

Гранберг Александр Григорьевич.

Г77 Оптимизация территориальных пропорций
народного хозяйства. М., «Экономика», 1973.

248 с.

В работе анализируются недостатки традиционных методов территориального планирования и размещения производительных сил, показываются преимущества применения экономико-математического моделирования в территориальном планировании. Автором разработаны модели оптимального размещения производства по экономическим районам страны, которые могут использоваться в плановых расчетах.

Г $\frac{0183-249}{011(01)-73}$ 37-73

33СЗ

*Редакция литературы по методологии и организации
народнохозяйственного планирования*

Полная электронная копия издания расположена по адресу:

<http://lib.ieie.su/docs/2000before/>

[Granberg1973Optimizaciya_territorialnyh_proporcij_narodnogo_hozajstva.pdf](http://lib.ieie.su/docs/2000before/Granberg1973Optimizaciya_territorialnyh_proporcij_narodnogo_hozajstva.pdf)

Г $\frac{0183-249}{011(01)-73}$ 37-73

© Издательство «Экономика», 1973 г.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ
ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ
НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

§ 1. О классификации продукции и регионов

При теоретических исследованиях пространственной экономики допустимо исходить из предположения о принципиальной возможности охвата в одной математической модели всего множества однородных продуктов и территориальных единиц. Однако практически в сводной модели территориального планирования можно и целесообразно представить лишь ограниченное число отраслей (продуктов) и регионов. Поэтому первостепенное значение приобретает проблема рационального агрегирования.

На первом этапе экспериментального использования ОМММ высокий уровень агрегирования отраслей и регионов определялся прежде всего возможностями вычислительной техники и математического обеспечения. Такого рода ограничения пока что сохраняют свое значение и еще длительное время будут оказывать влияние на решение практических вопросов построения отраслевой и региональной классификации для территориальных народнохозяйственных моделей. В принципе же уровень агрегирования показателей сводной территориальной модели определяется рациональным «разделением труда» между блоками системы экономико-математических моделей оптимального планирования, которое отражает рациональное распределение функций планирования и принятия решения между различными органами системы управления народным хозяйством.

Отрицательные последствия агрегирования выражаются в следующем: 1) расчеты по агрегированной модели не исчерпывают задач территориального планирования (являются недостаточно адресными), 2) расчеты на основе агрегированной информации приводят к ошибкам в определении значений даже агрегированных величин.

Например, при 16-отраслевой классификации ОМММ оптимальный вариант может быть использован главным образом для обоснования общей концепции размещения производительных сил, основных направлений специализации районов, распределения между районами капиталовложений и т. п. Однако

при этом остаются открытыми вопросы установления рационального размещения отдельных производств и межрегиональных связей по группам продукции. При слишком укрупненной сетке регионов не учитываются существенные внутрорегиональные различия и не решаются вопросы перспективного развития и размещения производительных сил внутри регионов.

При значительном агрегировании территориальная дифференциация производственных затрат в значительной мере зависит от внутриотраслевой и внутрорегиональной структуры агрегированной продукции и плохо отражает реальные различия эффективности производства. Ошибки агрегирования объясняются, в частности, тем, что принимаемая в расчетах структура агрегированных отраслей или внутрорегионального размещения практически неизбежно отличается от оптимальной структуры. При расчетах оптимального размещения производительных сил систематическая ошибка агрегирования выражается в получении «бедных» решений. Типичной является такая ситуация. По оптимальному варианту ОМММ в разрезе 20 укрупненных отраслей в районе должно развиваться, например, 10 отраслей; однако при расчетах по 100-отраслевой классификации оказывается эффективным развивать 50 отраслей, но они относятся к 15 укрупненным отраслям первоначальной классификации.

Усовершенствование ОМММ, разработка для нее специальных алгоритмов, использование более мощной вычислительной техники, автоматизация обработки исходной и выходной экономической информации позволяют значительно увеличить детализацию отраслей и регионов.

Используя особенности ряда отраслей и проведя некоторые преобразования (см. § 2), можно либо уменьшить размерность решаемой задачи при сохранении ее информативности, либо существенно увеличить детализацию отраслей и регионов. Эффективными являются также преобразования структуры ОМММ, приводящие ее к задаче блочного программирования (см. § 6); разработанные алгоритмы блочного программирования позволяют решать задачи существенно большей размерности по сравнению с общими задачами математического программирования (линейного и нелинейного).

Возможности расширения числа отраслей и регионов в классификации ОМММ резко возрастают благодаря прогрессу вычислительной техники. В качестве примера приведем данные о затратах машинного времени для решения основного варианта межрайонной межотраслевой задачи по 16 отраслям и 10 зонам СССР на разных ЭВМ: М-20—8,5 ч, БЭСМ-4—3,5 ч, ЭВМ ГВЦ Госплана СССР — 16 мин. Следует подчеркнуть, что проблема вовсе не сводится к тому, чтобы ценой огромных усилий решить задачу один раз. Для использования ОМММ в территориальном планировании необходимо обеспечить возможность систематических многовариантных расчетов.

При ручной технологии подготовки исходных данных и анализа результатов трудоемкость получения одного оптимального варианта в сотни раз превосходит прямые затраты машинного времени на решение оптимизационной задачи. Поэтому очень важным фактором является автоматизация обработки первичной информации на ЭВМ и алгоритмизация экономического анализа получаемых результатов.

В этом направлении делаются первые шаги. Разработаны программы обработки данных межотраслевых балансов для экономико-математического анализа современного размещения производительных сил, программы анализа оптимального варианта ОМММ.

На первом этапе экспериментальных разработок главным в проблеме агрегирования был вопрос: как агрегировать отрасли и регионы при заданной максимальной размерности задачи, решаемой на ЭВМ? Ограничения со стороны размерности задач были настолько существенными, что почти не оставляли возможности выбора между разными вариантами классификации отраслей и регионов. Трудно указать иной разумный вариант 16 отраслевой классификации по сравнению с классификацией, использовавшейся в первых расчетах. Можно предложить только несколько вариаций разбиения территории СССР на 10 зон, используя существующее административно-территориальное и экономическое районирование.

В дальнейшем всевозрастающее значение будет приобретать проблема определения рациональной степени агрегирования в системе моделей оптимального планирования народного хозяйства.

Расширение области выбора вариантов классификации отраслей и регионов делают актуальной задачу выработки научных принципов агрегирования для ОМММ. При выработке таких принципов можно исходить из следующего критерия оптимального агрегирования (ошибки агрегирования):

$$\Delta X^* = GX - X^*, \quad (\text{IV.1})$$

где X — вектор решения по детализированным отраслям и регионам;

X^* — вектор решения по агрегированным отраслям и регионам;

G — оператор агрегирования.

Таким образом, в соответствии с данным критерием необходимо минимизировать отклонения между агрегируемыми результатами детальных расчетов (если бы таковые осуществлялись) и результатами расчетов по агрегированным показателям.

Исследование проблемы агрегирования как оптимизационной задачи включает два этапа: 1) изучение необходимых и достаточных условий безошибочного агрегирования, 2) нахождение способов приближенно — точного агрегирования.

Классификация отраслей. При построении отраслевой классификации для ОМММ могут использоваться некоторые методы разработки точечных межотраслевых моделей, в частности: 1) объединение производств с близкой структурой затрат, 2) объединение взаимозаменяемых видов продукции. Однако территориальные факторы значительно повышают требования к однородности агрегируемых производств. Так, неравномерный становится применяемое в межотраслевых балансах агрегирование отраслей, продукция которых потребляется в процессе последовательной технологической обработки (руда, чугун, сталь, прокат и т. п.), поскольку отдельные технологические стадии могут быть пространственно разобщены. При построении отраслевой классификации для ОМММ необходимо обеспечить:

1) отделение транспортабельных видов продукции от нетранспортабельных (в одну группу целесообразно объединять только виды продукции, однородные относительно ареала потребления);

2) более широкое представительство отраслей, условия производства которых в разных регионах сильно дифференцированы (прежде всего это — добывающие отрасли; к тому же продукция добывающих отраслей по своим потребительским свойствам часто имеет региональную специфику);

3) более детальное представление отраслей, которые характеризуются высокими темпами роста и подвижной внутриотраслевой структурой (по таким отраслям сдвиги в размещении производства могут быть особенно значительными);

4) отделение добывающих и обрабатывающих подотраслей (ввиду значительного двустороннего межрегионального обмена продукцией этих подотраслей: например, металлургическое сырье и готовые металлы, сырая нефть и нефтепродукты);

5) более широкое представительство отраслей, на которые приходится основная часть транспортных затрат;

6) отделение производств, имеющих различные факторы размещения (источники сырья, энергии, трудовые ресурсы, рынки сбыта и т. п.);

7) выделение видов продукции, которые могут производиться лишь в некоторых регионах (по этим видам продукции размещение производства может определяться вне модели: например, добыча асбеста, производство хлопка, табака и т. д.).

Более обобщенным (но практически трудно реализуемым) требованием к классификации является приближенное равенство региональных оптимальных оценок агрегируемых видов продукции и сходство структур этих оценок. При выполнении отмеченных выше принципов степень агрегирования по отраслям (группам продукции) будет неодинаковой. Часть производств, оказывающих наибольшее влияние на систему территориальных пропорций, должна отражаться более детально, а соответ-

ствующие результаты оптимизационной задачи — непосредственно использоваться при обосновании плановых решений. Включение же в единую оптимизационную задачу ряда сильно агрегированных отраслей создает правильный фон для первой группы отраслей, т. е. обеспечивает полный охват потребностей в продукции и ресурсах.

По мнению ряда специалистов, классификация ОМММ должна содержать не менее 80—100 отраслей (групп продукции). Программа совместных исследований шести научных организаций по межотраслевой задаче оптимального размещения производительных сил СССР, разработанная в 1964 г., предусматривала включение в номенклатуру отраслей и продукции около 100 наименований (отсюда название «100-продуктовая модель»)¹. Предложенная С. А. Николаевым классификация включает 107 наименований². По мнению В. И. Киселева, используемая в территориальном планировании ОМММ должна включать не менее чем 100—120 отраслей материального производства³.

В настоящее время наиболее полным источником получения обобщенной экономической информации и наиболее часто применяемой моделью народного хозяйства является межотраслевой баланс производства и распределения продукции. Отчетные межотраслевые балансы СССР, союзных республик и экономических районов за 1966 г. составлены в разрезе 105—110 отраслей. Естественно, возникает вопрос о возможности использования первичной классификации этих межотраслевых балансов для следующего этапа разработок по ОМММ.

На наш взгляд, первичная классификация межотраслевого баланса в основном может быть использована по черной металлургии (5 позиций), топливной промышленности (6 позиций), лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности (7 позиций), промышленности стройматериалов (8 позиций), лесной и пищевой промышленности (соответственно 9 и 14 позиций). Однако существенным недостатком этой классификации является объединение всей цветной металлур-

¹ Методические указания по решению задачи оптимального размещения производительных сил СССР по крупным экономическим районам на 1970 год. Вып. 1. ЦЭМИ АН СССР, 1964 (ротапринт). Автор принимал участие в разработке этих методических указаний.

² Николаев С. А. Межрайонный и внутрирайонный анализ размещения производительных сил. М., «Наука», 1971 г.

В этой работе довольно подробно рассматривается методика агрегирования отраслей и установления размерности межрайонной межотраслевой задачи (с. 151—163). Особенностью предлагаемой классификации является то, что она включает только часть отраслей промышленного производства.

³ Киселев В. И. Некоторые вопросы формирования и реализации многоотраслевой межрегиональной модели перспективного планирования (Первая конференция по оптимальному планированию и управлению народным хозяйством. Тезисы докладов Секция I, вып. 1, М., 1971).

гии (включая и добычу руд) в одну позицию и разделение сельского хозяйства только на две подотрасли (растениеводство и животноводство), что не корреспондирует с классификацией легкой и пищевой промышленности, использующих сельскохозяйственное сырье. Недостаточно дробной является, по видимому, классификация химической промышленности — 11 позиций (в классификации С. А. Николаева на долю химической и нефтеперерабатывающей промышленности приходится 46 позиций из 107). В то же время выделение 34 позиций машиностроения и металлообработки вряд ли необходимо с точки зрения оптимизации главных территориальных пропорций народного хозяйства. Заслуживают внимания предложение С. А. Николаева об объединении отраслей машиностроения в 15 групп.

Выбор вариантов агрегирования связан с количественной оценкой и соизмерением различных признаков отраслей. Здесь могут найти применение различные методы оценки однородности совокупностей и распознавания образов.

Предполагается провести ряд вычислительных экспериментов на малоразмерных моделях с целью выяснения устойчивых закономерностей, которые можно использовать для выработки конструктивных правил агрегирования отраслей. Более полного решения проблем агрегирования можно ожидать в результате отработки итеративных процессов взаимодействия ОМММ с моделями отраслей.

Представляет интерес изучение возможностей построения различающихся по регионам классификаций отраслей, учитывающих особенности региональных хозяйственных комплексов.

Ряд специальных проблем, связанных с агрегированием отраслей, возникает в связи с моделированием межрегиональных связей (см. § 4).

Классификация регионов. Укрупненность территориальных единиц приводит к значительным погрешностям в расчетах по ОМММ. Логике модели ближе всего соответствует представление о регионе как географической точке сосредоточения производства и потребления. Чем обширнее территории регионов, тем более расплывчатыми становятся результаты расчетов по модели, так как все большее значение приобретает решение вопросов внутрирегионального размещения производства, внутрирегиональных связей и определения центров межрегионального обмена; менее устойчивыми становятся и региональные коэффициенты затрат. При разбиении страны на небольшое число экономических зон сглаживаются территориальные различия эффективности производства, недостаточно учитываются специфические местные условия.

