{vj}^{rh2} — транспортные затраты на экспорт единицы продукции отрасли j региона r в году T^2 по направлению h ;

c_{vj}^{rvh2} — транспортные затраты на импорт единицы продукции отрасли j региона r в году T^2 по направлению h ;

t_j^{r01} — коэффициенты затрат труда, необходимых в году T^1 для обеспечения объема выпуска отрасли j региона r на базисных мощностях производства;

t_j^{r11} — коэффициенты затрат труда, необходимых в году T^1 для обеспечения прироста выпуска отрасли j региона r за 1-й период;

t_j^{r02} — коэффициенты затрат труда, необходимых в году T^2 для обеспечения объема выпуска отрасли j региона r на базисных мощностях производства;

t_j^{r12} — коэффициенты затрат труда, необходимых в году T^2 для обеспечения прироста выпуска отрасли j региона r за 1-й период;

t_j^{r22} — коэффициенты затрат труда, необходимых в году T^2 для обеспечения прироста выпуска отрасли j региона r за 2-й период;

k_{gj}^{r01} — коэффициенты капитальных затрат, необходимых для поддержания объема выпуска продукции отрасли j региона r в течение 1-го периода на базисном уровне (в части затрат, приходящихся на долю фондообразующей отрасли g);

k_{gj}^{r02} — коэффициенты капитальных затрат, необходимых для поддержания объема выпуска продукции отрасли j региона r в течение 1-го периода на базисном уровне (в части затрат, приходящихся на долю фондообразующей отрасли g);

k_{gj}^{r11} — коэффициенты капитальных затрат, необходимых для увеличения объема выпуска продукции отрасли j региона r в 1-й период (в части затрат, приходящихся на долю фондообразующей отрасли g);

k_{gj}^{r12} — коэффициенты капитальных затрат, необходимых для увеличения объема выпуска продукции отрасли j региона r в 1-й период и поддержания этих приростов во 2-й период (в части затрат, приходящихся на долю фондообразующей отрасли g);

k_{gj}^{r22} — коэффициенты капитальных затрат, необходимых для увеличения объема выпуска продукции отрасли j региона r во 2-й период (в части затрат, приходящихся на долю фондообразующей отрасли g);

u_g^{r0} — базисный объем инвестиций в части затрат продукции фондообразующей отрасли g региона r ;

$f(u_g^{r0}, u_g^{r1})$ — функция зависимости суммарных инвестиций региона r за 1-й период от значений их базисного объема и достигнутого в году T^1 (для заданного закона их роста);

$f(u_g^{r1}, u_g^{r2})$ — функция зависимости суммарных инвестиций региона r за 2-й период от значений их объема, достигнутого в годах T^1 и T^2 , соответственно (для заданного закона их роста);

α_i^{r1} — доля продукции (услуг) i -й отрасли региона r в максимизируемой части конечного продукта в году T^1 ;

α_i^{r2} — доля продукции (услуг) i -й отрасли региона r в максимизируемой части конечного продукта в году T^2 ;

λ^{r1} — доля r -го региона в максимизируемой части конечного продукта в году T^1 ;

λ^{r2} — доля r -го региона в максимизируемой части конечного продукта в году T^2 ;

β_j^{rh1} — коэффициенты перевода внутренних рублевых основных цен во внешнеторговые рыночные цены (выраженные в долларах) для продукции отрасли j , экспортируемой из региона r в году T^1 по направлению h ;

β_j^{rh2} — коэффициенты перевода внутренних рублевых основных цен во внешнеторговые рыночные цены (выраженные в долларах) для продукции отрасли j , экспортируемой из региона r в году T^2 по направлению h ;

γ_j^{rh1} — коэффициенты перевода внутренних рублевых основных цен во внешнеторговые рыночные цены (выраженные в долларах) для продукции отрасли j , импортируемой регионом r в году T^1 по направлению h ;

γ_j^{rh2} — коэффициенты перевода внутренних рублевых основных цен во внешнеторговые рыночные цены (выраженные в долларах) для продукции отрасли j , импортируемой регионом r в году T^2 по направлению h ;

δ^1, δ^2 — коэффициенты дисконтирования (приведения показателей конечного потребления годах T^1 и T^2 к базисному году), $0 < \delta^i \leq 1, i = 1, 2$;

T^{r1} — ограничения на численность трудовых ресурсов региона r в году T^1 ;

T^{r2} — ограничения на численность трудовых ресурсов региона r в году T^2 ;

Q^{r1} — ограничения на величину сальдо торгового баланса региона r в году T^1 ;

Q^{r2} — ограничения на величину сальдо торгового баланса региона r в году T^2 ;

$d_j^{r0}, d_j^{r1}, d_j^{r2}$ — ограничения на значения переменных объемов выпуска базисного года и приростов объемов выпуска отрасли j региона r в 1-й и 2-й периоды, соответственно;

V_j^1, \bar{V}_j^1 — максимально и минимально допустимые объемы экспорта продукции отрасли j в году T^1 ;

V_j^2, \bar{V}_j^2 — максимально и минимально допустимые объемы экспорта продукции отрасли j в году T^2 ;

W_j^1, \bar{W}_j^1 — максимально и минимально допустимые объемы импорта продукции отрасли j в году T^1 ;

W_j^2, \bar{W}_j^2 — максимально и минимально допустимые объемы импорта продукции отрасли j в году T^2 ;

Q^1 — ограничение на величину сальдо торгового баланса страны в году T^1 ;

Q^2 — ограничение на величину сальдо торгового баланса страны в году T^2 ;

Ниже приведена блок-схема регионального блока двухпериодной межрегиональной межотраслевой модели (см. рис. 3.1)

Функционал модели	Номер ограничения	Переменные выпуска продукции				Переменные валовых инвестиций в основной капитал				Конечное потребление		Межрегиональные связи				Внешнеторговые связи				Права часть ограничения
		базового года		прирост		базового года		прирост		2010 г.	2020 г.	2010 г.		2010 г.		2020 г.				
		x_j^0	x_j^1	x_j^1	x_j^2	u_j^0	u_j^1	u_j^1	u_j^2	x_i^{01}	x_i^{02}	x_i^{11}	x_i^{12}	v_i^{01}	v_i^{02}	v_i^{11}	v_i^{12}	w_i^{01}	w_i^{02}	
Ограничения на внешне-торговое сальдо периода	2010									z^1	z^2									
	2020									z^1	z^2									
Ограничения по ценам по отрасли	2010																			
	2020																			
Ограничения по инвестициям	2010																			
	2020																			
Ограничения на внешне-торговое сальдо периода	2010																			
	2020																			
Ограничения на внешне-торговое сальдо периода	2010																			
	2020																			

Рис. 3.1. Структура регионального блока двухпериодной межрегиональной межотраслевой модели экономики России

Глава 4. Применение ОМММ в прогнозировании территориальных пропорций национальной экономики

Исследования, связанные с применением ОМММ в активном анализе, прогнозировании и обосновании динамики территориальных пропорций национальной экономики, охватывают три исторических периода: 1) функционирование плановой экономики со второй половины 1960-х гг. и до распада СССР; 2) переходная экономика России в 1990-х гг.; 3) начало воссоздания стратегического планирования и долгосрочного прогнозирования в Российской Федерации. Особенности применения ОМММ в указанных периодах рассматриваются, соответственно, в параграфах 4.1, 4.2, 4.3.

По мере накопления опыта практической работы с ОМММ формировалось убеждение, что на стадии прогнозных и предплановых исследований модель должна быть ориентирована не столько на определение единственного наилучшего варианта развития, а в большей мере на познание механизма межотраслевых и межрегиональных взаимодействий, количественную оценку взаимовлияний основных факторов, выявление закономерностей движения к оптимуму системы территориальных пропорций. Для этого необходимо проводить многовариантные расчеты при изменении ряда условий и ключевых параметров, использовать оптимальные оценки продукции и ресурсов и другие структурные показатели модельных решений для поиска направлений совершенствования территориальных пропорций.

В последующем основным методом работы с моделями для исследования стратегических проблем становится сценарный подход, интегрирующий базовые гипотезы, расчеты вариантов при изменяющихся целевых установках, внешних условиях, проектируемых институциональных реформ и т.д. Типовые задачи, решаемые с помощью ОМММ, и организация эксплуатации ОМММ систематизированы в [8, гл. 5, 6].

Параллельно с использованием ОМММ как инструмента целенаправленного прогнозирования и планирования формировались новые направления исследований, ориентированные на расширение экономической самостоятельности регионов и согласование принятия решений на национальном и региональном уровнях. Этим направлениям моделирования многорегиональных систем посвящаются части II и III.