При агрегировании регионов, так же как и при агрегировании продукции, появляются систематические ошибки в расчетах. В частности, «незаслуженное» преимущество получают

небольшие по территории регионы, для которых радиусы внутрирегиональных перевозок невелики. Вследствие усреднения затрат на внутрирегиональные и межрегиональные перевозки последние оказываются более дорогостоящими. Поэтому в оптимальный вариант не входят многие эффективные связи между соседними частями разных регионов, преимущество отдается связям разных частей одного региона. В результате агрегирования регионов объемы межрегиональных связей и транспортной деятельности особенно занижаются за счет исключения двусторонних межрегиональных перевозок. Оптимальный план не допускает встречных межрегиональных перевозок уже по той причине, что регион в ОМММ воспринимается как точка. Данный недостаток ослабляется при совершенствовании транспортной части модели (переходе к сетевой постановке).

Классификация регионов для ОМММ еще длительное время будет опираться на официальную сетку экономических районов и административно-территориальное деление СССР¹. Это объясняется прежде всего необходимостью приспособления к существующим объектам планирования и управления, а также имеющимся источникам статистической и плановой информации. Меньшее влияние оказывает «борьба» с размерностью задачи. В § 3 гл. II будет показано, что значительные возможности для детализации территориального деления в ОМММ без существенного увеличения размерности задачи дает введение «территориальных» способов производства.

На последующих этапах исследований при дальнейшей детализации регионов в ОМММ могут быть практически использованы предложения по совершенствованию экономического районирования, выдвигаемые в ряде экономико-географических исследований. Построение более детальных классификаций регионов будет опираться на опыт решения оптимизационных задач, выявляющих более однородные территории по условиям производства (коэффициентам затрат), обеспеченности природными и трудовыми ресурсами, уровню транспортного освоения, структуре потребления населения и т. п.

В перспективных исследованиях по классификации регионов могут использоваться новые методы: 1) игровые подходы, 2) методы таксономии и теории распознавания образов. Игровое представление процесса оптимизации развития и размещения производительных сил позволяет сформулировать некоторые новые требования к выделению территориальных единиц

¹ Действующая сетка Госплана СССР насчитывает 19 экономических районов (включая Молдавскую ССР как самостоятельный район). При выделении всех союзных республик число территориальных единиц первого уровня возрастает до 26 (13 союзных республик, за исключением РСФСР и УССР, 10 районов РСФСР, 3 района УССР). Генеральный план развития народного хозяйства СССР на 1976—1990 гг. разрабатывается в разрезе союзных республик и пяти укрупненных районов РСФСР.

в ОМММ. Поскольку наиболее благоприятным условием проведения игры является наличие игроков с примерно одинаковым уровнем развития, но обладающих индивидуальными особенностями, то выделяемые территориальные единицы должны иметь примерно одинаковый экономический потенциал, но не должны характеризоваться близкими значениями важнейших признаков. Для того чтобы эти требования сделать практически применимыми, нужно выбрать критерий для сравнения экономических потенциалов различных территориальных единиц и выявить набор их существенных характеристик.

§ 2. Учет особенностей отраслей для сокращения размерности межрегиональной межотраслевой задачи

В предыдущих разделах неоднократно подчеркивалось значение проблемы размерности для практического использования ОМММ. Наряду с разработкой «экономной» классификации отраслей региону следует использовать возможности сокращения размерности путем преобразования самой ОМММ.

Одна из таких возможностей—исключение некоторых балансовых соотношений ОМММ посредством постановок. Для этого должны выполняться два необходимых условия: 1) исключаемое неравенство модели в оптимальном плане должно обращаться в строгое равенство, 2) в исключаемом уравнении одно исключаемое неизвестное должно выражаться как линейная комбинация других неизвестных с неотрицательными коэффициентами.

Первое условие выполняется (как типичное свойство оптимального плана) для балансов продукции и транспорта. Второе условие гарантирует неотрицательность исключаемого неизвестного. Оба эти условия выполняются для балансов транспорта, (II.3) и балансов некоторых видов продукции (II.2) и (II.37), не имеющих межрегиональных связей.

Вначале исключим из ОМММ балансы транспортной работы (II.3) и неизвестные x_t^r . (Ограничимся преобразованиями модели 1-2 как более совершенной.)

Предположим, что в уравнении

$$x_t^r = \sum_j a_{tj}^{rs} x_j^r + \sum_j a_{tj}^{rr} \bar{x}_j^r + \sum_{s,j} a_{tj}^{rsr} x_j^{sr} + \sum_{s,j} (a_{tj}^{rs} - a_{tj}^{rr}) x_j^{rs}$$

соблюдается $a_{tj}^{rs} \geq a_{tj}^{rr}$. Подставим значение x_t^r в балансы продукции (II.37):

$$\begin{aligned} \sum_j (\delta_{ij} - a_{ij}^{rs}) x_j^r + \sum_j (\delta_{ij} - a_{ij}^{rr}) \bar{x}_j^r - u_i^{rr} - a_{it}^{rr} \left(\sum_j a_{tj}^{rs} x_j^r + \sum_j a_{tj}^{rr} \bar{x}_j^r + \right. \\ \left. + \sum_{s,j} a_{tj}^{rsr} x_j^{sr} + \sum_{s,j} \bar{a}_{tj}^{rs} x_j^{rs} \right) - \alpha_i^r z - \sum_s x_i^{rs} + \sum_s x_i^{sr} \geq q_i^r, \end{aligned}$$

где $\bar{a}_{ij}^{rs} = a_{ij}^{rs} - a_{ij}^{rr} \geq 0$;

$$\sum_j (\delta_{ij} - \hat{a}_{ij}^r) \bar{x}_j^0 + \sum_j (\delta_{ij} - \hat{a}_{ij}^r) \bar{x}_j^r - u_i^{Tr} - \alpha_i^r z - \sum_{s,j} (\delta_{ij} - a_{ij}^{rs}) x_j^{rs} + \sum_{s,j} (\delta_{ij} - a_{ij}^{rs}) x_j^{sr} \geq q_i^r, \quad (IV.2)$$

где $\hat{a}_{ij}^r = a_{ij}^r + a_{iv}^r a_{vj}^{rr}$, $\hat{a}_{ij}^r = a_{ij}^r + a_{iv}^r a_{vj}^{rr}$

(т. е. к прямым материальным затратам на производство добавляются материальные затраты на транспорт, обеспечивающий внутрирайонные перевозки производимой продукции); $a_{ij}^{rs} = a_{iv}^r \bar{a}_{vj}^{rs}$, (дополнительные затраты, возникающие в связи с межрегиональными поставками единицы продукции); $a_{ij}^{rr} = a_{iv}^r a_{vj}^{rr}$.

Изменения происходят и в структуре балансов трудовых ресурсов (II.4):

$$\sum_j \hat{t}_j^r x_j^0 + \sum_i \hat{t}_i^r \bar{x}_i^r + t_\tau^r \left(\sum_j a_{ij}^{rr} x_j^0 + \sum_j a_{ij}^{rr} \bar{x}_j^r + \sum_{s,j} a_{ij}^{rs} x_j^{rs} + \sum_{s,j} \bar{a}_{ij}^{rs} x_j^{rs} \right) \leq L^r; \\ \sum_j \hat{t}_j^r x_j^0 + \sum_i \hat{t}_i^r \bar{x}_i^r + \sum_{s,j} t_j^{rs} x_j^{rs} + \sum_{s,j} t_j^{rs} x_j^{rs} \leq L^r, \quad (IV.3)$$

где $\hat{t}_j^r = t_j^r + t_\tau^r a_{vj}^{rr}$, $\hat{t}_j^r = t_j^r + t_\tau^r a_{vj}^{rr}$,
 $t_j^{rr} = t_\tau^r a_{vj}^{rr}$, $t_j^{rs} = t_\tau^r \bar{a}_{vj}^{rs}$.

Таким образом, в преобразованные балансы трудовых ресурсов теперь входят переменные межрегиональных поставок.

Из уравнений балансов продукции, не имеющих межрегиональных связей (II.37), получаем:

$$\bar{x}_i^r = \frac{1}{1 - a_{il}^r} \left(-x_i^r + \sum_j a_{ij}^{rr} x_j^0 + \sum_{j \neq l} a_{ij}^{rr} \bar{x}_j^r + u_i^{Tr} + a_{iv}^r x_\tau^r + \alpha_i^r z + q_i^r \right).$$

В правую часть этого уравнения неизвестное x_i^r входит с отрицательным знаком. Поэтому нельзя утверждать, что выполнение условия $\bar{x}_i^r \geq 0$ гарантируется при любых значениях всех неизвестных задачи. Однако следует иметь в виду, что x^r ограничено сверху ($x_i^r \leq N_i^r$). Кроме того, соотношение

$$\sum_j a_{ij}^{rr} x_j^0 + \sum_{j \neq l} a_{ij}^{rr} \bar{x}_j^r + u_i^{Tr} + a_{iv}^r x_\tau^r + \alpha_i^r z + q_i^r \geq x_i^r$$

соответствует реальным пропорциям развивающейся экономики, когда потребность в нетранспортабельной l -й продукции воз-

растает в каждом регионе. В ряде случаев выполняется $q_i^r \geq x_i^r$, что формально является достаточным условием неотрицательности \bar{x}_i^r .

Подстановка исключаемых неизвестных \bar{x}_i^r вносит изменения в балансы продукции, капиталовложений, трудовых ресурсов.

Вернемся к рассмотрению примера оптимизационной задачи для перспективного планирования (см. гл. II и приложение).

Классификация продукции в примере позволяет исключить из условий задачи балансы строительства (продукт № 3) и транспорта (продукт № 4). В результате получаем задачу существенно меньшей размерности. Число условий общего вида (без ограничений на отдельные переменные) для модели 1-2 уменьшается на $1/3$ (с 18 до 12). При этом изменяется большинство коэффициентов матрицы и увеличивается степень ее

Таблица IV.1

Коэффициенты балансов продукции и трудовых ресурсов района I в исходной и преобразованной задачах

	Переменные				
	\bar{x}_1	\bar{x}_2	\bar{x}_3	\bar{x}_4	z
Исходная задача:					
продукт 1	1	-0,25	1	-0,20	—
продукт 2	-0,16	0,75	-0,15	0,77	-0,34
Трудовые ресурсы	0,20	0,045	0,20	0,03	
Преобразованная задача:					
продукт 1	0,972	-0,2535	0,972	-0,2035	-0,0054
продукт 2	-0,1744	0,7482	0,1814	0,7682	-0,361
Трудовые ресурсы	0,2056	0,04507	0,2056	0,0307	0,0042

Продолжение

	Переменные			
	x_1^{12}	x_2^{12}	x_1^{21}	x_2^{21}
Исходная задача:				
продукт 1	-1		1	
продукт 2		-1		1
Трудовые ресурсы				
Преобразованная задача:				
продукт 1	-1,112	-0,0035	0,972	-0,0035
продукт 2	-0,0576	-1,0018	-0,0144	0,9982
Трудовые ресурсы	0,0224	0,0007	0,0056	0,0007

заполнения. Сравним, например, коэффициенты балансов продукции и трудовых ресурсов района I (см. табл. IV.1).

В моделях 1-1 и 1-2 все отрасли производства представлены единообразно; их особенности не учитываются. Для моделирования территориальных пропорций народного хозяйства особенно важно учитывать различия отраслей по степени мобильности (транспортабельности) продукции. По этому признаку все отрасли разбиваются на три группы:

- 1) отрасли с мобильной продукцией и значительными затратами на транспортировку;
- 2) отрасли с мобильной продукцией и незначительными затратами на транспортировку;
- 3) отрасли с немобильной продукцией.

Для отраслей первой группы балансы производства и распределения продукции целесообразно составлять по каждому региону с включением показателей межрегиональных связей или сальдо вывоза-ввоза (см. § 6).

Выделение третьей группы отраслей (районных) позволяет, как было показано выше, исключать соответствующие балансы продукции из основной задачи.

Выделение второй группы отраслей также создает возможности для сокращения размерности решаемой задачи. По этим отраслям уравнения региональных балансов продукции можно заменить одним уравнением по стране.

В модели 1-1:

$$\sum_{r,j} (\delta_{ij} - a_{ij}^r) x_j^r + \sum_{r,j} (\delta_{ij} - a_{ij}^r - b_{ij}^r) \bar{x}_j^r - \sum_r a_{it}^r x_t^r - \alpha_i z \geq q_i. \quad (IV.4)$$

В модели 1-2

$$\sum_{r,j} (\delta_{ij} - a_{ij}^r) x_j^r + \sum_{r,j} (\delta_{ij} - a_{ij}^r) \bar{x}_j^r - \sum_r u_i^{Tr} - \sum_r a_{it}^r x_t^r - \alpha_i z \geq q_i, \quad (IV.5)$$

где $\alpha_i = \sum_r \alpha_i^r$, $q_i = \sum_r q_i^r$.

По объединенным балансам продукции в результате решения оптимизационной задачи находятся величины сальдо вывоза-ввоза по каждому региону (v_i^r):

$$v_i^r = \sum_j (\delta_{ij} - a_{ij}^r) x_j^r + \sum_j (\delta_{ij} - a_{ij}^r - b_{ij}^r) \bar{x}_j^r - a_{it}^r x_t^r - \alpha_i^r z - q_i^r$$

или

$$v_i^r = \sum_r (\delta_{ij} - a_{ij}^r) x_j^r + \sum_j (\delta_{ij} - a_{ij}^r) \bar{x}_j^r - u_i^{Tr} - a_{it}^r x_t^r - \alpha_i^r z - q_i^r.$$

Если признается необходимым определение межрегиональных связей, то после нахождения сальдо вывоза-ввоза можно решать оптимизационные транспортные задачи и находить величины межрегиональных поставок.

Анализ показывает, что по многим видам продукции машиностроения, химической, легкой, пищевой промышленности затраты на транспортировку продукции крайне незначительны. Выполненные экспериментальные расчеты оптимального размещения производства свидетельствуют, что даже в рамках 16-отраслевой классификации можно без сколько-нибудь заметной потери точности объединить региональные балансы по легкой промышленности (максимальная разность региональных оценок продукции этой отрасли составила 0,004)¹.

В рассматриваемом примере оптимизационной задачи относительно небольшими являются затраты на перевозку продукта № 2 (готовой промышленной продукции); они в 10—20 раз меньше, чем на перевозку продукта № 1 (сырья). При объединении районных балансов по продукту № 2 число общих условий задачи сокращается до 10.

В оптимальном варианте сокращенной задачи значение функционала достигает 282,19 млрд. руб. (против 276,28); это является следствием исключения затрат на межрайонные перевозки продукта № 2. Объем транспортной работы уменьшился на 4,8%.

В скорректированном варианте затраты на межрайонные перевозки продукта № 2 включены в правые части балансов транспорта. Величины этих затрат могут довольно точно определяться экспертным путем; в решавшемся примере эти затраты взяты из оптимального варианта «полной» задачи. Теперь значение функционала равно 276,30 млрд. руб., объем работы транспорта больше, чем в оптимальном варианте полной задачи, на 0,15%, объемы производства продукта № 2 меньше на 0,2%, а продукта № 1 — практически совпадают.

Границы между указанными тремя группами отраслей условны и зависят от принимаемых критериев значимости транспортных затрат и экономического районирования. Так, число абсолютно немобильных видов продукции относительно невелико, но в практических задачах оно может быть увеличено за счет таких продуктов, которые экономически неэффективно перевозить между крупными районами. Множество продуктов второй группы может расширяться при условии разработки методов косвенного учета транспортного фактора в коэффициентах затрат транспортной отрасли и итеративной увязки производственной и транспортной частей единой задачи.

Методика классификации отраслей по трем группам должна опираться на анализ статистических данных о доле транспортных затрат по направлениям, транспортных балансах продукции; на опыт классификации отраслей и производств в зависимости

¹ Кроме того, путем подстановок можно исключить балансы строительства, транспорта, торговли. В результате число условий (по модели 1-1) уменьшается с 162 до 123.

от значения транспортного фактора в задачах оптимального отраслевого планирования; на экономико-математический анализ решенных задач оптимального развития и размещения производительных сил.

§ 3. Включение в модель производственных способов

Включение в ОМММ способов производства продукции по регионам существенно расширяет область выбора оптимальных решений и позволяет более полно и точно учитывать региональные условия развития хозяйства.

Производственные способы в ОМММ делятся на два основных типа:

1) организационно-технологические способы, обозначаемые ψ (учитывают различия производств по технологии, организационным формам, использованию взаимозаменяемых ресурсов, методам расширения мощностей и т. п.);

2) «территориальные» способы, обозначаемые γ (учитывают размещение производства внутри регионов).

Разделение производства на организационно-технологические способы не усложняет структуру ОМММ; увеличивается лишь

число переменных ($x'_{i\psi}$ и $\bar{x}'_{i\psi}$ вместо \bar{x}'_i , x'_i) и ограничений на отдельные переменные. Наиболее важно включать в решаемую задачу способы производства, связанные с ограниченными региональными ресурсами (производство электроэнергии на ГЭС и т. п.), а также способы со значительной дифференциацией коэффициентов затрат ресурсов, обладающих разной относительной эффективностью (дефицитностью) в разных районах (топливо и энергия, трудовые ресурсы и капиталовложения т. п.). Включение в межотраслевую межрайонную задачу организационно-технологических способов может существенно изменить территориальные пропорции и повысить эффективность получаемых плановых вариантов.

Следует отметить, что раздельное отражение в ОМММ производства на старых и новых мощностях уже позволяет учесть многие региональные различия экономических условий производства. В частности, можно несколько уменьшить отрицательные последствия агрегирования продукции. Если информация о производстве на старых мощностях может опираться на сложившиеся различия ассортимента продукции, то при обосновании показателей затрат на новых мощностях, по-видимому, допустимо исходить из сопоставимого (более однородного) ассортимента.

В информационный массив условной оптимизационной задачи введем данные о способах производства на новых мощностях, отличающиеся коэффициентами трудовых и капитальных затрат. По продукту 1 для всех районов вводятся «трудоемкие» и «капиталоемкие» способы, по продукту 2 в районах I и II — только

«трудоемкие» способы, а в районе III — только капиталоемкий способ (см. табл. П-9).

Рассмотрим три варианта задачи, которые учитывают последовательно возрастающее число новых способов производства. Сравнение будем проводить с оптимальным планом по модели 1-2 (см. § 6 гл. II).

В а р и а н т А включает капиталоемкий способ по производству продукта 1 в районе III. Целесообразность первоочередного изучения эффективности такого способа (экономящего труд) объясняется тем, что в районе III, специализирующемся на производстве продукта 1, трудовые ресурсы очень дефицитны (их оценка равна 7,447).

В результате решения задачи оказалось, что все производство продукта 1 на новых мощностях переводится на капиталоемкий способ и возрастает на 4,4 млрд. руб. Функционал равен 277,46 млрд. руб. (увеличивается на 1,15 млрд. руб.). В районе III в связи с возросшей потребностью в капиталовложениях объем продукции строительства (продукт 3) увеличился на 7,5 млрд. руб., а среднегодовой темп прироста капиталовложений увеличился с 16,00 до 19,43%. Оценка трудовых ресурсов несколько снизилась (до 6,542), а оценка капиталовложений немного увеличилась (0,591).

В районе I значительно увеличивается производство продукта 2 — на 12,8 млрд. руб. (в целом по стране на 11,4 млрд. руб.); трудовые ресурсы производственной сферы используются более полно. Производственная программа района II не претерпела существенных изменений.

В а р и а н т Б учитывает различные способы производства по продукту 1. Естественно, что функционал еще более возрастает (до 278,21 млрд. руб.). Основные результаты представлены в табл. IV.2. В первую очередь можно отметить следующие изменения в структуре оптимального плана. В районе I используется трудоемкий способ, в районе II — одновременно средний и трудоемкий способы, в районе III — одновременно капиталоемкий и трудоемкий способы (их комбинация оказывается эффективнее среднего способа). Трудовые ресурсы района I используются полностью и получают оценку 0,179. В районе I наиболее существенно увеличивается производство продукта 2, а в районе III — продуктов 1 и 3. В районе II производство продукта 2 сокращается из-за нехватки трудовых ресурсов.

В а р и а н т В включает все известные способы производства по продуктам 1 и 2, функционал возрастает до 284,63 млрд. руб., но при этом по сравнению с вариантом Б сокращаются объемы продукции строительства и транспорта, а производство продукта 1 сохраняется на прежнем уровне. Немного увеличивается производство продукта 2. Таким образом, введение в условия задачи новых способов производства продукта 2 существенно увеличивает эффективность использования материальных

Таблица IV.2

Оптимальный план производства для задачи со способами по продукту I
(вариант Б)

Отрасли	I				II				III				Итого
	\bar{x}	\bar{x}_c	\bar{x}_k	\bar{x}_t	\bar{x}	\bar{x}_c	\bar{x}_k	\bar{x}_t	\bar{x}	\bar{x}_c	\bar{x}_k	\bar{x}_t	
1	12	—	—	8	32	23,90	—	4,10	24	—	53,27	3,08	160,35
2	—	360,44	×	×	2,07	148,53	×	×	—	—	×	×	511,03
3	28	22,83	×	×	19	30,25	×	×	11	32,60	×	×	143,68
4	—	11,83	—	—	—	34,24	—	—	—	38,15	—	—	84,22
Итого . . .	443,10				294,08				162,10				900,27

Примечания. *c* — средний способ.
k — капиталоемкий способ.
t — трудоемкий способ.

Таблица IV.3

Оптимальный план производства для задачи по способам по продуктам I и 2
(вариант В)

Отрасли	I				II				III				Итого
	\bar{x}	\bar{x}_c	\bar{x}_k	\bar{x}_t	\bar{x}	\bar{x}_c	\bar{x}_k	\bar{x}_t	\bar{x}	\bar{x}_c	\bar{x}_k	\bar{x}_t	
1	12	—	—	8	32	23,32	6,71	—	24	—	53,26	2,91	160,17
2	—	—	×	349,49	12,37	150,26	×	—	—	—	—	×	512,12
3	—	46,96	×	×	19	31,81	×	×	11	32,86	×	×	141,63
4	—	11,44	—	—	—	33,36	—	—	—	38,06	—	—	82,86
Итого . . .	427,89				306,80				162,09				896,78

ресурсов и снижает транспортные затраты в народном хозяйстве. Оптимальный план производства приводится в табл. IV.3.

В районе I осуществляется перестройка структуры хозяйства при заметном снижении объемов производства. Продукт 2 производится только трудовым способом на новых мощностях; благодаря этому экономится 35 млрд. руб. капиталовложений. Объем производства снижается на 10,9 млрд. руб. (по сравнению с вариантом Б). Продукция строительства также производится только на новых мощностях. Хотя это вызывает перерасход 22,4 млрд. руб. капиталовложений, зато ведет к высвобождению 1,12 млн. работников. Оценка трудовых ресурсов района увеличивается до 1,035, а среднегодовой темп прироста капиталовложений уменьшается до 4,63%.

В районе II значительно возрастает производство продукта 2 (на 12,0 млрд. руб.), а производство продукта 1 теперь осуществляется средним и капиталоемким способами (это вызвано необходимостью высвобождения рабочей силы для растущего производства продукта 2). Экономия транспортных затрат во всех районах достигается за счет сокращения межрайонных перевозок, особенно по сырью.

Остановимся теперь на других возможных методах учета различий производственных условий.

Модель линейного программирования накладывает очень сильные ограничения на математическое описание производственных процессов. В частности, при построении различных модификаций ОМММ до сих пор предполагалось, что: 1) интенсивности применения производственных способов — непрерывные величины, 2) в рамках каждого способа затраты увеличиваются пропорционально объемам производств, 3) условия производства разных видов продукции не связаны между собой. При детализации отраслевой классификации эти предположения все в меньшей степени соответствуют реальности.

Учет в модели нелинейных зависимостей затрат от выпуска продукции (если такие зависимости известны) не представляет каких-либо трудностей при снижающейся эффективности затрат, что характерно для многих производств в добывающей промышленности. Здесь можно применять, например, метод кусочно-линейной аппроксимации, упоминавшийся в § 6 гл. II. Гораздо сложнее пока обстоит дело с алгоритмами решения задач, включающих функции с возрастающей эффективностью затрат от выпуска продукции (например, в результате концентрации производства в обрабатывающей промышленности).

Известно, что многие производственные объекты и их мощности по своей природе неделимы. Для их математического описания следует использовать целочисленное программирование. В этом случае условия производства и производственного использования ресурсов могут описываться альтернативными вариантами развития предприятий. Переменными развитиями

производства будут $x_{k\varphi}^r$ — интенсивности использования φ -го варианта развития k -го предприятия, размещенного в r -м регионе. На переменные $x_{k\varphi}^r$ накладываются условия:

$$x_{k\varphi}^r = \begin{cases} 1 \\ 0, \end{cases} \quad \sum_{\varphi} x_{k\varphi}^r \leq 1.$$

Универсальность целочисленного линейного программирования заключается в том, что альтернативные способы могут выражать нелинейные зависимости затрат от выпусков, эффективность комплексных (многоотраслевых) вариантов развития производства и использования ресурсов. На наш взгляд, уже в ближайшее время в информацию для ОМММ могут включаться варианты крупнейших и уникальных предприятий, целочисленных по своей технологической природе (гидроэлектростанции, металлургические комбинаты, нефтеперерабатывающие заводы, транспортные магистрали и т. п.).

Включение в ОМММ территориальных способов может существенно расширить границы ее применения. Территориальные способы характеризуют производство продукции и использование различных ресурсов по более дробным территориальным единицам, из которых состоит крупный регион, входящий в основную классификацию межрегиональной задачи. Например, в составе Прибалтийского экономического района можно выделить Латвийскую, Литовскую, Эстонскую союзные республики и Калининградскую область. Введение территориальных способов позволяет с помощью ОМММ решать некоторые принципиальные вопросы внутрирегионального размещения производительных сил с учетом дифференциации производственных затрат и локализации природных и трудовых ресурсов, производственных мощностей.

Внутри каждого территориального способа производство может дифференцироваться и по организационно-технологическим способам.

Основная часть условий ОМММ при включении организационно-технологических и территориальных способов модифицируется незначительно. (Ниже приводятся модифицированные условия только модели 1-2.)

В балансах капиталовложений и продукции увеличивается только число коэффициентов и неизвестных, характеризующих производственные способы:

$$\sum_{j, \gamma, \Psi} h_{ij\gamma\Psi}^r \bar{x}_{j\gamma\Psi}^r - \sum_{t=1}^T u_t^{rT} \leq 0 \quad (i = k+1, \dots, n; r = 1, \dots, m); \quad (IV.6)$$

$$\sum_{j, \gamma, \Psi} (\delta_{ij} - a_{ij\gamma\Psi}^0) x_{j\gamma\Psi}^0 + \sum_{j, \gamma, \Psi} (\delta_{ij} - a_{ij\gamma\Psi}^r) \bar{x}_{j\gamma\Psi}^r - u_i^{rT} - a_{i\tau}^r x_{\tau}^r - \alpha_i^r z - \sum_x x_i^{rs} + \sum_x x_i^{sr} \geq q_i^r \quad (i = 1, \dots, n_1; r = 1, \dots, m), \quad (IV.7)$$

где n_1 — число отраслей с продукцией, транспортируемой между подрайонами.