4.1. Экономико-математические исследования территориальных проблем СССР

Экспериментальные расчеты оптимальных вариантов территориальных пропорций народного хозяйства СССР. Первые экспериментальные расчеты по ОМММ были выполнены в ИЭиОПП на десятилетний период (1966–1975 гг.) в разрезе 16 отраслей материального производства и 10 экономических зон СССР. Значительное внимание уделялось интерпретации получаемых результатов, оценке влияния погрешностей в исходной информации и возможных изменений результатов при уточнении информации. Подробный анализ результатов дан в [4, с. 117–191]. Был выявлен ряд устойчивых особенностей оптимальных решений, в частности значительная дифференциация темпов роста большинства отраслей по зонам и разных отраслей в пределах каждой зоны.

Наиболее высокие темпы роста валового продукта получены по восточным районам Российской Федерации: по Западной Сибири — в 3,4 раза, по Восточной Сибири — в 2,6 раза, по Дальнему Востоку — в 2,8 раза. Только в этих регионах трудовые ресурсы оказались дефицитными. Значительно увеличивался удельный вес Сибири и Дальнего Востока по электроэнергетике, топливной промышленности, черной и цветной металлургии, лесной промышленности. Для Казахстана и Средней Азии прогнозировалось сильное развитие черной металлургии, машиностроения, пищевой промышленности. В европейской части страны (особенно в зоне Юга) — химической и легкой промышленности. Прогнозировалось значительное увеличение межрегионального обмена продукции с Востока на Запад — электроэнергии, топлива, черных и цветных металлов, лесоматериалов, а с Запада на Восток — потоков продукции машиностроения, легкой и пищевой промышленности.

В целом прогнозы экономического роста до 1975 г. оказались чересчур оптимистическими (впрочем, как и большинство других долгосрочных прогнозов, сделанных в начале и середине 1960-х гг.). В го-

раздо большей степени оправдались прогнозы структурных сдвигов в системе территориальных пропорций народного хозяйства.

Некоторые результаты оптимизационных расчетов, воспринимавшиеся сначала как неверные или случайные, позднее получили признание. К ним можно отнести рекомендации относительно оптимального интервала превышения темпов развития Сибири и Дальнего Востока по сравнению со среднесоюзными, целесообразности более узкой специализации ряда регионов, возможности опережающего развития добывающей промышленности в Сибири и необходимости ограничения здесь темпов развития легкой промышленности и т.д. Был обнаружен ряд эффектов межотраслевых и межрегиональных взаимодействий, как, например, целесообразность уменьшения инвестиций в некоторых регионах при увеличении инвестиций в целом по народному хозяйству. Было установлено также, что увеличение трудовых ресурсов на Дальнем Востоке или в Восточной Сибири оказывает положительное влияние на экономику соседнего региона.

С помощью ОМММ выполнялся также экономико-математический анализ сложившейся системы территориальных пропорций СССР по состоянию на 1966 г. (год разработки республиканских и региональных межотраслевых балансов). Итоги проведенного анализа изложены в [12, с. 282–297]. Наиболее важным результатом анализа является, на наш взгляд, определение оптимальных оценок производственных мощностей (предельных объемов производства) в разрезе отраслей и регионов, ранжирующих узкие места в развитии и размещении производства и выявляющих наиболее эффективные направления ближайших капиталовложений для расширения производства.

Исследования территориальных пропорций народного хозяйства. Обоснования основных направлений изменения территориальных пропорций и контуров размещения производительных сил страны осуществлялись по обновляющейся исходной информации на 10–15-летние периоды (до 1985, 1990, 2000 гг.). Аналитические доклады по результатам расчетов представлялись Госпланам СССР и РСФСР, использовались при подготовке Комплексной программы научно-технического прогресса СССР и Комплексного прогноза социально-экономического и научно-технического развития СССР [18].

Расчеты по ОМММ проводились на 1976–1990 гг. в формате 16 отраслей и 11 зон, а в последующем — в разрезе 22 отраслей и 5–8 макроэкономических зон. В экспериментальном порядке использовалась

и более детализированная модель, включавшая 48 отраслей. Результатом тесного сотрудничества института с плановыми органами стало включение ОМММ в состав второй очереди автоматизированной системы плановых расчетов (АСПР) Госплана СССР и перевод модельно-программного комплекса на ЭВМ Главного вычислительного центра Госплана СССР.

При моделировании территориальных пропорций на перспективу главное внимание уделялось проблемам взаимозависимости народнохозяйственных и региональных факторов в экономике СССР. В методологии исследования акцент был сделан на применение метода сценариев. Это стало возможным благодаря переводу ОМММ на ЭВМ третьего поколения и резкому увеличению возможностей расчета различных вариантов на одной базе данных. Большинство сценариев было посвящено анализу ситуаций, возникающих в связи с гипотезами о динамике эффективности основных производственных факторов (предметов труда, рабочей силы, капитальных вложений) и темпов роста производственных инвестиций, то есть в основном «разыгрывались» сценарии процесса интенсификации общественного производства.

Российская Федерация в общесоюзной экономике. Новизна этого направления исследований, проводимых в сотрудничестве с Госпланом РСФСР, заключалась в методологии *двухзонального межотраслевого анализа* (зона I — РСФСР, зона II — остальные союзные республики). Обычно проводимые сопоставления с СССР (в целом) сильно сглаживали особенности крупнейшей республики (в полтора раза превышающей суммарные экономические показатели остальных 14 союзных республик). Двухзональный анализ, наоборот, концентрирует внимание на особенностях экономики России, взаимодополняемости и взаимозависимости экономик двух зон. В двухзональном анализе использовались все типы межрегиональных моделей.

По расчетам межзонального межотраслевого баланса Россия, например, в 1972 г. «вывезла» в другие республики 12 % своего валового продукта, 10,2 % трудовых ресурсов, 13,1 % основного капитала. Однако для второй зоны значимость этого «ввоза» была существенно выше: по валовому продукту — 17,8 %, по основному капиталу — 20 %. В результате межзонального обмена (с учетом межотраслевых связей) чистый вывоз основного капитала из РСФСР составил 0,3 млрд руб., а чистый «ввоз» трудовых ресурсов — 0,8 млн годовых работников. В последующие годы экономическая взаимозависимость двух зон СССР

усиливалась, что находило отражение в опережающем росте межзональной торговли и увеличении объемов косвенного перераспределения основного капитала и трудовых ресурсов. Результаты анализа межзональных взаимодействий обобщены в монографии [19].

Расчеты, проводившиеся по модели экономического взаимодействия регионов (МЭВР) для двух зон, показали, что переход к межреспубликанской торговле по ценам равновесия изменит отраслевые пропорции и даст увеличение доли Российской Федерации в общесоюзном фонде потребления. Эти и другие результаты МЭВР приобрели новый смысл после того, как Россия стала суверенным государством.

Регионы в системе народного хозяйства. Как экономический объект регион имеет двойственный характер. С одной стороны, он представляет собой относительно самостоятельную экономическую подсистему со своими внутренними условиями и особыми экономическими интересами. С другой стороны, регион (особенно субъект Федерации, федеральный округ, макрорегион) — часть национальной экономики, и его функционирование обусловлено общегосударственной системой институтов и политики, взаимодействиями с другими регионами. Двойственному характеру региона соответствует и два подхода к его исследованию: первый — с акцентом на внутреннюю структуру, второй — на анализ взаимодействий с другими регионами в системе народного хозяйства.

Наиболее полные исследования регулярно проводились на основе ОМММ по Сибири [20]. Рассматривались сценарии развития: инерционный, центральный (соответствующий наиболее вероятным гипотезам развития экономики СССР в целом), — и сценарии, соответствующие возможным ситуациям в развитии сибирской экономики, которые однозначно предвидеть невозможно. Моделирование сценариев выявило ряд устойчивых динамических и структурных соотношений оптимального развития экономики СССР и Сибири. Для условий 1980-х гг. темп прироста национального дохода Сибири должен был быть в 1,15–1,3 раза выше среднесоюзного темпа. При этом отклонения (в различные стороны) от оптимального темпа роста сибирской экономики приводили к неодинаковым последствиям: при повышении его сверх оптимального общесоюзный темп экономического роста замедлялся незначительно; при значении же темпа роста экономики Сибири ниже оптимального кривая общесоюзного темпа снижалась более круто (рис. 4.1). Такая реакция общесоюзной экономики на изменение темпа развития Сибири весьма характерна для механизма межрегиональных экономических взаимодей-



Рис. 4.1. Взаимозависимость среднегодовых темпов прироста производства Сибири и СССР

ствий в СССР. Уменьшение темпа прироста производства чистой продукции (валового продукта) в Сибири почти сразу отражалось на масштабах развития отраслей ее общесоюзной специализации. Но поскольку уменьшение объемов производства продукции топливной, лесной, химической промышленности, металлургии в Сибири не могла быть полностью компенсировано увеличением производства в других регионах, это в конечном счете должно было приводить к существенному снижению темпов роста общесоюзной экономики.

Второй не менее важный вывод состоял в необходимости повышения доли Сибири в инвестиционном фонде страны [21, 24].

Аналогичные исследования с использованием ОМММ проводились по Дальнему Востоку и Уралу с участием экономических институтов ДВО и УрО АН СССР.

4.2. Экспериментальные исследования переходной экономики

К середине 1990-х гг. ОМММ снова была приведена в рабочее состояние для изучения происходящих изменений пространственной структуры переходной экономики. Вся Российская Федерация была разделена на пять макроэкономических зон: Европейская часть, Урал, Западная Сибирь, Восточная Сибирь, Дальний Восток. Использовался

статический вариант модели с выделением 30 отраслей (без разделения производства на старых и новых мощностях), аналитические расчеты проводились на 1993 г.

Для расчетов по модели необходимо иметь по каждому региону матрицу «затраты—выпуск», объемы производства, занятости и основного капитала по отраслям, объемы инвестиций и потребления населения, вывоза-ввоза и экспорта-импорта, товарные курсы доллара по экспортируемой и импортируемой продукции. На базе действующей статистики и при минимуме экспертных оценок такой информационный массив был получен для 1990 г. Актуализация этого массива проводилась с применением различных косвенных методов оценки показателей. Базисные решения модели соответствуют 1993 г.

Основу информационной базы модели составил отчетный межотраслевой баланс России за 1990 г., рассчитанный в ценах конечного потребления, и межотраслевые балансы 1987 г. для России и всех восточных экономических районов страны — от Урала до Дальнего Востока. Генерация региональных межотраслевых балансов 1993 г. осуществлялась в несколько этапов. На первом этапе была расширена отраслевая классификация исходного 18-отраслевого баланса 1990 г. и построен межотраслевой баланс России за 1990 г. в 30-отраслевой классификации.

Следующим этапом стало формирование межотраслевых балансов 1990 г. пяти макрзон: Европейской части России, Урала, Западной Сибири, Восточной Сибири и Дальнего Востока. Для этого была расширена классификация исходных 18-отраслевых балансов экономических районов 1987 г., и в соответствии с динамикой производства за 1988–1990 гг., представленной в соответствующих статистических формах, осуществлен переход к 1990 г. Так как в течение 1988–1990 гг. имели место изменения в ценах конечного потребления, умножение столбцов баланса 1987 г. на темпы роста по отраслям не дало полного соответствия отчетному межотраслевому балансу за 1990 г. В некоторых отраслях объемы производства, измеренные в ценах 1987 г., оказались меньше фактических данных баланса 1990 г. Деформированной получилась и структура добавленной стоимости. Это произошло из-за более высокого темпа роста заработной платы по сравнению с валовым общественным продуктом. Поэтому последним шагом в построении межотраслевых балансов пяти макрзон стала дополнительная корректировка полученных расчетных балансов 1990 г. с учетом изменений в ценах и в структуре добавленной стоимости за 1988–1990 гг.

Генерация межотраслевых региональных балансов 1993 г. шла от сформированного пятирегионального информационного массива на 1990 г. Показателями, на основе которых осуществлялся переход к 1993 г., были индексы динамики производства и потребления в физическом выражении. В отношении используемых в производстве технологий была принята гипотеза об отсутствии существенных изменений. Региональная структура фонда конечного потребления определялась из отчетов о территориальной структуре потребительских расходов в 1993 г. Объемы капитальных затрат рассчитывались на основе наличной статистики о динамике капитальных вложений и изменениях в их структуре по фондообразующим отраслям. Оценка изменений в экспортно-импортных связях при переходе от 1990 г. к 1993 г. была сделана по материалам, подготовленным в рамках Программы ЕС Тасис «Анализ тенденций развития регионов России в 1992—1995 гг.» и по публикуемым материалам.

В результате согласования перечисленных статистических материалов и гипотез, проведения тестовых расчетов были сформированы межотраслевые балансы пяти рассматриваемых макрзон за 1993 г., по которым были рассчитаны показатели, используемые в модели: коэффициенты материалоемкости, трудоемкости, капиталоемкости производства, общий объем трудовых ресурсов, основного капитала, отраслевая и территориальная структура фонда непроемленного потребления продукции, выпуск продукции, показатели межрегионального обмена, экспорта и импорта в разрезе 30 отраслей и 5 регионов России.

Базисные решения модели имитируют состояние экономики России в 1993 г., то есть воспроизводят и, в какой-то степени, реконструируют эти состояния. Реконструируют, потому что значительная часть фактической информации о положении дел практически отсутствовала. В наибольшей степени это касается показателей межрегионального обмена. Рассчитанные посредством ОМММ показатели обмена в базисных решениях имеют правдоподобный характер (табл. 4.1): европейская часть страны выступает поставщиком продукции машиностроения, легкой и пищевой промышленности, сельского хозяйства; с Урала везутся продукты нефтепереработки, металлургии и машиностроения; Западная Сибирь — основной поставщик нефти и газа, Восточная Сибирь — электроэнергии и продуктов лесной промышленности, Дальний Восток — рыбной промышленности. Сальдо межрегионального обмена в ценах 1990 г. положительно только для европейской части, особенно велико пассивное сальдо в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке.

Таблица 4.1

Расчетное сальдо фактического межрегионального обмена в 1993 г.
(млрд руб., цены 1990 г.)

Отрасль	Европейская часть	Урал	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток
1. Электро- и теплоэнергетика	0,822	-0,414	-0,750	0,723	-0,381
2. Нефтедобыча	-0,755	-0,228	2,323	-0,759	-0,581
3. Нефтепереработка	-2,052	2,712	-1,143	0,316	0,168
4. Газовая	-2,850	-1,704	4,569	-0,014	-0,002
5. Прочая топливная	0,097	-0,504	0,144	0,187	0,076
6. Руды черных металлов	0,050	-0,284	-0,012	0,250	-0,004
7. Черные металлы	-1,413	2,149	-0,260	-0,238	-0,238
8. Руды цветных металлов	-0,028	-0,009	0,003	0,003	0,031
9. Цветные металлы	-0,554	0,471	-0,019	0,013	0,089
10. Основная химия	0,096	0,153	0,156	0,058	-0,463
11. Нефтехимия	0,047	0,124	-0,040	0,035	-0,166
12. Машиностроение	5,513	0,874	-2,877	-1,674	-1,836
13. Лесозаготовка	-0,060	0,029	-0,008	0,031	0,008
14. Деревообработка	0,016	-0,027	-0,118	0,101	0,028
15. Целлюлозно-бумажная	0,009	-0,031	-0,148	0,108	0,062
16. Текстильная	2,281	-1,129	-0,631	0,061	-0,582
17. Швейная	0,989	-0,104	-0,296	-0,262	-0,327
18. Прочая легкая	1,351	-0,263	-0,774	-0,100	-0,214
19. Мясомолочная	-0,325	0,177	0,377	0,089	-0,318
20. Рыбная	0,169	-0,450	-0,236	-0,209	0,726
21. Прочая пищевая	6,681	-1,337	-2,550	-1,714	-1,080
22. Мукомольная и крупяная	-0,218	0,524	-0,145	-0,164	0,003
23. Растениеводство	3,964	-0,998	-0,472	-0,820	-1,674
24. Животноводство	3,118	-0,171	-0,534	-0,931	-1,482
Итого	20,867	-1,269	-6,040	-5,098	-8,460

Более глубокий анализ межрегиональных экономических взаимодействий, представлен в параграфе 8.1. Результаты этого анализа буквально переворачивают сложившееся представление о роли макрорайонов в экономике России (см. [21]).

4.3. Долгосрочное прогнозирование развития экономики России в разрезе макрорегионов¹

Современный этап исследований пространственного развития экономики России был инициирован в 2003 г. заказом Минтранса РФ на разработку долгосрочного прогноза экономического развития страны и системы транспортно-экономических балансов для обоснования транспортной стратегии развития России. Еще раньше был осуществлен переход к ОМММ в разрезе федеральных округов. Учитывая особую роль Тюменской области вместе с Ямало-Ненецким и Ханты-Мансийским автономными округами, которая по экономико-географической классификации входит в Западную Сибирь, а по новому административному делению — в Уральский федеральный округ, она представлена в модели отдельным регионом. В проведенных тогда расчетах использованы полудинамические модели с периодом планирования 10 и 15 лет. Эти модели использовались в режиме прямой рекурсии: сначала на период 2001–2010, затем 2011–2025 гг.