Продукция некоторых отраслей не перевозится из одного подрайона в другой (число таких отраслей зависит от принятой отраслевой классификации). Поэтому ОМММ с территориальными способами включает и особые балансы производства и распределения продукции по подрайонам:

$$\sum_{j, \psi} (\delta_{lj} - a_{lj\psi}^r) x_{j\psi}^{r\gamma} + \sum_{j, \psi} (\delta_{lj} - a_{lj\psi}^r) \bar{x}_{j\psi}^{r\gamma} - u_l^r r - a_{l\tau}^r x_{\tau}^r - \alpha_l^r z \geq q_l^r \gamma. \quad (IV.8)$$

Эти балансы включают новые параметры:

$a_{l\tau}^r$ — затраты продукции l -й отрасли подрайона γ на единицу работы транспорта в r -м районе;

α_l^r — доля l -й отрасли подрайона γ района r в фонде непродовственного потребления страны.

Некоторые балансы (IV.8) могут быть исключены из задачи путем подстановок при выполнении условий, рассмотренных в § 2.

В балансах транспортной работы регионов, по-видимому, целесообразно использовать дифференцированные коэффициенты затрат на внутрирегиональные перевозки. Но в первом приближении можно включить в ОМММ следующие условия:

$$\begin{aligned} - \sum_j a_{vj}^{rr} \sum_{\gamma, \psi} x_{j\psi}^{r\gamma} - \sum_j a_{vj}^{rr} \sum_{\gamma, \psi} \bar{x}_{j\psi}^{r\gamma} + x_{\tau}^r - \sum_{s, j} (a_{vj}^{rs} - a_{vj}^{rr}) x_j^{rs} - \\ - \sum_{s, j} a_{vj}^{rs} x_j^{sr} \geq 0 \quad (r = 1, \dots, m), \end{aligned} \quad (IV.9)$$

Условия (IV.9) могут исключаться путем подстановок (см. § 2).

Ограничения по трудовым ресурсам устанавливаются для каждой территориальной единицы (подрайона) с учетом ожидаемой миграции и выделения части ресурсов на транспорт:

$$\sum_{j, \psi} t_{j\psi}^r x_{j\psi}^{r\gamma} + \sum_{j, \psi} t_{j\psi}^r \bar{x}_{j\psi}^{r\gamma} \leq L^{r, \gamma} \quad (IV.10)$$

где $L^{r\gamma}$ — трудовые ресурсы, выделяемые для производственной сферы (без транспорта) в подрайоне γ района r .

Если прогнозы миграции по каждому подрайону в отдельности настолько оптимистичны, что $\sum_{\gamma} L^{r\gamma} \geq L^r - t_{\tau}^r x_{\tau}^r$, то ОМММ должна включать еще условия общерегионального баланса трудовых ресурсов:

$$\sum_{\gamma, j, \psi} t_{j\psi}^r x_{j\psi}^{r\gamma} + \sum_{\gamma, j, \psi} t_{j\psi}^r \bar{x}_{j\psi}^{r\gamma} + t_{\tau}^r x_{\tau}^r \leq L^r. \quad (IV.11)$$

Ограничения на отдельные переменные

$$0 \leq x_{j\psi}^{r\gamma} \leq N_{j\psi}^{r\gamma} \quad \text{и} \quad 0 \leq \bar{x}_{j\psi}^{r\gamma} \leq d_{j\psi}^{r\gamma} \quad (IV.12)$$

дополняются ограничениями по подрайонам:

$$0 \leq \sum_{\Psi} \bar{x}_{j\Psi}^{r_i} \leq d_j^{r_i}. \quad (\text{IV.13})$$

Таким образом, введение в ОМММ территориальных способов дает возможность существенно детализировать исследование без значительного увеличения размерности решаемой задачи. Для ближайших расчетов можно использовать, например, следующую классификацию районов и подрайонов, включающую все союзные республики, экономические районы СССР:

1. Запад (Белорусская, Латвийская, Эстонская ССР, Калининградская область);
2. Юг (Донецко-Приднепровский, Юго-Западный, Южный районы УССР, Молдавская ССР);
3. Север европейской части РСФСР (Северо-Западный, Центральный, Волго-Вятский районы);
4. Юг Европейской части РСФСР (Центрально-Черноземный, Поволжский, Северо-Кавказский районы);
5. Закавказье (Грузинская, Азербайджанская, Армянская ССР);
6. Урал;
7. Казахстан;
8. Средняя Азия (Узбекская, Киргизская, Таджикская, Туркменская ССР);
9. Сибирь (Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский районы);
10. Дальний Восток.

Дальнейшее выделение подрайонов усиливает необходимость учета ограничений на развитие производств различных отраслей, связанных общностью территории и использованием локализованных природных ресурсов (ограничения по сельскохозяйственным площадям и площадям под промышленную застройку, по водным ресурсам и т. д.). Появляется возможность исследования в рамках ОМММ (хотя бы в упрощенном виде) вопросов концентрации и агломерации производства. Решение задачи, включающей территориальные способы, позволяет корректировать исходные данные для транспортной части ОМММ — расстояния между региональными центрами производства и потребления и дальности внутрирегиональных перевозок.

§ 4. Моделирование межрегиональных связей¹

Одной из самых сложных проблем построения ОМММ является правильное отражение связей по вывозу и ввозу продукции. Большое разнообразие предлагаемых территориальных моделей объясняется различными путями решения этой проблемы.

¹ В данном параграфе используются результаты исследований, проводившихся совместно с В. П. Гурьевым.

не
используются

Межрегиональные связи обладают, по-видимому, меньшей устойчивостью, чем межотраслевые производственные связи. Они не только чутко реагируют на все изменения территориальных пропорций, но и являются, в свою очередь, важным фактором изменения экономической эффективности. Фиксация межрегиональных связей или их географической структуры существенно сужает область выбора наилучших решений при территориальном планировании народного хозяйства.

Свойством оптимальных планов всех рассматривавшихся выше модификаций ОМММ является отсутствие двусторонних связей по межрегиональным поставкам продукции одной отрасли, т. е. в оптимальном плане всегда выполняется условие $x_i^{rs} \cdot x_i^{sr} = 0$ (см. § 3 гл. II). Исключение взаимного обмена регионов продукции одной отрасли разумно в том случае, когда отрасль однородна по составу продукции. Но такая однородность возможна лишь при очень значительной детализации отраслей. В тех же случаях, когда выделяется даже несколько десятков отраслей, отмеченное свойство оптимального плана находится в явном противоречии с экономической действительностью.

Вследствие агрегирования отраслей возникают систематические ошибки оптимального плана: занижение целесообразных размеров межрегионального оборота. (Если бы можно было рассчитать оптимальный план задачи с однородными по составу продукции отраслями, то при агрегировании этого плана неизбежно получились бы встречные межрегиональные поставки.) Непрерывное развитие специализации производства и растущая дифференциация потребляемых продуктов ведут к интенсификации межрегионального обмена в рамках сложных отраслей, а это увеличивает вероятность ошибок агрегирования.

Расчеты на основе статистических материалов показывают, что главным фактором, определяющим объем встречных межрайонных перевозок, является сложность номенклатуры продукции, объединенной в одну позицию. Так, по таким относительно однородным позициям отрасли «черная металлургия» (железная руда, чугун, балки и швеллеры), объем встречных перевозок при делении территории СССР на 10 экономических зон (см. § 1 гл. III) составляет 5—10% от всего объема межзональных поставок, а по многономенклатурной позиции «Прочие черные металлы» встречные поставки превышают 25% всех межзональных поставок¹.

Детализация отраслевой классификации ОМММ существенно уменьшает ошибки агрегирования, приводит к возрастанию меж-

¹ В этих расчетах учитывались лишь непосредственно видимые встречные поставки: минимальные из элементов шахматной таблицы обмена грузов, симметричных относительно главной диагонали. При этом недоучитывалась значительная часть встречных перевозок (по реальной транспортной сети). Для определения встречных потоков одноименной продукции с учетом конфигурации экономических зон необходимо применять более сложные методы.

регионального обмена в оптимальных планах. Принципы отраслевой классификации предусматривают, в частности: 1) отделение транспортабельных видов продукции от нетранспортабельных; 2) разделение добывающих и обрабатывающих подотраслей; 3) более широкое представительство отраслей, на долю которых приходится основная часть транспортных затрат; 4) выделение видов продукции, которые могут производиться лишь в некоторых регионах (см. § 1). Построенная с учетом данных требований отраслевая классификация позволяет, на наш взгляд, в основном элиминировать отрицательное влияние агрегирования на расчеты межрегионального грузооборота.

Помимо прямого увеличения размерности решаемых межотраслевых межрегиональных задач примерно на один порядок имеются реальные возможности детализации отраслевой классификации за счет преобразованной структуры ОМММ (см. § 2). С другой стороны, введение в ОМММ способов производства и целочисленных переменных уменьшает возможные ошибки, возникающие в линейных моделях при детализации отраслевой классификации (см. § 3).

Указанные меры могут дать ощутимый эффект при проведении плановых расчетов на основе ОМММ. Но они не решают всех проблем правильного отражения межрегиональных потоков. Для этого необходимы специальные усовершенствования ОМММ.

Программа исследований предусматривает расширение ОМММ за счет введения дополнительных условий по межрегиональным связям:

1) включение ограничений на значения межрегиональных поставок;

2) установление соотношений между значениями соответствующих поставок;

3) определение «неконкурирующего» вывоза (ввоза) продукции посредством особых коэффициентов затрат;

4) включение в модель статистических зависимостей вывоза и ввоза от основных переменных и параметров ОМММ («гравитационных» моделей и их обобщений).

В первых двух случаях используется постулат о том, что прикладные ОМММ, несмотря на укрупненность своих показателей, в основных чертах правильно отражают факторы развития и размещения производительных сил; проблема заключается в уточнении расчетов посредством введения корректирующих условий.

Введение ограничений типа

$$x_i^{rs} \geq d_i^{rs} \quad (\text{IV.14})$$

может осуществляться на основе анализа динамики этих величин за предшествующие годы с учетом тенденций развития соответствующих отраслей в отдельных регионах, прогноза грузопотоков, а также анализа предшествующих решений на основе

ОМММ. Важным источником информации о межрегиональных поставках являются также решения оптимизационных отраслевых задач по детализированной номенклатуре продуктов. Ограничения по межрегиональным поставкам должны уточняться в процессе координации между ОМММ и делами оптимального планирования многопродуктовых отраслей.

С целью уменьшения ошибок агрегирования в первую очередь должны вводиться ограничения на двусторонние межрегиональные поставки. Как показывает предварительный анализ статистических данных о железнодорожных перевозках, практическое значение имеет задание таких ограничений для небольшого числа пар районов — основных производителей соответствующей продукции. Так, в шахматной таблице межрайонных поставок черных металлов почти нет нулевых элементов, т. е. встречные перевозки типичны. Однако, если исключить поставки менее 500 тыс. т, то найдется только несколько пар районов, для которых имеют место встречные перевозки (Юг — Центр, Урал — Центр, Юг — Урал, Урал — Западная Сибирь).

Дополнительным аргументом в пользу включения в ОМММ ограничений типа

$$x_i^{rs} = kx_i^{sr} \quad (IV.15)$$

для некоторых многономенклатурных отраслей служит усиление региональной внутриотраслевой специализации, в результате чего растущий вывоз одних видов продукции обычно сопровождается увеличением ввоза других видов продукции, относящихся к той же отрасли.

Рассмотренные направления расширения ОМММ за счет включения зависимостей (IV.14) и (IV.15) в методическом отношении не представляются интересными, если это делается в отрыве от разработки системы моделей оптимального территориально-производственного планирования. Однако в практических расчетах можно добиться существенного улучшения результатов, вводя эти условия.

Более интересным является третье направление, использующее идею учета «неконкурирующего» импорта в межотраслевых балансах: из общего объема потребления продукции выделяются затраты импортируемой продукции, не заменяемой продукцией отечественного производства.

Продукция, принадлежащая одной укрупненной отрасли, не является полностью взаимозаменяемой. Поэтому, принимая во внимание устойчивые региональные различия отраслевого ассортимента, можно по ряду отраслей ввести в модель следующие типы коэффициентов «неконкурирующего» вывоза и ввоза продукции:

a_{ij}^{rs} — материальные затраты продукции i -й отрасли, производимой в r -м регионе, на единицу продукции j -й отрасли, производимой в s -м регионе;

b_{ij}^{rs} — капитальные затраты в последнем планируемом году продукции i -й отрасли, производимой в r -м регионе, на прирост единицы продукции j -й отрасли в s -м регионе;
 a_{it}^{rs} — материальные затраты продукции i -й отрасли, производимой в r -м регионе, на единицу работы транспорта в s -м регионе;
 α_i^{rs} — доля продукции i -й отрасли, производимой в r -м регионе и потребляемой в s -м регионе, в общем фонде непродовственного потребления страны.

Другие коэффициенты материальных, капитальных (годовых), транспортных затрат и структура потребления будут теперь отражать затраты продукции (данного региона или ввозимой), *взаимозаменяемой по региональному происхождению*; обозначим эти коэффициенты следующим образом: \bar{a}_{ij}^r , \bar{b}_{ij}^r , \bar{a}_{it}^r , $\bar{\alpha}_i^r$.