Основной задачей разработки оптимистического варианта прогноза было рассмотрение возможных последствий удвоения валового внутреннего продукта страны к 2010 г. по сравнению с 2000 г. и последующего удвоения к 2025 г. в части изменения характера межрегиональных пропорций и отношений (на уровне федеральных округов). Технологически задача удвоения ВВП за рассматриваемый период не представляется неразрешимой — ее решение будет означать лишь, что экономика страны должна в 2010 г. немного превзойти уровень 1990 г., причем в определенном смысле находясь в более благоприятных условиях, будучи не обременена необходимостью осуществления в прежних масштабах военных расходов и явно выраженным неэквивалентным товарообменом с бывшими союзными республиками и рядом стран третьего мира и бывшего соцлагеря и, обладая практически неизвестными ранее нововведениями, уже играющими очень важную роль в экономике. Специфика переходной экономической модели России, изменившийся характер участия страны в мировом разделении труда делают задачу удвоения ВВП за десятилетний период чрезвычайно сложной. Вместе с тем, учитывая отставание среднегодовых темпов роста ВВП в 2001–2003 гг. от уровня, приводящего к удвоению ВВП за указанный десятилетний период, мы

¹Раздел подготовлен совместно с Ю.С. Ершовым, Н.М. Ибрагимовым, Л.В. Мельниковой.

сочли целесообразным и обеспечивающим большую реалистичность получаемых результатов рассмотреть последствия удвоения ВВП, используемого на нужды потребления и накопления.

Точные количественные оценки параметров экономического развития были невозможны даже в плановой экономике, в том числе и при расчетах на более близкую перспективу, чем рассматриваемая в этом параграфе. Поэтому полученные показатели отраслевых темпов роста как в целом по стране, так и по отдельным округам следует рассматривать как один из очень большого разнообразия потенциально возможных результатов, не противоречащих тем исходным гипотезам, которые были заложены в основу формирования оптимистического прогноза.

К 2010 г. радикальных изменений в территориальной структуре производства (в разрезе федеральных округов) не произойдет. Основная доля прироста выпуска будет приходиться на действующие к началу рассматриваемого периода предприятия, прежде всего, вследствие замены и модернизации активной части их производственных фондов. Строительства новых крупных предприятий обрабатывающей промышленности, ввод в действие которых мог бы изменить территориальную структуру производства в той или иной отрасли, в 2001–2003 гг. не ведется. Наиболее заметными могут быть изменения территориальной структуры в добыче отдельных видов топлива — нефти, газа и угля, но и их в период до 2010 г. нельзя назвать радикальными.

Отраслевая дифференциация темпов роста производства в рассматриваемой перспективе будет определяться следующими главными причинами:

- изменением структуры потребления населения — основной составляющей конечного продукта. Рост реальных доходов приводит к увеличению доли расходов прежде всего на продукцию машиностроения, изделия легкой промышленности, на услуги пассажирского транспорта и отдельные виды нематериальных услуг, к относительному снижению затрат на продукцию пищевой промышленности и сельского хозяйства, энергию;
- изменением в составе конечного продукта соотношения между потреблением и валовыми инвестициями. Задача обеспечения высоких темпов экономического роста требует опережающих темпов роста инвестиций, особенно в активную часть производственного аппарата и преимущественно за счет собственных ресурсов (возможность бурного притока прямых иностранных инвестиций в нашу экономику исключалась);
- изменением показателей текущих материальных затрат, прежде всего, снижением прямых показателей энерго- и топливоёмкости, метал-

лоемкости. По этим позициям показателей прямой материалоемкости предусматривалось снижение затрат в среднем по народному хозяйству от 10 до 15 %. Наиболее существенными факторами снижения прямых затрат на 1 руб. производимой продукции предполагались изменение ее ассортимента в направлении повышения удельного веса товаров большей глубины переработки, а также уменьшение прямых затрат при повышении степени загрузки имеющихся производственных мощностей;

- изменением соотношений между производством и экспортом, потреблением и импортом. Это, прежде всего, повышение роли внутреннего рынка для тех отраслей, рост экспорта продукции которых (как абсолютный так и относительный) в 1990-х гг. был вызван резким сокращением внутреннего спроса (топливо, черные и цветные металлы, химическая продукция). В расчетах предусматривалось также некоторое ослабление зависимости от импорта по таким позициям как машиностроение, легкая и пищевая промышленность, продукция сельского хозяйства, но и в 2010 г. роль импорта здесь остается достаточно высокой;
- общим изменением соотношения между экспортом и импортом в направлении сокращения разрыва между ними. Уменьшение положительного сальдо торгового баланса с 40–50 до 20–25 млрд долларов не препятствует возможности выполнения обязательств по внешнему долгу и вместе с тем является серьезным реальным источником увеличения используемого в целях внутреннего потребления и накопления конечного продукта.

Либеральный характер внешнеэкономических связей и достаточно слабая роль государства в регулировании отраслевых и территориальных пропорций позволяют сформулировать для большинства отраслей относительно автономные концептуальные положения, которые в совокупности своей были заложены в основу разработки народнохозяйственного прогноза в территориальном разрезе.

Синтез отраслевых прогнозов, для ряда отраслей — их территориальная разверстка, балансировка показателей производства и потребления, ввоза и вывоза, экспорта и импорта, частичная оптимизация территориальных пропорций, расчет значений изменения прямых материальных затрат и трудоемкости, позволяющих обеспечить двукратный рост используемого ВВП, осуществлялись на базе ОМММ в разрезе 8 регионов и 27 отраслей.

Целевые установки и сценарные условия, в концентрированном виде выражающие основные гипотезы и результаты расчетов, заключаются в следующем.

Общэкономические:

1) устойчивость территориальной структуры населения, сокращение доли трудоспособного населения к концу рассматриваемого периода, но увеличение уровня занятости вследствие высоких темпов экономического роста;

2) удвоение использованного ВВП как за 1-й (2001–2010 гг.), так и за 2-й (2011–2025 гг.) прогнозные периоды;

3) резкое наращивание объемов инвестиций, обеспечивающее ускорение экономического роста: к 2025 г. доля инвестиций в использованном ВВП должна достигнуть трети, тогда как в 2000 г. этот показатель составлял менее 20 %. Как следствие — 3-4-кратный рост объемов производства продукции инвестиционных отраслей (машиностроение, строительство, промышленность строительных материалов) в 1-й период и 2-2,5-кратный рост этих объемов во 2-й прогнозный период;

4) постепенное преодоление ресурсодобывающей ориентации экономики. Особенно резкие структурные сдвиги должны произойти во 2-й прогнозный период: суммарный стоимостной объем добычи природных ресурсов растет менее чем на 20 %, быстро наращиваются объемы переработки и особенно быстро (более чем в 2 раза) — объемы нематериальных услуг;

5) лидерование в экономическом росте Дальнего Востока, имеющего весьма низкие стартовые позиции, и регионов европейской части страны, в которых накоплен потенциал перерабатывающих отраслей, достаточный для развития динамичных высокотехнологичных производств. Сибирский и, особенно, Уральский федеральные округа, по-видимому, не смогут до конца рассматриваемого периода полностью преодолеть ресурсную зависимость и должны будут развиваться более низкими темпами;

6) постепенное увеличение темпов роста объемов среднелюдиного потребления населения: в 1-м прогнозном периоде объемы среднелюдиного потребления вырастут заметно меньше чем в 2 раза, во 2-м — более чем в 2 раза. В потреблении населения (домашних хозяйств) будет резко увеличиваться доля продукции отечественного машиностроения и отечественной легкой промышленности, роль импорта продукции пищевой промышленности будет продолжать оставаться значительной;

7) двукратное (к 2025 г.) сокращение сальдо торгового баланса, создающее более благоприятные условия для притока масштабных иностранных инвестиций. При этом оборот внешней торговли растет

с тем же темпом, что и экономика в среднем; в экспорте быстро снижается доля первичных природных ресурсов, в импорте растет доля высокотехнологичных средств производства, прежде всего, для машиностроения;

8) рост производительности труда в 3,3 раза, сокращение энергоемкости ВВП (в измерении тунт./руб.) более чем на половину — в целом за период.

Отраслевые:

9) для нефтегазовой промышленности — значительное увеличение объемов добычи в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах при сохранении приоритета Уральского федерального округа (Тюменская область с автономными округами);

10) для угольной промышленности — усиление позиций Сибирского федерального округа (Кузнецкий, Канско-Ачинский бассейны) и значительное увеличение поставок продукции на запад страны;

11) для черной и цветной металлургии — устойчивость территориальной структуры производства (не предусматривается строительство новых комбинатов), переориентация на внутренний спрос (на нужды отечественного машиностроения, транспорта), заметное увеличение качества продукции;

12) для машиностроения — существенное увеличение технико-экономических характеристик продукции, обеспечение растущих внутренних потребностей в высокотехнологичном оборудовании;

13) для лесопромышленного комплекса — радикальное увеличение глубины переработки, выход на новые внешние рынки, преодоление сложившейся модели внешней торговли («мы им лес, они нам продукты его переработки»);

14) для сельского хозяйства — нереалистичность заметного увеличения объемов производства в большинстве федеральных округов (кроме, возможно, Южного) без серьезной государственной поддержки, не предусмотренной в этих вариантах прогноза.