Соотношения между коэффициентами ОМММ 1-1 и модифицированной модели таковы:

$$\begin{aligned} a_{ij}^r &= \bar{a}_{ij}^r + \sum_s a_{ij}^{sr}; \\ b_{ij}^r &= \bar{b}_{ij}^r + \sum_s b_{ij}^{sr}; \\ a_{it}^r &= \bar{a}_{it}^r + \sum_s a_{it}^{sr}; \\ \alpha_i^r &= \bar{\alpha}_i^r + \sum_s \alpha_i^{sr}. \end{aligned}$$

Изменяется также и экономический смысл переменных межрегиональных поставок (\bar{x}_i^{rs} и \bar{x}_i^{sr}); они отражают теперь не весь объем вывоза (ввоза), а только объемы конкурирующего вывоза (ввоза).

Выделение затрат неконкурирующего вывоза (ввоза) модифицирует по сравнению с моделью 1-1 уравнения балансов производства и распределения продукции:

$$\begin{aligned} & \sum_j (\delta_{ij} - \bar{a}_{ij}^r) \bar{x}_j^0 + \sum_j (\delta_{ij} - \bar{a}_{ij}^r - \bar{b}_{ij}^r) \bar{x}_j^r - \bar{a}_{it}^r x_t^r - \sum_{s,j} \bar{a}_{ij}^{rs} x_j^s - \\ & - \sum_{s,j} (a_{ij}^{rs} + b_{ij}^{rs}) \bar{x}_j^s - \sum_s a_{it}^{rs} x_t^s - \hat{\alpha}_i^r z - \sum_s \bar{x}_i^{rs} + \sum_s \bar{x}_i^{rs} \geq q_i^r, \quad (\text{IV.16}) \end{aligned}$$

где $\hat{\alpha}_i^r = \bar{\alpha}_i^r + \sum_s \alpha_i^{rs}$ (таким образом, $\alpha_i^r = \hat{\alpha}_i^r + \sum_s \alpha_i^{sr} - \sum_s \alpha_i^{rs}$).

¹ При использовании модифицированной ОМММ 1-2 следует учитывать доли материально-вещественных элементов капитальных вложений, производимых в r -м регионе и потребляемых в s -м регионе. Для упрощения обозначений примем, что потребности в прочей конечной продукции (q_i^r) удовлетворяются за счет внутрирегионального потребления и конкурирующего ввоза.

Модификация балансов производства и распределения продукции позволяет определять с помощью ОМММ более реалистичные объемы межрегиональных поставок; в частности, в оптимальный план теперь могут входить двусторонние межрегиональные потоки продукции, формально относимой к одной отрасли.

В соответствии с принятой методикой учета в ОМММ затрат транспорта на межрегиональные перевозки необходимо преобразовать объемы неконкурирующего вывоза в объемы поставок между смежными регионами.

Обозначим объем неконкурирующей продукции i -й отрасли, транспортируемой через r -й регион в смежный s -й регион, через \hat{x}_i^{rs} . Эта величина включает поставки из различных регионов-производителей (p) в различные регионы-потребители (q), использующие транспортные пути из r в s ($pq[rs]$).

$$\hat{x}_i^{rs} = \sum_{p,q} \left[\sum_j a_{ij}^{pq[rs]} x_j^q + \sum_j (a_{ij}^{pq[rs]} + b_{ij}^{pq[rs]}) \bar{x}_j^q + a_{it}^{pq[rs]} x_t^q + \alpha_i^{pq[rs]} z \right]. \quad (IV.17)$$

Перевозки \hat{x}_i^{rs} включаются в объем транспортной работы r -го региона. В результате преобразований уравнение транспорта примет вид:

$$\begin{aligned} & - \sum_j a_{rj}^{rs} x_j^r - \sum_j a_{rj}^{rs} \bar{x}_j^r + x_r^r - \sum_{j,s} (a_{rj}^{rs} - a_{rj}^{rs}) \bar{x}_j^{rs} - \sum_{j,s} a_{rj}^{rs} \bar{x}_j^{sr} - \\ & - \sum_{s,j} (a_{rj}^{rs} - a_{rj}^{rs}) \hat{x}_j^{rs} - \sum_{s,j} a_{rj}^{rs} \hat{x}_j^{sr} \geq 0. \end{aligned} \quad (IV.18)$$

Для полного преобразования условий (IV.18) необходимо выразить переменные \hat{x}_j^{rs} через основные переменные ОМММ.

С учетом замены условий (II.2) и (II.3) модели 1-1 или 1-2 на (IV.16) и (IV.18) структура матрицы задачи существенно изменится (региональные блоки производственных и транспортных затрат связываются между собой) и степень заполнения матрицы увеличивается.

Статистические зависимости вывоза и ввоза от основных переменных ОМММ. Рационализация размещения производительных сил неизбежно сопровождается структурными сдвигами. Поэтому простая экстраполяция сложившихся межрегиональных связей неправомерна. Более общую основу для использования эмпирических данных при моделировании межрегиональных связей дают математико-статистические методы. Эти методы довольно часто используются при моделировании вывоза и ввоза продукции. Например, в работах Института комплексных транспортных проблем по межрайонным связям проката применяется следующее уравнение регрессии: $\beta = 3,07 + 0,42\varphi$, где β — доля потребления проката, удовлетворяемого за счет районного

производства (%); φ — соотношение между производством и потреблением проката в районе (%) ¹.

На основании такого рода зависимостей можно построить дополнительные ограничения на ввоз и вывоз продукции, выразив их через переменные моделей 1-1 или 1-2, определяющие объемы производства и внутрирегионального потребления. Однако этот подход имеет существенный недостаток: не учитывается местоположение регионов — производителей и потребителей продукции². Для многих отраслей целесообразно вводить в статистические зависимости межрегиональных связей транспортную составляющую.

Рассмотрим простейшую модель оптимизации поставок однородного груза:

$$\sum_{s=1}^{m_2} x^{rs} = A^r \quad (r = 1, \dots, m_1);$$

$$\sum_{r=1}^{m_1} x^{rs} = u^s \quad (s = 1, \dots, m_2);$$

$$\sum_{r=1}^{m_1} \sum_{s=1}^{m_2} c^{rs} x^{rs} \rightarrow \min,$$

где x^{rs} — объем поставки из пункта r в пункт s ;

c^{rs} — затраты на перевозку единицы груза из пункта r в пункт s ;

A^r — возможный объем поставок из пункта r (запас);

u^s — объем потребностей пункта s .

Оптимальный размер поставки в общем случае зависит от всех значений запасов, потребностей и коэффициентов транспортных затрат. На основе обобщения результатов решения оптимизационных задач могут быть выведены статистические закономерности, позволяющие приближенно определять размер каждой поставки только по трем важнейшим факторам: $x^{rs} = f(A^r, u^s, c^{rs})$. Очевидно, что при увеличении параметра c^{rs} вероятность снабжения из r в s должна уменьшаться. При увеличении параметра A^r вероятность снабжения будет увеличиваться. Рассматриваемые ниже математико-статистические модели межрайонных связей имеют аналогичную природу.

Простейшим типом математико-статистических моделей межрегиональных связей является так называемая гравитационная модель, в которой межрегиональный обмен рассматривается как функция от объема производства вывозящего региона, объема

¹ Перспективное планирование транспортно-экономических связей в СССР. М., «Транспорт», 1968.

² Возникают также дополнительные трудности, связанные с нелинейностью ограничений (при расшифровке соотношений φ) и увеличением размерности задачи.

потребления ввозящего региона и показателей транспортного расстояния между ними¹.

Наибольшее практическое применение гравитационные модели получили при решении различных вопросов, связанных с расселением и миграцией населения². В работе Л. М. Лидумса такая модель используется для планирования пригородного сельскохозяйственного производства как часть модели оптимального планирования³. В. Леонтьев и А. Страут первыми предложили использовать аналогичную модель в рамках многоотраслевой межрегиональной модели⁴.

Гравитационная модель выражается следующим уравнением:

$$z^{rs} = k \frac{x^r u^s}{l_{rs}^\beta}, \quad (\text{IV.19})$$

где z^{rs} — объем поставок продукции, произведенной в r -м регионе, в регион s ;

x^r — объем производства продукции в r -м регионе;

u^s — объем потребления продукции в s -м регионе;

l_{rs} — расстояние или издержки при перевозке продукции из r -го региона в регион s .

k и β — постоянные величины.

Величины z_i^{rs} (в отличие от x_i^{rs}) выражают прямые связи между регионами-производителями и регионами-потребителями. Объем производства продукции может быть выражен как сумма поставок во все регионы, включая и внутрорегиональные поставки:

$$x_i^r = \sum_{s=1}^m z_i^{rs}.$$

Поскольку число переменных z_i^{rs} в системе из m регионов существенно больше числа переменных x_i^{rs} , попытка применить зависимости типа в ОМММ приводят к увеличению размерности задачи.

¹ Название «гравитационная модель» связано с наличием некоторого сходства уравнения модели с математической записью общеизвестного закона тяготения Ньютона, согласно которому взаимное притяжение двух тел прямо пропорционально произведению их масс и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними.

² Изард У. Методы регионального анализа. М., 1966; Хаггет П. Пространственный анализ в экономической географии. М. 1968; Медведков Ю. В. Экономико-географическая изученность районов капиталистического мира. Вып. II. Приложения математики в экономической географии. М., 1965.

³ Лидумс Л. М. Применение гравитационных моделей в планировании размещения производства овощей в пригородной зоне. Математические методы в экономике. Вып. 3, Рига, 1969.

⁴ Leontief W., Straut A. Multiregional Input-Output Analysis (Structural interdependence and Economic development. Proceedings of an International Conference. Geneva, 1961).

Переход к переменным z_i^{rs} вносит изменения в уравнения транспорта. Обозначим $z_i^{pq[r]}$ поставку продукции i -й отрасли из региона p в регион q , проходящую через регион r (для региона r поставка будет транзитной, если $p \neq r$). Предполагается, что до решения основной задачи (с помощью ОМММ) для каждой пары производящих и потребляющих регионов определен рациональный маршрут грузов, поэтому $z_i^{pq[r]} = z_i^{p,q}$ ($r = 1, \dots, m$). Известны $a_{ij}^{pq[r]}$ — затраты транспорта r -го региона на перевозку единицы продукции j -й отрасли из региона p в регион q .

Затраты транспорта r -го региона на межрегиональные перевозки составляют $\sum_{p,q,j} a_{ij}^{pq[r]} z_j^{pq[r]}$ (в число слагаемых входят поставки z_j^{pq} тех регионов p и q , для которых $a_{ij}^{pq[r]} > 0$). После преобразований уравнение транспорта региона принимает вид:

$$\begin{aligned}
 & - \sum_i a_{ij}^{rr} x_j^r - \sum_j a_{ij}^{rr} \bar{x}_j^r + x_\tau^r + \sum_{s \neq r, j} a_{ij}^{rs} z_j^{rs} - \sum_{s \neq r} a_{ij}^{rs} z_j^{sr} - \\
 & - \sum_{p,q,j} a_{ij}^{pq[r]} z_j^{pq[r]} \geq 0.
 \end{aligned} \tag{IV.20}$$

Модель (IV.19) должна рассматриваться как первоначальное приближение к более реалистичной математико-статистической модели межрегиональных связей, включаемых в ОМММ. На основе графического анализа, анализа парных коэффициентов корреляции, анализа отклонений расчетных значений от фактических по отдельным регионам необходимо выявить совокупность важнейших факторов, определяющих объем межрегиональных поставок. Очевидно, что межрегиональные связи одной отрасли зависят от развития экономики регионов в целом; поэтому в математико-статистических моделях потребуется учитывать и межотраслевые факторы.

На результаты обработки статистических данных существенное влияние может оказывать нерациональность фактических межрегиональных связей, обусловленная неоптимальным размещением производительных сил и, в частности, неоптимальным прикреплением поставщиков к потребителям. Поэтому необходимо разрабатывать особые приемы элиминирования влияния этого фактора (выборочный анализ фактических и оптимальных грузопотоков и т. д.).

Перспективным представляется применение методов активного эксперимента. Теоретическое и методологическое значение применения активных экспериментов (как симбиоза статистических и оптимизационных методов) выходит далеко за рамки данной проблемы. Процесс проведения активного эксперимента для последовательного уточнения параметров статистических зависимостей моделирует в ускоренном режиме внедрение методов оптимального планирования в хозяйственную практику. Исходные параметры (полученные пассивным наблюдением экономических

фактов) применяются в оптимизационных моделях; результаты оптимизации (поскольку они предназначаются для принятия решений) используются для расчета новых параметров и т. д.

Целесообразность сохранения линейности соотношений ОМММ сильно ограничивает класс статистических моделей межрегиональных связей. Простейшими линейными моделями для каждой отрасли в отдельности являются:

$$z^{rs} = a_0 + a_1 x^r + a_2 u^s - f(l_{rs}), \quad (IV.21)$$

где $f(l_{rs})$ — произвольная неубывающая функция от l_{rs} ;

$$z^{rs} = a_0 + a_1 x^r + \frac{a_2 u^s}{f(l_{rs})}; \quad (IV.22)$$

$$z^{rs} = \frac{a_0 + a_1 x^r + a_2 u^s}{f(l_{rs})} \quad (IV.23)$$

и т. д.

Параметры моделей могут определяться на основе обработки статистических данных о перевозках, объемах производства и потреблений как по всем регионам, так и по группам регионов, обладающих определенной спецификой. В последнем случае параметры моделей будут иметь региональные индексы.