Прогнозируются следующие изменения территориальных пропорций производства.

Наряду с Дальневосточным федеральным округом ускоренный по сравнению со среднероссийским рост и, следовательно, устойчивое увеличение доли в совокупном производстве имеет место в Северо-Западном и Южном федеральных округах. Если на Дальнем Востоке усиливаются позиции практически всех отраслей (по доле в общероссийском

производстве), кроме цветной металлургии, имеющей в этом регионе гипертрофированно большую долю, лесной и деревообрабатывающей промышленности и сельского хозяйства, то усиление позиций Северо-Западного округа обусловлено нефтегазовым комплексом, машиностроением и строительством, а Южного округа — нефтепереработкой, машиностроением, легкой и пищевой промышленностью, сельским хозяйством.

Устойчивое снижение доли в совокупном производстве имеет место только для Уральского федерального округа. Причем обусловлено это, главным образом, низкой динамикой Тюменской области, что в свою очередь связано с низкими темпами роста, а затем и падением объемов добычи нефти и газа.

В остальных трех федеральных округах: Центральном, Приволжском и Сибирском, — динамика имеет точки перегиба. Сначала эти округа несколько сдают свои позиции (по доле в совокупном производстве), а затем усиливают их. Причем позиции Сибирского и, особенно, Центрального округа к концу периода оказываются более сильными, чем в начале.

Сибирь, включающая Сибирский федеральный округ и Тюменскую область, сдает свои позиции по доле в совокупном производстве: на 0,8 процентных пункта до 2010 г. и еще на 1,7 процентных пункта до 2025 г. Объясняется это заметным ослаблением позиции Сибири в топливно-энергетическом и металлургическом комплексах. В таких отраслях, как химическая промышленность, машиностроение, лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность, промышленность строительных материалов, легкая промышленность позиции Сибири усиливаются. По-видимому, ускоренное развитие этого региона, стратегическая необходимость которого очевидна, начнется во 2-й четверти века.

В изменении размещения производства отдельных отраслей наблюдаются различные тенденции. Преобладает тенденция к более равномерному размещению (ослабляются позиции изначально более сильных регионов и укрепляются позиции слабых регионов). Она характерна для нефтепереработки, машиностроения, промышленности строительных материалов, металлургии, особенно черной. Противоположная тенденция к концентрации производства характерна для угольной промышленности и, в какой-то степени, для сельского хозяйства. Для остальных отраслей ни одна из этих тенденция выпукло не проявляется.

Моделирование пространственного социально-экономического развития экономики России. Исследования проводятся по заказу Минэкономразвития и торговли РФ (2005–2007 гг.) с целью выявить и количественно оценить взаимодействия макроэкономических и пространственных факторов экономического роста.

Пространственному анализу предшествовал точечный. В расчетах применялась трехпериодная межотраслевая (точечная) модель: 2005–2010–2015–2020. Были разработаны два варианта экономического прогноза — с условными названиями «умеренно-оптимистический» и «оптимистический». Эти варианты имеют как общие, одинаковые предпосылки о значениях исходных параметров, так и количественно различающиеся.

Ограничения на численность занятых. В качестве исходного показателя численности занятых в экономике в 2005 г. была принята оценка в объеме 67,5 млн человек. Это немного больше официальных статистических данных. Превышение обусловлено тем, что по многим экспертным оценкам, регистрируемая статистикой численность занятых меньше фактически работающих. Кроме того, имеет место определенное противоречие между учитываемыми статистикой показателями выпуска и численностью занятых, обеспечивающих этот выпуск. В частности, занятыми, по методологии МОТ, считаются лишь те, кто производит товарную продукцию, в то время как при определении выпуска в сельскохозяйственном производстве учитывается и вся продукция натурального сектора.

Прогнозируемая на перспективу численность занятых — 68 млн человек в 2010 г., 67,2 млн в 2015 г. и 66,6 млн в 2020 г. — также превышает те расчетные лимиты, которые формально вытекают из прогнозируемой динамики численности населения и его возрастной структуры. При обосновании такого изменения численности занятых использовалась гипотеза о будущих позитивных переменных, прежде всего, в условиях труда и тех требованиях, которые предъявляют работодатели к своим работникам, что существенно расширит рынок потенциальной рабочей силы. Кроме того, при обосновании такого прогноза закладывались, хотя и медленные, но позитивные перемены в части снижения смертности в трудоспособном возрасте.

Прогноз численности занятых в экономике не варьировался при переходе от одного варианта к другому.

Динамика производительности труда. Для «умеренно-оптимистического» варианта была принята гипотеза о постепенном снижении

нии темпов роста производительности труда, что соответствует ретроспективной динамике этого показателя. При обосновании такой тенденции на перспективу учитывается тот факт, что современная динамика производительности труда, особенно при анализе в отраслевом разрезе, не имеет прямой связи с характером и темпами технологических изменений. Как правило, производительность труда растет наиболее быстро в тех отраслях, спрос на продукцию которых возрастает самыми высокими темпами, и напротив, отрасли с относительно низкими темпами роста выпуска характеризуются и низкими темпами роста производительности труда (в предыдущей пятилетке к таким отраслям относятся, прежде всего, энергетика, лесная и деревообрабатывающая промышленность).

Одним из перспективных подходов к прогнозированию динамики показателей производительности труда, особенно на долгосрочную перспективу, может быть сопоставление современных отраслевых показателей производительности с показателями крупных развитых стран. Для тех отраслей, на уровень производительности труда в которых не оказывают существенного влияния специфические неустраняемые факторы, в частности, климатические условия, местоположение и условия «залегания» природных ресурсов (сельского и лесного хозяйства, лесозаготовительной промышленности, других добывающих отраслей) логично предположить возможность более высоких темпов роста производительности в случае, когда разрыв между современными показателями производительности в России и других странах максимален, что свидетельствует о наибольших резервах ее роста по мере обновления производственного аппарата. На настоящей стадии исследования реализовать такой подход не представлялось возможным. Это отдельная большая работа, осложненная неполной сопоставимостью российских и иностранных статистических данных, требующая выработки специальной методологии.

Капиталоемкость производства. Показатели капиталоемкости, как в части поддержания уже достигнутых объемов выпуска, так и требующиеся для обеспечения прироста, в настоящее время не могут быть рассчитаны чисто формальными методами — исходя из отраслевого распределения фондов и сроков их службы (норм амортизационных отчислений). Такой прием используется лишь для самой первоначальной оценки. Главная причина ограниченных возможностей формальных методов — несоответствие учетной первоначальной стои-

мости основного капитала их реальной восстановительной рыночной стоимости. Вследствие использования различных коэффициентов переоценки отраслевая структура основных фондов в последние годы изменялась очень быстро, что мало соответствовало динамике инвестиций, коэффициентам выбытия и ввода. Поэтому процесс расчета коэффициентов капиталоемкости был итеративным, после реализации межотраслевой модели и анализа получаемой отраслевой структуры инвестиций производилась коррекция отраслевых показателей, чтобы обеспечить более правдоподобные и объяснимые показатели отраслевой структуры.

Сложность расчета показателей приростной капиталоемкости не уменьшается даже в тех случаях, когда имеется прямая информация о капитальных затратах, необходимых для реализации того или иного отраслевого проекта. Фактически каждый «отраслевой» проект является многоотраслевым, особенно если он реализуется на территориях с отсутствующей или слабой производственной и социальной инфраструктурой. «Расчленение» суммарных капитальных затрат на отдельные отраслевые составляющие требует наличия подробной информации о составе каждого из проектов, но такой информации, как правило, нет. Поэтому в оценке показателей капиталоемкости достаточно велика доля экспертных оценок.

Общей для большинства отраслей тенденцией является повышение от периода к периоду капиталоемкости выпуска в связи с постоянным уменьшением резервов роста выпуска за счет увеличения загрузки различных производственных мощностей.

Материалоемкость производства. Основная тенденция изменения материалоемкости — ее снижение, хотя по отдельным позициям в перспективе она увеличивается (прежде всего, в части продукции машиностроения). Более всего сокращаются электроемкость, топливоемкость, металлоемкость выпуска, а также удельные затраты продукции сельского хозяйства на единицу выпуска других отраслей (прежде всего, пищевой и легкой). При оценке динамики показателей материалоемкости оценивались и возможные перспективные изменения внутриотраслевой структуры выпуска.

Отраслевая структура конечного потребления. Для многих отраслей, ориентированных преимущественно на внутренний рынок, это один из главных параметров, влияющих на соотношение темпов их роста, и связь этих темпов с реальными доходами населения. Оценка перспек-

тивной структуры конечного потребления осуществляется на основе сопоставления ретроспективных данных (с поправками на отраслевые индексы роста цен) таблиц распределения товаров и услуг, балансов денежных доходов и расходов населения и экспертных представлений об изменении структуры потребления при увеличении его общего объема — в частности, повышение доли продукции машиностроения, снижение доли сельского хозяйства и пищевой промышленности и т.п.