Имеются две принципиальные возможности включения зависимостей типа (IV.21), (IV.22), (IV.23).

В а р и а н т 1. Поскольку u_i^s можно представить как

$$u_i^s = x_i^s - \sum_{r \neq s} z_i^{sr} + \sum_{r \neq s} z_i^{rs},$$

то, подставляя в модели (IV.21), (IV.22), (IV.23) выражения x_i^s и u_i^s , получим после всех преобразований:

$$\begin{aligned} & -\bar{a}_{1i} \bar{x}_i^r - \bar{a}_{1i} \bar{x}_i^r - \bar{a}_{2i} \bar{x}_i^s - \bar{a}_{2i} \bar{x}_i^s + z_i^{rs} + \bar{a}_{2i} \sum_{r \neq s} z_i^{sr} - \\ & - \bar{a}_{2i} \sum_{r \neq s} z_i^{rs} = \bar{a}_i^0, \end{aligned} \quad (IV.24)$$

где \bar{a}_{0i} , \bar{a}_{1i} , \bar{a}_{2i} — параметры уравнений регрессии (зависят от выбора моделей из (IV.21), (IV.22) и т. д.).

Уравнения (IV.24) включаются в ОМММ как дополнительные ограничения на межрегиональные поставки. Максимальное число таких уравнений равно произведению числа отраслей с транспортабельной продукцией на удвоенное число пар регионов, между которыми возможны поставки. Для сокращения количества уравнений (IV.24), вводимых в ОМММ, целесообразно учитывать только существенные связи, т. е. между потенциально основными потребителями продукции.

Систему уравнений (IV.24) можно интерпретировать как общие условия модели блочного программирования, корректирующие решения подмодели, в основных чертах совпадающей с моделями 1-1 и 1-2.

Число дополнительных уравнений можно значительно сократить, если включать в ОМММ только более слабые условия по суммарному вывозу и ввозу продукции.

Уравнение общего вывоза продукции i -й отрасли из r -го региона имеет вид:

$$\begin{aligned}
 & -(m-1)\bar{a}_{1i}x_i^0 - (m-1)\bar{a}_{1i}\bar{x}_i^r - \bar{a}_{2i} \sum_{s \neq r} x_i^s - \bar{a}_{2i} \sum_{s \neq r} \bar{x}_i^s + \\
 & + \sum_{s \neq r} z_i^{rs} + \bar{a}_{2i} \sum_{\substack{r, s \\ (r \neq s)}} z_i^{sr} - \bar{a}_{2i} \sum_{\substack{r, s \\ (r \neq s)}} z_i^{rs} = (m-1)\bar{a}_i^0 \quad (IV.25)
 \end{aligned}$$

(для простоты здесь и в дальнейшем допускается, что каждый регион может быть связан поставками со всеми регионами, т. е. суммы вывоза или ввоза включают по $m-1$ переменных слагаемых).

Уравнение общего ввоза продукции i -й отрасли в s -й регион:

$$\begin{aligned}
 & -\bar{a}_{1i} \sum_{r \neq s} x_i^0 - \bar{a}_{1i} \sum_{r \neq s} \bar{x}_i^r - (m-1)\bar{a}_{2i}x_i^s - (m-1)\bar{a}_{2i}\bar{x}_i^s + \\
 & + \sum_{r \neq s} z_i^{rs} + \bar{a}_{2i} \sum_{r \neq s} z_i^{sr} - \bar{a}_{2i} \sum_{r \neq s} z_i^{rs} = (m-1)\bar{a}_i^0. \quad (IV.26)
 \end{aligned}$$

Вариант 2. Поскольку u_i^s допустимо представить как

$$u_i^s = \sum_j a_{ij}^s x_j^s + \sum_j \bar{a}_{ij}^s \bar{x}_j^s + \sum_j b_{ij}^s x_j^s + a_{i\tau}^s x_\tau^s + \alpha_i^s z + q_i^s,$$

то модели (IV.21), (IV.22), (IV.23) можно привести к виду:

$$z_i^{rs} = \bar{a}_{1i}^0 x_i^0 + a_{1i} \bar{x}_i^r + \sum_j \bar{a}_{ij}^0 x_j^s + \sum_j (\bar{a}_{ij}^s + \bar{b}_{ij}^s) \bar{x}_j^s + \bar{a}_{i\tau}^s x_\tau^s + \bar{\alpha}_i^s z + \bar{c}_i^s, \quad (IV.27)$$

$$\begin{aligned}
 \text{где } \bar{a}_{ij}^s &= \bar{a}_{2i} a_{ij}^s, & \bar{b}_{ij}^s &= \bar{a}_{2i} b_{ij}^s, & \bar{a}_{i\tau}^s &= \bar{a}_{2i} a_{i\tau}^s, \\
 \bar{\alpha}_i^s &= \bar{a}_{2i} \alpha_i^s, & \bar{c}_i^s &= \bar{a}_{0i} + \bar{a}_{2i} q_i^s.
 \end{aligned}$$

Выражения (IV.27) подставляются в уравнения балансов производства и распределения продукции и балансов транспорта¹.

В результате преобразований количество уравнений по сравнению с моделями 1-1 и 1-2 не меняется, но исчезают переменные межрегиональных поставок и увеличивается заполняемость матрицы. Межрегиональные поставки определяются после решения основной задачи по формуле (IV.27).

В § 6 анализируются такие способы включения статистических зависимостей вывоза и ввоза, которые приводят к задачам блочного программирования.

¹ Подробнее см. статью Гранберга А. Г., Гурьева В. П.—Сб. «Методы и модели территориального планирования». Вып. I. Новосибирск, 1971, с. 236—238.

Рассмотренные модификации ОМММ позволяют подойти к более адекватному отражению межрегиональных связей в моделях, используемых в экспериментальных расчетах. Трудности, которые возникают в настоящее время, заключаются не столько в некотором усложнении расчетов, сколько в отсутствии систематической и полной статистической базы для моделирования межрегиональных связей.

§ 5. Транспортные проблемы

Влияние транспортного фактора на развитие и размещение производительных сил страны многогранно. В системе народного хозяйства транспорт выступает, во-первых, как средство обеспечения территориальных связей, т. е. как отрасль, производящая особую продукцию — перевозки; во-вторых — как крупный потребитель материальных и трудовых ресурсов; в-третьих — как фактор, ограничивающий размещение производительных сил (производство и перевозки осуществляются только при наличии транспортного обеспечения и в пределах пропускных способностей транспортной сети); в-четвертых — как фактор, во многом определяющий конечную эффективность развития и размещения производительных сил. Решение проблем оптимизации размещения производительных сил предполагает не только всесторонний учет влияния транспортного фактора, но и определение главных направлений его оптимального развития — схем перевозок массовых грузов, вариантов строительства, реконструкции и расширения транспортных коммуникаций и узлов, развития подвижного состава.

Во всех анализировавшихся выше ОМММ транспорт был представлен в очень упрощенном виде: 1) все виды транспорта объединены в один усредненный вид транспорта; 2) каждая пара смежных регионов соединена только одной коммуникацией; 3) затраты на перевозку между смежными регионами отнесены полностью на регион-отправитель; 4) предполагается известным состоянием транспортной сети на конец планируемого периода, т. е. развитие транспорта (в том числе транспортное строительство) определяется вне модели; 5) непосредственно учитывается деятельность только грузового транспорта (предполагается, что потребности в пассажирских перевозках определяются заранее).

Разумеется, что обладающая такими недостатками территориальная модель народного хозяйства не может претендовать на роль аналитического инструмента, с помощью которого могут научно обосновываться главные направления перспективного развития транспорта СССР.

Транспорт является очень специфической отраслью с точки зрения математического моделирования. Попытки более точного описания транспортных процессов приводят к задачам сложной

математической структуры и большой размерности. Поэтому нецелесообразно перегружать ОМММ слишком детальными транспортными условиями, поскольку это может значительно затруднить практическую реализацию ОМММ. В то же время очень важно обеспечить взаимодействие ОМММ со специализированными моделями оптимального развития транспорта.

Основными направлениями совершенствования ОМММ в части более полного отражения транспорта являются: детализация магистральной (межрегиональной) транспортной сети; включение ограничений пропускной и провозной способности транспортной сети; учет капиталовложений в развитие и размещение транспорта; выделение нескольких видов транспорта; учет движения порожняка и т. д.

Практическая реализация этих направлений может осуществляться поэтапно¹.

Отметим вначале некоторые возможности усовершенствования плановых расчетов, не связанные с какой-либо перестройкой ОМММ.

При подготовке исходных данных о транспортных затратах можно учитывать особенности внутрирегионального размещения различных отраслей производства. ОМММ допускает, что для каждой отрасли устанавливается особый центр сосредоточения производства и потребления продукции (например, путем агрегирования поставщиков и потребителей). Это позволяет существенно уточнить коэффициенты внутрирегиональных и межрегиональных транспортных затрат.

Не представляет особого труда распределять затраты на межрегиональные перевозки между смежными регионами — отправителями и получателями продукции.

Пусть $\eta_j^{[rs]}$ — доля затрат транспорта r -го региона на перевозку единицы j -й продукции из региона r в смежный регион s ; $\eta_j^{[sr]}$ — доля затрат r -го региона на перевозку единицы j -й продукции из региона s в смежный регион r .

Теперь затраты транспорта r -го региона на межрегиональные перевозки составят: $\sum_{s,j} \eta_j^{[sr]} a_{tj}^{rs} x_j^{rs} + \sum_{s,j} \eta_j^{[sr]} a_{tj}^{sr} x_j^{sr}$,

а баланс работы транспорта выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned}
 & - \sum_j a_{tj}^{rr} x_j^r - \sum_j a_{tj}^{rr} \bar{x}_j^r + x_t^r - \sum_{s,j} (\eta_j^{[rs]} a_{tj}^{rs} - a_{tj}^{rs}) x_j^{rs} - \\
 & \quad - \sum_{s,j} (\eta_j^{[sr]} a_{tj}^{sr} + a_{tj}^{sr}) x_j^{sr} \geq 0.
 \end{aligned}
 \tag{IV.28}$$

¹ Подробнее см. Гранберг А. Г. Межотраслевые модели оптимального размещения производительных сил СССР.—Сб. «Модели и методы оптимального развития и размещения производства». Новосибирск, 1965, с. 160—170; Рипинен Н. А. Транспорт в оптимальной межотраслевой межрайонной модели.—Сб. «Методы и модели территориального планирования». Вып. I. Новосибирск, 1971.

Уточнения результатов, получаемых с помощью ОМММ, можно добиваться и путем последовательной корректировки информации. Например, если в первоначальном оптимальном варианте схема грузопотоков не обеспечивается предварительно намеченным развитием транспортной сети, то следует скорректировать проектировки транспортного строительства и объемы капиталовложений, выделяемых на транспорт.

Введение в ОМММ основных характеристик магистральной транспортной сети возможно уже на современном этапе экспериментальных разработок. Для этого прежде всего необходима информация о местоположении транспортных грузов, дифференцированных коэффициентах затрат по звеньям транспортной сети и их пропускной способности. Транспортные узлы частично совпадают с «экономическими» центрами — сосредоточениями производства и потребления продукции.

Модель в сетевой постановке включает новые неизвестные (объемы поставок продукции и интенсивности транспортной деятельности по звеньям сети) и новые условия — балансы работы транспорта по звеньям транспортной сети (а не только в целом по регионам). Наиболее сложной проблемой является уточнение зависимостей транспортных затрат от объемов перевозок (как правило, они нелинейные).

По мере детализации транспортной части ОМММ первоначальная гипотеза о пропорциональности затрат от объемов поставок становится все менее удовлетворительной. Реально возможным является выделение постоянной (независимой) части транспортных затрат при сохранении гипотезы о пропорциональной зависимости переменной части затрат.

Для определения капиталовложений в развитие транспортной сети проще всего использовать тот же подход, что и в расчетах производственных капиталовложений (см. § 3 гл. II).

Пусть N_t^q — пропускная способность q -го звена транспортной сети (в единицах работы транспорта) в последнем году планового периода при условии, что в течение планового периода в его развитие не вкладывались капиталовложения;

x_t^q — объем работы транспорта по q -му звену, действовавшему на начало планового периода;

\bar{x}_t^q — прирост работы транспорта по q -му звену, получаемый за счет капиталовложений;

h_{it}^q — затраты капиталовложений i -го вида на единицу прироста пропускной способности q -го звена. Общий объем работы транспорта по q -му звену составит

$$x_t^q + \bar{x}_t^q, \text{ причем } x_t^q \leq N_t^q.$$

Капиталовложения в развитие транспортной сети r -го региона будут равны $\sum_{q \in r} h_{it}^q \bar{x}_t^q$.

Возможно аналогичным образом вводить в ОМММ информацию о различных способах развития транспорта (реконструкция и т. д.), экономящих народнохозяйственные ресурсы.

Однако, на наш взгляд, расчеты потребностей в капиталовложениях на развитие транспортной сети с помощью ОМММ могут давать сугубо приближенные результаты и поэтому не могут заменить специальные динамические модели развития транспортной сети.

§ 6. Модели блочного программирования

Несмотря на существенные различия модификаций ОМММ, все они имеют типичную структуру: система региональных блоков связывается некоторыми условиями, общими для группы регионов (см., например, стр. 67). Отсюда возникает идея преобразования ОМММ в задачу блочного программирования.

Применение методов блочного программирования позволяет резко увеличить детализацию отраслевой и региональной классификации и сократить трудоемкость вычислений. Не менее важно и другое обстоятельство. Методы блочного программирования часто служат основой для построения схем оптимального планирования и функционирования социалистической экономики, сочетающих принципы централизации и децентрализации экономических решений, директивного планирования и экономического саморегулирования.