«Умеренно-оптимистический» вариант прогноза. Как и в предыдущих расчетах на период до 2015 г., при разработке этого варианта не предполагалось радикальных изменений в характере современной модели рыночной экономики России — прежде всего, в существующей организации денежного обращения и в части изменения вмешательства государства в процессы распределения добавленной стоимости на нужды потребления и накопления.

Основным источником роста и за пределами 2015 г. предполагается рост внутреннего платежеспособного спроса, тем не менее, темпы роста физического объема экспорта с течением времени увеличиваются. Напротив, темпы роста физического объема импорта достаточно быстро сокращаются — степень оптимизма в части внешнеэкономической конъюнктуры ограничивается сохранением ее нынешнего благоприятного уровня, а возможности увеличения экспорта продукции главных экспортноориентированных отраслей весьма ограничены.

В течение всего рассматриваемого периода сохраняется положительное сальдо внешнеторгового оборота, которое, однако, с течением времени все более сокращается и к 2020 г. становится нулевым. Это вторая существенная составляющая оптимизма, предполагающая, в том числе, достаточно большое положительное сальдо движения капитала.

Этот вариант прогноза характеризуется медленным уменьшением от периода к периоду среднегодовых темпов роста основных показателей: суммарного валового регионального продукта, конечного потребления и инвестиций. Но среднегодовые за весь пятнадцатилетний период показатели остаются на очень высоком, по критериям развитых стран, уровне.

Особо следует отметить динамику инвестиций. Если бы отраслевая структура производства оставалась неизменной, то, несмотря на понижение темпов выпуска, снижения темпов роста инвестиций, требуемых для обеспечения полученной динамики выпуска и ВВП (в основных ценах), не произошло бы вследствие принятой на стадии формирования

исходной информации предпосылки о повышении с течением времени капиталоемкости как прироста выпуска, так и удельных капитальных затрат на поддержание уже достигнутых объемов. На снижение темпов роста инвестиций существенное влияние оказал фактор изменения структуры производства в сторону заметного уменьшения доли наиболее капиталоемких отраслей.

В структуре суммарных инвестиций постепенно возрастает доля производственных, а внутри последних — в отрасли обрабатывающей промышленности, что обуславливает изменение их технологической структуры — повышения удельного веса машин и оборудования.

После 2010 г. в экономике России постепенно происходит изменение пропорции между потреблением и накоплением на противоположную той, которая, по-видимому, сохранится в течение всего текущего пятилетия. В заключительном пятилетии темпы роста конечного потребления, и, соответственно, основных показателей уровня жизни населения, уже отстают от темпов роста суммарного ВРП. Темпы роста импорта уже отстают и от темпов роста ВРП, и от темпов роста потребления. Этот сценарий соответствует поэтапному повышению конкурентоспособности отечественных производителей — вначале достигаются определенные успехи в части импортозамещения на внутрироссийском рынке, а затем уже — в части завоевания новых внешних рынков.

Среди наиболее заметных изменений отраслевой структуры производства (в сопоставимых ценах 2005 г.) следует отметить прежде всего существенное понижение доли отраслей топливно-энергетического комплекса, увеличение доли машиностроения, строительства и, естественно, торговли (в широком понимании).

Следует отметить относительно слабое для пятнадцатилетнего периода увеличение доли в суммарном выпуске отраслей нематериальных услуг. В реальности доля расходов на эти услуги в совокупных расходах населения растет быстрее, но это связано в основном с опережающим ростом цен на них. В расчетах в сопоставимых ценах динамика объема услуг ЖКХ принимается близкой к динамике общего жилого фонда, динамика услуг образования — близкой к динамике численности обучающихся и т.д. По таким подотраслям «темпы роста в физическом выражении» намного отстают от средних по всей экономике.

«Оптимистический» вариант прогноза характеризуется повышенными среднегодовыми показателями роста всех основных макропоказателей. При формировании исходных посылок, определяющих пере-

ход от условий умеренно-оптимистического к оптимистическому варианту, решающей была гипотеза о возможности сохранения и даже некоторого увеличения от периода к периоду темпов роста производительности труда, которые лишь в первом пятилетии немного отстают от темпов роста валового внутреннего продукта, а в дальнейшем уже превосходят последние. Аналогичные результаты могли бы быть достигнуты и при замене такой гипотезы другой — об увеличении численности занятых в экономике по сравнению с теми показателями, которые использовались в первом варианте прогноза. Но реалистичная оценка этого сценария приводит к необходимости предположения о значительном увеличении числа мигрантов, причем не только из ближнего, но и из дальнего зарубежья.

В оптимистическом варианте прогноза, по сравнению с умеренно-оптимистическим, увеличивается роль внутреннего рынка в формировании суммарного спроса. Среднегодовые темпы роста экспорта и импорта повышены по сравнению с первым вариантом чисто символически, внешнеторговое сальдо к концу периода остается таким же, как и в первом варианте — близким к нулю. Более всего возрастают среднегодовые темпы роста инвестиций. Их доля в суммарном потреблении и накоплении возрастает. Среднегодовые темпы роста ВВП и конечного потребления возрастают примерно на одну и ту же величину.

В отраслевой структуре выпуска происходят такие же качественные изменения, что и при реализации «умеренно-оптимистического» варианта. Еще более возрастает доля машиностроения и строительства, а доля ТЭК еще более снижается.

Интерпретация результатов решения двойственной задачи. Результаты решения двойственных задач приведены в табл. 4.2. О их математическом смысле говорилось в параграфе 2.2: они показывают ценность единицы продукции каждой отрасли по критерию влияния каждой дополнительной сэкономленной или дополнительно произведенной (при прежних абсолютных суммарных материальных, трудовых и капитальных затратах) единицы продукции на максимизируемое в прямой задаче конечное потребление.

Естественно, специфика постановки трехпериодной межотраслевой модели дает возможность интерпретировать получаемые оценки как рекомендуемые изменения относительных цен в направлении приближения их к полным отечественным затратам с учетом инвестиционной составляющей с определенными поправками. Ограниченная продолжи-

тельность каждого из периодов (5 лет) намного меньше среднего срока службы основного капитала, поэтому «продуктивность» приростной части экономики (разница между приростами объемов выпуска и суммарными затратами, включая капитальные) оказывается очень низкой, а оценки инвестиционных ограничений чрезмерно высокими, что исключает их интерпретацию в качестве «нормативов эффективности капитальных вложений». В оптимистическом варианте, «технологически» отличающемся от умеренно-оптимистического лишь более высокой производительностью труда, значения оценок инвестиционных ограничений еще более возрастают, что обусловлено снижением «продуктивности» экономики (по сравнению с умеренно-оптимистическим вариантом) вследствие повышения доли инвестиций последнего года в суммарных за пятилетие инвестициях.

Таблица 4.2

Оценки балансовых ограничений производства и распределения продукции (для ограничений 2020 г., руб./руб.)

Отрасль	Умеренно-оптимистический вариант	Оптимистический вариант
1	2	3
Электро- и теплоэнергетика	1,800	1,888
Нефтедобыча	1,231	1,284
Нефтепереработка	1,040	1,085
Газовая промышленность	1,827	1,912
Уголь и прочее топливо	1,764	1,843
Черные металлы (добыча)	1,588	1,664
Черные металлы (обработ.)	1,001	1,042
Цветные металлы (добыча)	1,230	1,291
Цветные металлы (обработ.)	0,985	1,027
Химическая промышленность	2,219	2,338
Нефтехимическая промышленность	1,249	1,306
Машиностроение	1,292	1,352
Лесозагот. и деревообрабатывающая промышленность	0,900	0,935
Целлюлозно-бумажная промышленность	1,341	1,411
Промышленность стройматериалов	1,082	1,128
Легкая промышленность	1,130	1,166

Окончание табл. 4.2

1	2	3
Пищевая	0,933	0,971
Прочие отрасли промышленности	1,048	1,081
Строительство	1,005	1,051
Сельское и лесное хозяйство	1,677	1,746
Транспорт и связь	1,892	1,975
Торговля	0,358	0,369
Прочее материальное производство	1,055	1,088
ЖКХ и бытовое обслуживание	3,286	3,415
Здравоохранение, образование	0,840	0,864
Другие услуги	1,357	0,418
Управление, финансы	1,009	0,841
Оценка трудовых ресурсов	0,080	0,088
Оценка инвестиционных ограничений:		
активной части	0,478	0,511
пассивной части	0,367	0,380

Тем не менее, сопоставление оценок продукции разных отраслей свидетельствует о том, что в современной российской экономике средний уровень основных цен занижен почти во всех отраслях по сравнению с рыночными ценами, то есть величина торговой наценки в широком смысле (валовые доходы от оптовой и розничной торговли, внешнеторговой деятельности, «общей коммерческой деятельности по обеспечению функционирования рынка», операций с недвижимостью) намного больше той, которая имела бы место в том случае, если бы на отраслевые различия цен влияли лишь различия в реальных затратах на производство, то есть текущие материальные затраты, численность занятых, величина основного капитала. Разница в оценках продукции торговли и большинства других отраслей, конечно, получилась слишком большой, потому что на это соотношение оказало сильное воздействие завышенная значимость инвестиционной составляющей, обусловленное упомянутой выше малой длительностью периода (а торговля — это отрасль с низкой капиталоемкостью).