Двухстадийная производственно-транспортная модель. Специфика этой модели состоит в том, что решение комплексной проблемы развития и размещения производительных сил разбивается на две стадии. На первой стадии определяются показатели развития и размещения производства и сальдо межрегионального обмена; при этом транспортный фактор учитывается приближенно. На второй стадии определяются межрегиональные поставки, после чего показатели транспортных затрат первой стадии модели могут уточняться.

Впервые принцип последовательного решения проблем размещения производства и транспортировки был реализован в межотраслевой модели В. В. Коссова¹. Однако существенным недостатком этой модели является то, что в ней совершенно не учитывается влияние транспорта на размещение производства; следствием этого является нереалистичность свойств получаемого оптимального решения². Аналогичной особенностью отличаются и двухстадийные производственно-транспортные модели

¹ Коссов В. В. К вопросу об оптимальном планировании развития районов. — Сб. «Проблемы оптимального планирования, проектирования и управления производством». М., Изд-во МГУ, 1963.

² Ачелашвили К. В. Экономико-математический анализ некоторых оптимизационных межрайонных моделей. — Сб. «Методы и модели территориального планирования». Вып. II. Новосибирск, 1971.

оптимального отраслевого планирования, широко использовавшиеся при решении практических задач¹.

В модели, рассматриваемой ниже, двусторонняя зависимость размещения производства и транспорта не разрывается, а преобразуется таким образом, чтобы получить «хорошую» структуру модели первой стадии.

Модель первой стадии в дополнение к рассмотренным выше модификациям ОМММ включает балансы межрегионального обмена в целом по стране и соотношения между объемами непосредственного потребления регионов и страны.

Введем дополнительные обозначения.

Пусть:

v_i^r — сальдо r -го региона по межрегиональному обмену продукцией i -й отрасли. Так как v_i^r может быть любого знака, то для использования стандартных алгоритмов линейного программирования заменим эту величину разностью двух неотрицательных величин:

$$v_i^r = +v_i^r - -v_i^r;$$

z^r — объем производственного потребления r -го региона ($\sum_r z^r = z$);

λ^r — доля r -го региона в общесоюзном фонде производственного потребления ($\sum_r \lambda^r = 1$);

α_i^r — доля продукции i -й отрасли в фонде потребления r -го региона ($\sum_i \alpha_i^r = 1$);

\bar{a}_{ij}^{rv} — коэффициент затрат транспорта на вывоз продукции i -й отрасли из r -го региона (этот коэффициент уточняется после решения задачи второй стадии).

При построении двухстадийной модели могут учитываться все модификации ОМММ, предлагавшиеся в § 2—5. Но для характеристики принципиальных особенностей двухстадийной модели мы возьмем за основу соотношения ОМММ 1-2².

Модель первой стадии. Первая группа условий относится ко всем регионам страны. Эти условия образуют координирующую часть задачи блочного программирования.

Балансы вывоза и ввоза продукции отраслей:

$$\sum_r +v_i^r - \sum_r -v_i^r \geq 0 \quad (i = 1, \dots, n). \quad (\text{IV.29})$$

Соотношения фондов потребления регионов:

$$z^r - \lambda^r z \geq 0 \quad (r = 1, \dots, m). \quad (\text{IV.30})$$

¹ Методические положения по оптимальному отраслевому планированию в промышленности. Новосибирск, «Наука», 1967, с. 52—55.

² Более полное изложение см. в сб. «Методы и модели территориального планирования». Вып. II. Новосибирск, 1971, с. 22—25.

Все другие условия носят региональный характер и образуют непересекающиеся блоки общей задачи.

Балансы продукции:

$$\sum_j (\delta_{ij} - a_{ij}^r) x_j^r + \sum_j (\delta_{ij} - a_{ij}^r) \bar{x}_j^r - u_i^{tr} - a_{it}^r x_t^r - \bar{a}_{it}^r z^r - v_i^r + v_i^r \geq q_i^r, \quad (i=1, \dots, n; r=1, \dots, m). \quad (IV.31)$$

Балансы транспорта. Потребности в транспортной работе для внутрирегиональных перевозок составляют:

$$\sum_j a_{ij}^r (x_j^r + \bar{x}_j^r + v_i^r - v_j^r).$$

При определении потребностей на межрегиональные перевозки предлагается использовать такую методику: учитывать затраты на положительное сальдо обмена ($\sum_j \bar{a}_{ij}^r v_j^r$) и транзитные перевозки (q_i^r); последние должны уточняться итеративным путем.

В итоге балансы транспорта имеют вид:

$$-\sum_j a_{ij}^r x_j^r - \sum_j a_{ij}^r \bar{x}_j^r + x_t^r - \sum_j (\bar{a}_{ij}^r v_j^r - a_{ij}^r v_j^r) + v_i^r - \sum_j a_{ij}^r v_j^r \geq q_i^r. \quad (IV.32)$$

Условия по балансам капиталовложений и трудовых ресурсов полностью совпадают с соответствующими условиями модели 1-2.

Принципиальное преимущество анализируемой структуризованной модели состоит в том, что ее можно интерпретировать как синтез региональных моделей.

При использовании метода распределения централизованных ресурсов общая задача территориального планирования распадается на m региональных задач. Для каждого региона задается сальдо вывоза-ввоза по всем транспортабельным видам продукции. Таким образом, каждая региональная задача включает помимо собственно региональных условий ограничения по централизованным ресурсам. «Центр» должен так распределять между районами одноименные ресурсы, чтобы их оптимальные оценки по районам выравнились¹.

Региональные задачи могут решаться на максимум фонда потребления ($z^r \rightarrow \max$), что вполне отвечает экономическим интересам регионов. Однако при этом не гарантируется выравнивание уровней жизни (т. е. не будут автоматически выполняться условия $z^r = \lambda^r z$). Поэтому целесообразно хотя бы на некоторых итерациях решать региональные задачи и в другой постановке:

¹ См. Гранберг А. Г., Чернышев А. А. Задача оптимального территориального планирования «Запад — Восток» («Известия Сибирского отделения АН СССР», серия обществ. наук, 1970, № 6, вып. 2); Аганбегян А. Г., Багриновский К. А., Гранберг А. Г. Система моделей народнохозяйственного планирования. М., «Мысль», 1972, гл. VI, § 5.

на минимум дефицитных народнохозяйственных ресурсов (например, капиталовложений) для достижения заданного уровня потребления в соответствии с необходимостью выравнивания уровней жизни по регионам. Если при решении всех региональных задач минимизируемые ресурсы оказываются недоиспользованными, то уровень потребления можно увеличить.

Таким образом, в рассмотренной схеме увязка региональных оптимальных планов осуществляется с помощью изменения заданий по вывозу-ввозу продукции. В результате некоторого числа итераций синтез региональных планов даст оптимальный народнохозяйственный план в региональном разрезе. Этот принцип синтеза региональных планов сохраняется и при использовании более сложных моделей регионов, включающих дополнительные условия.

Модель второй стадии (определение межрегиональных поставок). Эта модель сводится к различным модификациям многопродуктовой транспортной задачи. В простейшем случае (при отсутствии ограничений по транспортной сети) модель второй стадии распадается на самостоятельные транспортные задачи (по числу транспортабельных видов продукции).

Первоочередными проблемами уточнения двухстадийной модели (при экспериментальной проверке) являются:

- 1) учет транзитных перевозок в модели 1-й стадии;
- 2) выбор критериев оптимальности в моделях 2-й стадии;
- 3) разработка методов взаимоувязки решений двух стадий посредством уточнения транспортных затрат и сальдо межрегионального обмена.

На наш взгляд, полезным может оказаться включение статистических зависимостей вывоза и ввоза для более обоснованного учета транзитных и встречных перевозок в уравнениях транспорта, что позволит ускорить процесс итеративной увязки решений двух стадий (см. § 4). Балансы транспорта для модели первой стадии получаются путем замены в (IV.27) переменных z_{ij}^{rs} на $+v_{ij}^r$ и $-v_{ij}^r$.

Потребность в транспортной работе каждого региона становится зависимой от сальдо обмена разных регионов. Поэтому балансы транспорта переходят в координирующую часть модели первой стадии.

Проведенные расчеты примера двухстадийной задачи показывают, что изложенная выше методика определения коэффициентов \bar{a}_{ij}^{rv} и затрат на транзитные перевозки q_{ij}^r еще не позволяет получить точного решения.

В примере использовалась та же информация, что и для модели 1-2 (см. § 6 гл. II). Простое расположение районов и устойчивые связи по поставкам продукции облегчают формирование коэффициентов a_{ij}^{rv} (одни из них в точности равны a_{ij}^{rs} , дру-

тие равны 0). На первой итерации транзитные перевозки через район II не учитывались, на второй итерации они учитывались по результатам первой итерации и т. д. Всего было проведено три итерации. Анализ показывает, что продолжение итеративного процесса не дает существенного изменения результатов (см. табл. IV.4).

Т а б л и ц а IV.4
Сравнение оптимальных вариантов по моделям 1-2 и 2-2
(в млрд. руб.)

Разность результатов (результат по модели 2-2 минус результат по модели 1-2)	Первая итерация	Вторая итерация	Третья итерация
Функционал	+26,16	+6,08	+5,95
Объемы производства продуктов в районе II:			
1	0	0	0
2	+29,27	+7,00	+6,74
3	+2,23	+0,59	+0,58
4	-23,61	-5,54	-5,40
Объемы производства продуктов в районах I и III:			
1	-0,81	-0,30	-0,20
2	-1,41	-0,48	-0,48
3	+3,09	+0,74	+0,72
4	-0,43	-0,13	-0,13

В результате трех итераций получен вариант, в котором значение функционала превышает «истинное» значение на 2,2%. По районам I и III получены практически точные результаты. Основные отклонения от оптимального варианта модели 1-2 приходятся на район II, где преуменьшается объем транспортной работы по транзиту.

Преобразование ОМММ в задачу блочного программирования возможно и без какой-либо потери точности расчетов. Однако при этом возникает проблема уменьшения размерности общей (координирующей) части задачи.

Один из подходов основан на использовании принципа двойственности.

Задаче нахождения оптимального плана развития и размещения производительных сил (на основе любой модификации ОМММ) обязательно соответствует двойственная задача, определяющая систему оценок оптимального плана. Эта двойственная задача по своей структуре является задачей блочного про-

граммирования¹, т. е. имеет общую часть и непересекающиеся блоки.

Координирующую часть двойственной задачи для моделей 1-1 и 1-2 образуют:

1) условия, характеризующие соотношения оценок продукции смежных регионов (они соответствуют переменным x_i^{rs}):

$$v_j^r - v_j^s + (a_{ij}^{rs} - a_{ij}^{sr}) v_r^r + a_{ij}^{ss} v_r^s \leq 0, \quad (IV.33)$$

2) условие, нормирующее оценки продукции (оно соответствует переменной z):

$$\sum_{r, i} \alpha_i^r v_i^r = 1^2. \quad (IV.34)$$

Региональные блоки двойственной задачи включают уравнения оценок продукции (с точки зрения производственных затрат), оценок капиталовложений и транспорта.

Число условий (IV.33) в реальных задачах может быть очень большим. Например, в задаче оптимального развития и размещения производства по 16 отраслям и 10 зонам СССР оно равно 288 (см. гл. III). Очевидно, что с вычислительной точки зрения переход к рассматриваемой задаче блочного программирования сам по себе не дает никаких преимуществ. Но следует иметь в виду, что число положительных x_i^{rs} в оптимальном плане по сравнению с общим числом переменных x_i^{rs} , выражающих потенциально возможные межрегиональные связи, относительно невелико (в оптимальном плане задачи по 16 отраслям и 10 зонам их было 65), и, следовательно, большая часть условий (IV.33) является лишней. Поэтому практическую ценность может представлять алгоритм, предусматривающий выборочное включение в задачу условий (IV.33).

Привести ОМММ к задаче блочного программирования возможно и путем тождественных преобразований.

Пусть, как и в двухстадийной задаче,

$$\sum_s x_i^{rs} - \sum_s x_i^{sr} = +v_i^r - -v_i^s. \quad (IV.35)$$

Эти условия (всего их $n_1 m$, где n_1 — число транспортабельных видов продукции) наряду с соотношениями региональных

¹ Предложение об использовании блочной структуры двойственной задачи (на основе ОМММ) было выдвинуто автором в 1966 г. Рассматривалась теоретическая схема взаимовязки региональных проектировок в оптимальном народнохозяйственном плане, реализующая алгоритм блочного программирования Данцига — Вульфа (см. «Известия Сибирского отделения АН СССР», серия общественных наук, 1967, № 6, вып. 2; «Оптимальное территориально-производственное планирование». Новосибирск, «Наука», 1969, гл. III, § 6).

² Координирующая часть двойственной задачи для ОМММ с миграцией населения и трудовых ресурсов включает условия, характеризующие соотношения оценок трудовых ресурсов разных регионов (см. § 7).

Значительные изменения в двойственную задачу вносят статистические зависимости вывоза и ввоза, которые ухудшают структуру ОМММ (см. § 4).

фондов потребления (IV.30) и балансами транспорта (II.3) образуют координирующую часть. Региональные блоки включают балансы продукции (IV.31) и капиталовложений (II.36).

Практическое использование возникающей задачи блочного программирования затрудняется из-за большого числа условий (IV.35).