Для получения более объективных значений двойственных переменных в многопериодных моделях с короткими по сравнению со сроками службы основного капитала периодами необходима модификация целевой функции модели, а точнее, той ее части, которая отно-

сится к последнему году заключительного периода. В результирующую часть экономической деятельности в этих целях необходимо включать также и ту часть инвестиций, которая начнет и будет продолжаться давать отдачу за пределами последнего прогнозного периода. Конкретные приемы выделения той части инвестиций, которые логично считать больше результатом, достигнутым в течение прогнозного периода, чем затратами на производство в течение этого периода, еще предстоит разработать.

Пространственный разрез. Выполненные прогнозные расчеты в пространственном разрезе стали продолжением ранее проведенных исследований. Основное их содержание заключалось в следующем:

- в экспериментальном порядке была осуществлена двухпериодная постановка межрегиональной межотраслевой модели (2006–2010–2020 гг.) и на модельном уровне был получен один из вариантов прогноза — умеренно-оптимистический — в двухпериодном разрезе;
- был осуществлен отраслевой и пространственный разрез двух народнохозяйственных прогнозов, выполненных на уровне основных макропоказателей — «инерционного» и «инновационного» сценариев развития экономики России на период до 2020 г.

Результирующие показатели инновационного варианта долгосрочного прогноза (табл. 4.3) и его исходные условия, разработанные Минэкономразвития РФ на период до 2020 г. во многом совпали с теми результатами и предпосылками, которые закладывались нами при разработке оптимистического варианта прогноза в территориальном разрезе. Для него были сохранены те же самые внешнеэкономические условия (в части, ценовой конъюнктуры), что и для принятого в качестве основного — умеренно-оптимистического — варианта. По среднегодовым темпам роста основных показателей различия между оптимистическим и инновационным вариантами минимальны. В инновационном варианте среднегодовые темпы роста суммарного ВРП за период 2006–2020 гг. чуть ниже, чем в оптимистическом (на 0,1 процентного пункта). Учитывая существующие различия между суммарным ВРП и ВВП, можно предположить, что темпы роста ВВП в рассматриваемой перспективе должны быть чуть ниже темпов роста суммарного ВРП, если будет иметь место тенденция уменьшения в составе ВВП той его части, которая не распределяется между регионами, что соответствует тенденции относительного сокращения (по отношению к ВВП) профицита федерального бюджета и, в частности, отчислений в Стабилизационный фонд.

Таблица 4.3

Инновационный вариант. Основные макропоказатели развития регионов на период 2006–2020 гг. (объемные показатели для 2020 г. — млрд руб. в основных ценах 2005 г., темпы — в %)

Макропоказатель	РФ	ЦФО	СЗФО	ЮФО	ПФО	УФО-Т	Тюм	СФО	ДФО
Выпуск	90327	28255	10401	7811	16577	5449	5618	11522	4694
Среднегодовой темп роста	106,1	106,1	106,6	106,8	106,1	106,3	103,9	106,7	106,4
Валовой региональный продукт	46905	13390	5102	4378	8861	3039	3607	6190	2338
Среднегодовой темп роста	106,3	106,0	106,9	107,1	106,5	106,9	103,8	107,2	106,8
Конечное потребление	37783	12091	3786	4468	6938	2139	1414	4869	2078
Среднегодовой темп роста	106,8	105,7	107,1	107,4	107,6	106,8	107,2	107,6	107,4
Инвестиции в основной капитал	13540	2772	1602	1132	2429	830	1717	2114	944
Среднегодовой темп роста	110,1	108,2	109,0	109,4	110,6	111,4	110,5	113,4	110,1

Вместе с тем, между предпосылками, заложенными при формировании оптимистического и инновационного вариантов, имелись определенные расхождения. Главные из них:

- вариант Минэкономразвития предполагает возможность достаточно быстрого изменения сальдо внешней торговли с положительных на отрицательные значения и сохранение этого отрицательного сальдо в течение последних 10 лет рассматриваемого периода, в то время как в оптимистическом варианте закладывалась гипотеза о постепенном сокращении положительного сальдо внешней торговли к 2020 г. до нулевого (и даже эта гипотеза считалась достаточно сильной);
- инновационный вариант предполагает намного более значительное сокращение численности занятых в экономике — к 2020 г. до 61,9 млн человек (в оптимистическом варианте лимит численности занятых определялся в 66,5 млн человек — предполагалось более значительное сокращение численности безработных, больший приток мигрантов, значительное ослабление требований работодателей к нанимаемой рабочей силе, улучшение условий труда, что обуславливает повышение занятости среди лиц старших возрастов и пенсионеров, изменение — хотя бы мягкое — границ пенсионного возраста). Из этого следует, что инновационный вариант допускал возможность заметно более высоких темпов роста производительности труда по сравнению с теми, которые были заложены нами при формировании оптимистического варианта прогноза;
- небольшие расхождения имеют место в части оценки возможностей увеличения производства и экспорта нефти и газа. Оптимистический вариант предполагал рост добычи нефти и газа в 2020 г. (по сравнению с 2005 г.) соответственно в 1,112 и 1,354 раза. Это соответствует натуральным показателям 2020 г. — 556 млн т и 868 млрд м³. В инновационном варианте параметры на 2020 г. немного иные — 530 млн т. и 900 млрд м³. Соответственно, меньшими и большими являются прогнозируемые объемы экспорта.

В связи с некоторыми небольшими различиями в исходных посылах переход от ранее разработанного (в условиях отсутствия в то время прогноза Минэкономразвития на период до 2020 г.) оптимистического к инновационному варианту в территориальном разрезе осуществлялся на основе предположения о том, что в целом для экономики России сводные данные на 2020 г. окажутся на том уровне, который спрогнозирован Минэкономразвития. На уровне ОМММ осуществлялась лишь пространственная разверстка точечного народнохозяйственного прогноза. Для выхода на прогнозные параметры Минэкономразвития, со-

ответствующие его предпосылкам, необходимо было, прежде всего, повысить темпы роста производительности труда по сравнению с ранее заложёнными и несколько снизить показатели капиталоемкости.

Инерционный сценарий по значениям сводных макропоказателей оказался примерно «на таком же расстоянии» от рассматриваемого нами в качестве наиболее вероятного, умеренно-оптимистического варианта, как и инновационный. Суммарный по регионам ВРП (в основных ценах 2005 г.) составляет для него в 2020 г. 37,3 трлн руб. (в умеренно-оптимистическом — 42,0 трлн руб., в инновационном — 46,9 трлн руб.). В части динамики максимизируемой части конечного потребления, отражающей динамику уровня жизни населения, ситуация выглядит иначе — инновационный вариант намного ближе к умеренно-оптимистическому, чем инерционный (в последнем значение конечного потребления составляет 32,7 трлн руб., в умеренно-оптимистическом — 36,2 трлн руб., в инновационном — 37,8 трлн руб.). Это обусловлено тем, что переход от умеренно-оптимистического к инновационному сценарию обуславливает значительное увеличение доли валового накопления в суммарном использовании ВРП — так, если объем конечного потребления возрастает в 2020 г. на 1,6 трлн руб., то инвестиции в основной капитал — на 2,5 трлн руб. Этот факт определяет одно из главных условий, необходимых для реализации инновационного сценария — значительное повышение склонности к инвестициям, и прежде всего, долгосрочным, причем именно на территории России, то есть в том числе сокращение, хотя бы относительное, утечки капиталов за рубеж или опережающие темпы притока прямых иностранных инвестиций.

Все три варианта отличаются одной закономерностью в соотношениях между темпами роста важнейших трех макропоказателей — наиболее высокими темпами увеличиваются инвестиции в основной капитал, более низкими являются среднегодовые темпы конечного потребления домашних хозяйств и государства, и замыкает тройку основных показателей динамика суммарного ВРП. Такие не совсем естественные для длительного периода соотношения объясняются существенным воздействием на них первых лет прогнозного периода, когда опережающий рост и инвестиций, и конечного потребления становится возможным вследствие уменьшения большого положительного сальдо внешней торговли вследствие очень высоких темпов роста импорта.

В табл. 4.4 для примера приведены среднегодовые темпы роста в разрезе макрорегионов и отраслей по инновационному варианту развития.