§ 7. Модель, включающая условия миграции населения и трудовых ресурсов

В предыдущих разделах книги рассматривались такие модификации ОМММ, в которых трудовые ресурсы закреплялись за регионами на основе предварительного прогноза естественного воспроизводства населения и его механической миграции. Неоднократно отмечалось, что варианты развития и размещения производительных сил, рассчитываемые на основе таких моделей, не обеспечивают наилучшее территориальное распределение трудовых ресурсов и, следовательно, не удовлетворяют важным требованиям народнохозяйственного оптимума. Например, в результате экспериментальных расчетов оптимального развития и размещения производительных сил СССР на основе ОМММ 1-1 получилось, что в ряде экономических зон трудовые ресурсы недоиспользуются и только в трех зонах (Урал, Восточная Сибирь, Дальний Восток) они имеют положительную оценку (см. § 2 и § 3 гл. III).

В примерах оптимизационной задачи перспективного планирования также не удавалось достичь равноэффективного использования региональных трудовых ресурсов. Введение в ОМММ производственных способов с разными соотношениями затрат ресурсов (в том числе и затрат труда) позволяет получить более эффективный план, но не гарантирует выравнивания народнохозяйственной эффективности трудовых ресурсов различных регионов. Об этом свидетельствует значительная дифференциация региональных оценок трудовых ресурсов (см. табл. IV.5).

Таблица IV.5

Оценки трудовых ресурсов, рассчитанные по различным вариантам задачи перспективного планирования

Модели	Оценки по районам			Функционал
	I	II	III	
1-1	0,428	1,087	5,437	277,4
1-2 (с ростом капиталовложений по степенной функции)	0	0,796	7,447	276,3
1-2 (с ростом капиталовложений по степенной функции и способами производства)				
вариант А	0	0,796	6,542	277,5
вариант Б	0,179	0,930	6,458	278,2
вариант В	1,036	1,149	6,279	284,6

При применении всех рассматривавшихся модификаций предполагается, что после первого решения задачи по основе сопоставления оценок трудовых ресурсов и затрат на миграцию вносятся коррективы в лимиты трудовых ресурсов регионов. До тех пор, пока во всех регионах не будет достигнуто полное и равноэффективное использование трудовых ресурсов (с учетом затрат на их перемещение), расчеты плана оптимального развития и размещения производительных сил не могут считаться законченными.

Ниже рассматривается более общая модель территориального планирования народного хозяйства, включающая условия определения миграционных потоков населения и трудовых ресурсов одновременно с планом развития и размещения производства, капитального строительства, межрегиональных поставок продукции в целях максимизации уровня потребления населения страны.

Введем необходимые обозначения:

- \bar{z} — уровень душевого потребления в стране (например, объем фонда непродовольственного потребления на одного человека в среднем по стране);
- x_i^{rs} — перемещение трудовых ресурсов из r -го региона в регион s в течение планового периода (в среднегодовом исчислении);
- $\bar{\alpha}_i^r$ — ассортиментный коэффициент душевого потребления продукции i -й отрасли в r -м регионе (например, доля потребления продукции i -й отрасли в r -м регионе в объеме фонда непродовольственного потребления на одного человека в среднем по стране; в этом случае $\sum_{r,i} \bar{\alpha}_i^r = 1$);
- a_{it}^{sr} — затраты i -й продукции в последнем году планового периода на перемещение единицы трудовых ресурсов из региона s в регион r ;
- L_0^r — объем трудовых ресурсов в r -м регионе для производственной сферы в последнем году планового периода, получаемый на основе прогноза естественного воспроизводства населения (без учета миграции).

В отличие от предшествующих моделей, где максимизировалась величина z — общий уровень (объем) потребления населения страны, в рассматриваемой модели максимизируется \bar{z} — уровень душевого потребления в среднем по стране. Это вызвано тем, что объем потребления в регионах зависит теперь от неизвестной численности населения, и поэтому до решения задачи нельзя определить долю регионов в общем фонде потребления страны.

Условия выравнивания уровней жизни населения разных регионов выражаются с помощью коэффициентов $\bar{\alpha}_i^r$. В принципе векторы $\bar{\alpha}^1 = (\bar{\alpha}_1^1, \dots, \bar{\alpha}_n^1)$, $\bar{\alpha}^2 = (\bar{\alpha}_1^2, \dots, \bar{\alpha}_n^2)$, ..., $\bar{\alpha}^m =$

$(\bar{\alpha}_1^m, \dots, \bar{\alpha}_n^m)$ должны характеризовать равные уровни удовлетворения потребностей.

Потребление продукции i -й отрасли в r -м регионе на одного человека составляет $\bar{y}_i = \bar{\alpha}_i^r \bar{z}$, а потребление всего населения:

$$y_i^r = \bar{\alpha}_i^r x_i^r \bar{z}, \quad (IV.36)$$

где x_i^r — численность населения r -го региона в последнем году планового периода;

$$x_i^r = \beta^r \left(L_0 + \sum_{\substack{s=1 \\ (s \neq r)}}^m x_i^{sr} - \sum_{\substack{s=1 \\ (s = r)}}^m x_i^{rs} \right), \quad (IV.37)$$

где β^r — коэффициент перевода трудовых ресурсов производственной сферы в общую численность населения r -го региона ($\beta^r > 1$).

В соответствии с логикой модели коэффициенты a_{ii}^{sr} характеризуют средние затраты народного хозяйства, достаточные для добровольного перемещения трудовых ресурсов между регионами, в которых уровни жизни постоянного населения являются примерно равными. Данные коэффициенты включают: 1) собственно затраты (на транспорт, обустройство), 2) материальное поощрение мигрантов, способствующее преодолению их инерции (типа подъемных)¹. Наибольшие сложности возникают при обосновании второй составляющей коэффициентов a_{ii}^{sr} . Здесь должны использоваться экономические и социологические исследования факторов миграции населения, в том числе и результаты математико-статистического моделирования.

Изменения в ОМММ, вызываемые включением условий миграции населения и трудовых ресурсов, ведут к изменениям показателей балансов продукции и трудовых ресурсов. За основу возьмем ОМММ 1-2 со способами производства. Можно использовать модификации ОМММ (§ 2, 4, 5 гл. IV).

Балансы продукции:

$$\sum_{i, \gamma, \psi} (\delta_{ij} - a_{ij\psi}^{\gamma}) x_{i\psi}^{\gamma} + \sum_{i, \gamma, \psi} (\delta_{ij} - a_{ij\psi}^{\gamma}) x_{i\psi}^{\gamma} - u_i^{rr} - a_{ic}^r x_c^r - \bar{\alpha}_i^r x_i^r \bar{z} - \sum_s x_i^{rs} + \sum_s x_i^{sr} - \sum_{\substack{s=1 \\ (s \neq r)}}^m a_{ii}^{sr} x_i^{sr} \geq q_i^r. \quad (IV.38)$$

Вместо x_i^r можно подставить выражение (IV.37).

¹ Мы полагаем, что эти затраты непосредственно не увеличивают благосостояние населения, а являются особого рода социальными издержками территориальной организации народного хозяйства.

Балансы трудовых ресурсов:

$$\sum_{i, \gamma, \psi} \overset{0}{t} \overset{0}{x}_{i\psi}^{\gamma} + \sum_{i, \gamma, \psi} \overset{-}{t} \overset{-}{x}_{i\psi}^{\gamma} + t_{\tau}^r x_{\tau}^r + \sum_{\substack{s=1 \\ (s=r)}}^m x_{\tau}^{rs} - \sum_{\substack{s=1 \\ (s=r)}}^m x_{\tau}^{sr} \leq L_{\tau}^r. \quad (IV.39)$$

Кроме того, модель включает балансы капиталовложений (IV.6), балансы транспорта (IV.9), ограничения на отдельные переменные (IV.12).

Максимизация душевого потребления населения не может привести к тому, что трудовые ресурсы будут сильно недоиспользоваться. Гарантируется достижение такого уровня душевого потребления, при котором $x_{\tau}^r = \beta^r L_{\tau}^r$ ($r = 1, \dots, m$), т. е. миграционные потоки отсутствуют. Формально это соответствует условиям всех модификаций ОМММ, рассматривавшихся выше.

Из-за включения в балансы продукции условий (IV.36) общая оптимизационная задача получается нелинейной. Для решения подобных задач имеются специальные алгоритмы. Но можно использовать и другой путь.

Вместо задачи на максимум z проще решать взаимную задачу (полностью линейную) на минимум затрат какого-либо дефицитного ресурса при фиксированном z^* . Если параметр z^* монотонно увеличивать, то последний из допустимых планов будет оптимальным планом исходной задачи на максимум душевого потребления.

Методику расчетов по новой модели проиллюстрируем на примере.

В соответствии с демографическим прогнозом, не учитывающим миграцию, в последнем году планового периода численность населения составит: в районе I — 55,0 млн. человек, в районе II — 51,0 млн. человек, в районе III — 28,5 млн. человек. Прогнозируемые трудовые ресурсы для производственной сферы равны соответственно: 21,0; 20,5 и 12,3 млн. человек¹.

В задаче непосредственно учитываются затраты на миграцию только в последнем году планового периода. Предполагается, что доля мигрантов последнего года составляет 15% общего числа мигрантов за десятилетний период.

Коэффициенты затрат на перемещение трудовых ресурсов разработаны в трех вариантах (см. табл. П-11). Например, по первому варианту предусматривается, что для перемещения одного работника из района I в район III достаточно затратить 0,4 годового объема потребления продукта 2 (готовой промышленной продукции) и 10 годовых объемов потребления продукта 3 (т. е. прироста непроизводственных основных фондов).

¹ Во всех предшествующих вариантах оптимизационной задачи на перспективный период мы исходили из того, что сальдо миграции населения и трудовых ресурсов для производственной сферы составят по районам (в млн. человек): $-0,6$ ($-0,2$); $-0,6$ ($-0,2$); $+1,2$ ($+0,4$).

По второму варианту соответствующие затраты равны 0,6 и 10 годовых объемов потребления, по третьему варианту — 0,6 и 20 годовых объемов.

Задача решается на минимум величины x_1^0 — объема производства сырья на старых мощностях в районе I (условие $x_1^0 \leq 12$ во всех оптимальных вариантах выполняется как строгое равенство с положительной оценкой). Сопоставления будем проводить с вариантом В из § 3 (задача со способами производства).

Вариант 1. Полученные объемы миграционных потоков ($x_i^{13} = 0$; $x_i^{23} = 2,335$) намного отличаются от прежних проектировок. Функционал увеличивается на 970 млн. руб. и достигает 285,61 млрд. руб. При этом следует иметь в виду, что на обеспечение миграции затрачивается 3,61 млрд. руб. (Во всех предыдущих вариантах задачи средства на миграцию вообще не учитывались.)

Таблица IV.6

Оптимальный план производства для задачи с условиями миграции (вариант 1)

Отрасли	I				II			
	$\overset{\circ}{x}$	\bar{x}_c	\bar{x}_k	\bar{x}_T	$\overset{\circ}{x}$	\bar{x}_c	\bar{x}_k	\bar{x}_T
1	12	—	8	—	32	—	28	—
2	—	—	×	370,50	—	145,55	×	—
3	—	50,02	×	×	15,48	34,79	—	—
4	—	12,16	—	—	—	35,03	—	—
Итого . . .			452,68			290,85		

Продолжение

Отрасли	III				Итого
	$\overset{\circ}{x}$	\bar{x}_c	\bar{x}_k	\bar{x}_T	
1	24	—	15,68	41,99	161,67
2	—	—	—	×	516,05
3	11	33,33	—	—	144,62
4	—	—	38,88	—	86,07
Итого . . .			164,88		908,41

Оценки трудовых ресурсов районов равны соответственно: 0,910; 1,009; 2,680. В соответствии с условиями двойственной задачи разность региональных оценок трудовых ресурсов определяется полными затратами на их перемещение (по аналогии с оценками мобильной продукции).

Производство дополнительно увеличивается во всех отраслях (на 1—3%). Несколько выравниваются темпы роста капиталовложений по районам. Наиболее характерным является изменение соотношения используемых производственных способов. Производство продукта I в районах I и II осуществляется теперь только капиталоемким способом (становится эффективным экономить труд с целью передачи трудовых ресурсов в район III). Наоборот, в районе III вследствие уменьшения дефицитности трудовых ресурсов наибольшее развитие получает трудоемкий способ добычи сырья (табл. IV.6).

В а р и а н т 2. Все показатели оптимального плана по этому варианту (объемы производства, темпы капиталовложений, межрегиональные поставки продукции, размеры миграции) совпадают с оптимальным планом по варианту 1 (с точностью до сотых долей). Функционал меньше на 0,284 млрд. руб. Это объясняется тем, что на обеспечение миграции расходуется на 0,31 млрд. руб. больше, чем по варианту 1. Оценки трудовых ресурсов равны: 0,826; 0,940; 2,650.

В а р и а н т 3. Оптимальный план характеризуется отсутствием миграционных потоков.

Рассмотренная модель может быть усовершенствована за счет более тонкого описания социально-экономических процессов. Например, можно отразить такое явление, как расслоение населения по степени мобильности. Для одних слоев населения достаточны очень небольшие затраты на перемещение в другие регионы, а для других слоев преодоление инерции требует значительного материального стимулирования. Если принять гипотезу, что эффективно организованный процесс миграции вначале захватывает слой наиболее подвижного населения, затем слои с меньшей подвижностью и т. д., то коэффициенты затрат a_{ij}^{sr} можно представить как возрастающие функции от x_i^{sr} . Для решения оптимизационных задач, включающих такие функции (с падающей эффективностью затрат), используется кусочно-линейное программирование.

Дальнейшая разработка и практическое использование модели, включающей условия миграции населения и трудовых ресурсов, характеризует более высокий уровень исследований по оптимизации территориальных пропорций народного хозяйства.