Таблица 4.4

Инновационный вариант. Среднегодовые темпы роста выпуска за период 2006–2020 гг.

Отрасль	РФ	ЦФО	СЗФО	ЮФО	ПФО	УФО-Т	Тюм	СФО	ДФО
Электро- и теплоэнергетика	103,4	103,1	104,0	103,9	103,5	103,0	102,7	103,6	103,4
Нефтедобыча	100,8	100,0	103,2	102,6	99,1	100,0	100,7	105,1	104,4
Нефтепереработка	102,2	102,3	102,6	103,0	101,8	100,0	103,2	101,9	103,4
Газовая промышленность	102,2	100,0	111,0	102,5	100,5	100,0	101,8	112,2	108,6
Уголь и прочее топливо	103,6	100,2	102,3	101,0	100,0	101,0	100,0	103,8	103,6
Черные металлы (добыча)	103,7	102,6	103,1	101,8	102,3	106,4	100,0	102,9	100,0
Черные металлы (обработ.)	105,5	106,2	106,4	105,8	104,7	104,8	107,6	106,2	101,7
Цветные металлы (добыча)	103,8	100,0	103,6	103,2	102,7	100,6	100,0	102,3	104,7
Цветные металлы (обработ.)	104,3	103,0	104,4	104,1	104,6	104,4	100,0	104,6	101,8
Химическая промышленность	105,1	105,4	106,0	105,5	104,5	105,1	105,6	105,0	102,8
Нефтехимическая промышленность	106,2	106,3	107,7	106,4	105,7	105,1	106,8	107,8	107,1
Машиностроение	110,2	110,9	110,6	111,2	109,8	108,0	109,1	110,4	109,3
Лесозагот. и деревообр. пром-ть	103,9	104,0	104,6	104,0	104,2	102,5	104,5	102,6	103,7
Целлюлозно-бумажная пром-ть	103,9	103,6	104,5	103,8	102,7	102,7	104,2	102,7	102,4

Промышленность стройматериалов	105,9	105,3	106,3	104,9	105,7	106,3	108,9	107,4	108,3
Легкая промышленность	103,2	103,1	103,6	104,6	102,3	102,3	102,7	103,9	103,4
Пищевая промышленность	104,4	103,9	104,8	105,7	103,5	103,5	105,7	104,8	104,1
Прочие отрасли промышленности	105,6	105,8	105,7	105,9	105,1	104,2	106,0	105,7	105,0
Промышленность — всего	105,2	106,4	106,1	105,8	105,3	105,2	101,6	105,2	104,8
Строительство	108,7	106,6	108,2	108,1	109,0	110,2	110,1	112,3	109,2
Сельское и лесное хозяйство	102,8	103,2	102,1	104,2	102,1	102,1	102,9	102,1	101,7
Транспорт и связь	104,8	104,4	104,9	105,6	104,9	105,6	102,8	105,3	105,2
Торговля	107,3	106,7	107,6	108,3	108,0	108,6	105,6	108,1	107,9
Прочее материальное производство	104,5	104,9	104,9	105,4	103,2	103,2	104,7	104,0	104,0
ЖКХ и бытовое обслуживание	104,8	103,5	104,9	105,7	105,5	104,9	104,4	105,5	105,2
Здравоохранение, образование	106,5	104,9	106,7	107,4	107,2	106,8	106,8	107,3	107,1
Другие услуги	106,6	106,2	107,5	108,0	107,4	107,0	103,8	107,2	107,1
Управление, финансы	106,6	105,5	107,1	107,8	107,6	107,3	105,8	107,7	107,4
ВЫПУСК ВСЕГО	106,1	106,1	106,6	106,7	106,1	106,3	103,8	106,6	106,4

Цифровой материал по результатам предыдущего этапа исследований пространственного развития экономики России, выполненных по заказу МЭРТ РФ в 2005–2006 гг., приведен в [26].

Основные публикации авторского коллектива по проблемам части I

1. Гранберг А.Г. Межотраслевые модели оптимального размещения производительных сил СССР // Модели и методы оптимального развития и размещения производства. Научные труды. Серия экономическая. Вып. 3. Новосибирск: НГУ, 1965.

2. Гранберг А.Г. Экспериментальные расчеты по многоотраслевой модели оптимального развития и размещения производства по экономическим зонам СССР // Известия СО АН СССР, серия общественные науки. 1968. Вып. 3, № 11.

3. Гранберг А.Г. Многоотраслевая модель оптимального развития и размещения производства в планово-экономических расчетах // Экономика и математические методы. 1970. Т. VI, № 3.

4. Гранберг А.Г. Оптимизация территориальных пропорций народного хозяйства. М.: Экономика, 1973.

5. Модификации оптимизационной многоотраслевой межрайонной модели // Экономика и математические методы. 1974. Т. X, вып. 1.

6. Granberg A.G. The Construction of Spatial Models of the National Economy. In: Regional Development and Planning. International Perspectives. Ed. A. Kuklinski. Leyden, 1975.

7. Granberg A.G. A Modified Version of the Optimal Multisectoral Interregional Model // MATECON. Summer 1981.V. 17, No 4.

8. Оптимизационные межрегиональные межотраслевые модели / Отв. ред. А.Г. Гранберг, И.С. Матлин. Новосибирск: Наука. Сибирское отд-ние, 1989.

9. Территориальные народнохозяйственные модели / Отв. ред. А.Г. Гранберг. Новосибирск: Наука. Сибирское отд-ние, 1976.

10. Granberg A.G. Regional economic interactions in the USSR // Regional Development Modeling: Theory and Practice. North-Holland Publishing Company, 1982.

11. Granberg A.G. Experience in the Use of Multiregional Economic Models in the Soviet Union // Multiregional Economic Modeling: Practice and Prospect. North-Holland Publishing Company, 1982.

12. Межотраслевые балансы в анализе территориальных пропорций СССР / Отв. ред. А.Г. Гранберг. Новосибирск: Наука. Сибирское отд-ние, 1975.

13. Экономико-математический анализ размещения производительных сил СССР / Отв. ред. А.Г. Гранберг. Новосибирск: ИЭиОПП СО АН СССР, 1972.

14. Granberg A. Regional and Multi-regional modelling in the USSR .. Dynamics and Conflict in Regional Structural Change: Essays in Honour of W. Isard. V. 2. Macmillan, 1990.

15. Суслов В.И. Комплекс программ по обработке матричных массивов информации // Математическое обеспечение экономических исследований. Труды. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1985.

16. Суслов В.И., Ибрагимов Н.М. Модельно-программный комплекс прогнозирования и анализ территориальной структуры экономики // Экономическое развитие России: региональный и отраслевой аспекты. Вып. 6. // Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2005.

17. Гранберг А.Г., Чернышев А.А. Задача оптимального территориального планирования «Запад-Восток» // Известия СО АН СССР, серия общественные науки. 1970. Вып. 2, № 6.

18. Межрегиональные проблемы социально-экономического и научно-технического развития СССР (Концепция раздела комплексного прогноза социально-экономического и научно-технического развития СССР на 20 лет). Новосибирск: ИЭОПП СО АН СССР, 1980.

19. Гранберг А.Г., Зайкин В.С., Селиверстов В.Е. Российская Федерация в общесоюзной экономике (межотраслевой анализ). Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1981.

20. Сибирь в едином народнохозяйственном комплексе. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1980.

21. Гранберг А.Г., Суслов В.И., Коломак Е.Ф. Крупные регионы России: экономическая интеграция и взаимодействия с мировой экономикой. Отчет по программе EERC Russia. М., 1997.

22. Суслов В.И., Ершов Ю.С., Ибрагимов Н.М., Мельникова Л.В. Межрегиональные экономические отношения в годы реформ: состояние и перспективы // Регион: экономика и социология. 2002. Вып. 1.

23. Суслов В.И. От макроэкономического прогноза к транспортной стратегии России // Вестник транспорта. 2003. № 12.

24. Суслов В.И., Ершов Ю.С., Ибрагимов Н.М., Мельникова Л.В. Транспорт России — современное состояние и перспективы развития в условиях долгосрочного экономического роста // Экономическое развитие России: региональный и отраслевой аспекты. Вып. 5. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2004.

25. Гранберг А.Г., Суслов В.И., Ершов Ю.С., Ибрагимов Н.М. Долгосрочный прогноз территориального развития экономики России // Инвестиционно-технологическое развитие экономики России: проблемы, факторы, стратегии, прогнозы / Отв. ред. В.В. Ивантер. М.: МАКС-Пресс, 2005. С. 264–270.

26. Гранберг А.Г., Суслов В.И., Ершов Ю.С., Ибрагимов Н.М., Мельникова Л.В. Стратегии территориального и регионального развития экономики России // Проблемы и перспективы технологического обновления российской экономики / Отв. ред. В.В. Ивантер, Н.И. Комков. М.: МАКС-ПРЕСС, 2007. С. 463–484.