

УДК 338:92  
ББК 65.9(2Р)23  
С 409

С 409 **Системное моделирование и анализ мезо- и микроэкономических объектов** / отв. ред. В.В. Кулешов и Н.И. Суслов. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2014. – 488 с.

*Коллектив авторов:*

к.э.н. Амосенок Э.П. (гл. 5), к.э.н. Бабенко Т.И. (гл. 4), к.э.н. Бажанов В.А. (гл. 5),  
Беспалов И.А. (гл. 7), к.э.н. Блам Ю.Ш. (гл. 1: пп. 1.1, 1.2, 1.4, 1.5; гл. 4),  
Бузулуцков В.Ф. (гл. 1: п. 1.3.; гл. 2: пп. 2.4, 2.5), д.ф-м.н. Гимади Э.Х. (гл. 8: п. 8.3),  
д.э.н. Глушенко К.П. (гл. 7), к.ф-м.н. Гончаров Е.Н. (гл. 8: п.8.3), к.э.н. Журавель Н.М. (гл.3: п. 3.3),  
д.э.н. Кибалов Е.Б. (гл. 7), к.э.н. Лугачева Л.И. (гл. 5), к.э.н. Маркова В.М. (гл. 3: пп. 3.1, 3.2, 3.4),  
к.э.н. Машкина Л.В. (гл. 1: пп. 1.1, 1.2, 1.4, 1.5; гл. 4), к.э.н. Мусатова М.М. (гл. 5),  
д.э.н. Пляскина Н.И. (гл. 8), к.э.н. Ситро К.А. (гл. 6), к.э.н. Соколов А.В. (гл. 5),  
д.э.н. Суслов Н.И. (введение, гл. 2, заключение), д.э.н. Титов В.В. (гл. 9),  
к.э.н. Харитонова В.Н. (гл. 8), д.э.н. Хуторецкий А.Б. (гл. 7),  
к.э.н. Чурашев В.Н. (гл. 3), к.э.н. Ягольницер М.А. (гл. 6)

Представленная монография посвящена теории, методологии и практической реализации системного моделирования экономики. В центре обсуждения – опыт проектирования и построения программно-модельных конструкций, нацеленных на анализ развития многоотраслевых комплексов и отраслевых систем, а также предприятий и корпораций. Обсуждаются разработки в данной области, объединенные идеологией проекта СОНАР (Согласование Отраслевых и Народнoхозяйственных Решений). Данный подход характеризуется отказом от проектирования систем моделей на принципах жесткой комплементарности и строгого согласования моделей и предполагает создание модельных конструкций под возникающую проблему, учет внешних связей многоотраслевых комплексов в рамках использования специализированных народнохозяйственных межрайонных межотраслевых моделей, каждая из которых, нацелена на анализ проблем конкретной сферы национальной экономики. Модели нижних уровней системы учитывают отраслевую и региональную специфику. Книга рассчитана на ученых-экономистов, специалистов в области моделирования, аспирантов экономической и математической специализации.

ISBN 978-5-89665-260-1



УДК 338:92  
ББК 65.9(2Р)23

© ИЭОПП СО РАН, 2014 г.  
© Коллектив авторов, 2014 г.

## Глава 1

# МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР: СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД

## 1.1. «РАЗДЕЛЕНИЕ АСПЕКТОВ» – СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИЕРАРХИЧЕСКИМ ЭКОНОМИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ

Систематическое решение экономических задач с широким привлечением математических моделей и средств вычислительной техники предполагает построение и использование специальных комплексов системных расчетов, интегрирующих методологическое, модельное, информационное, программное, техническое и другие обеспечения. Программно-модельный аспект комплексов системных расчетов, в контексте данной монографии, включает в себя основной арсенал средств математического моделирования и математического (программного) обеспечения, связанных с использованием электронно-вычислительной техники в экономических исследованиях и планировании.

Авторы не претендуют на написание некоторой общей теории проектирования, создания и эксплуатации комплексов системных расчетов или их модельно-программного аспекта, как это можно было бы понять из названия монографии. С середины 1960-х годов занимаясь реализацией большемерных (с позиций того периода) линейных экономико-математических моделей в составе малых коллективов (2–3 сотрудника), мы естественно стремились рационализировать и автоматизировать свой труд. Занявшись в связи с этим созданием сервисных программ подготовки в необходимом формате числовых массивов экономико-математических моделей, мы постепенно накопили опыт, но заодно и убедились в рутинности такого подхода – к каждой модели делать свой сервис. Все чаще мы задумывались над вопросами: что мы считаем сегодня, и что нам предстоит моделировать завтра, как накапливать опыт реализации моделей или, точнее, как создать банк моделей?

Перед специалистами по моделированию постоянно стоит дилемма: нужно ли вычислять то «что просят», или вычисления необходимо делать, опираясь лишь на свой профессиональный опыт. Разумеется, заказчик или постановщик задачи сам должен делать выбор и вести исследование, но разумные предложения со стороны специалиста по использованию ЭВМ могут прояснить природу его выбора и помочь принять рациональное решение на многих этапах работы.

Почти неизбежно в процессе вычислений появляется новая информация, и возникает необходимость вносить изменения в первоначальный план. Но прежде чем это сделать, надо постараться понять, почему же был выбран неверный путь. Вносят ли эти изменения что-то новое в модель? Надо ли все еще стремиться получить первоначально запланированные результаты? Нельзя ли извлечь какие-то уроки из самой неудачи?

Изменения не должны вноситься поспешно, им следует посвятить столь же тщательное обсуждение, как и первоначальному плану. Если все идет, как задумано, то немного узнаешь. Как раз из неожиданностей могут иногда возникнуть новые вещи. Таким образом, положение, когда придется изменить первоначальный план, нужно считать скорее счастливой возможностью, чем неудачей. Конечно, если оно возникло из-за недомыслия, то это будет лишь доказательством необходимости предварительного обдумывания.

Всегда есть соблазн по ходу работы быстро вносить мелкие изменения, не заботясь о последствиях, особенно если результаты нужны к определенному сроку, и все-таки спешка в этот период может свести на нет всю прежнюю тщательную работу. Надо помнить, что «человек – это мастер, а не машина», и хорошей организацией математического обеспечения эту мысль можно довести до сознания постановщика задачи. Мы считаем, что цель использования ЭВМ – не получение множества значений искомым величин, а выявление закономерностей. Не числа, а понимание!

Из девиза «Не числа, а понимание» следует, что человек, который должен этого понимания достигнуть, обязан знать, как происходят вычисления. Иначе трудно извлечь из вычислений что-либо ценное. Истинное значение цифр может оказаться скрытым в вычислениях. *...Некто пошел ловить рыбу сетью с ячейками определенного размера. Определив среди пойманных рыб самые маленькие, он решил, что это и есть самые маленькие рыбы в данном бассейне; он допустил ошибку, не учитывая, как происходила ловля рыбы...* Так же и при вычислениях – то, что получается, зависит от того, что дано, и от того, что с этим делают. Если не понимать промежуточные процессы, то весьма легко перепутать эффекты использованной при вычислениях модели с эффектами модели, принятой заказчиком при формулировании задачи.

В результате многолетней практики использования ЭВМ для расчетов по экономико-математическим моделям в рамках исследований по плану НИР института либо вычислений на заказчика мы пришли к убеждению, что обычно первым делом следует подумать: «А что мы собираемся делать с ответом?» Будут ли вычисленные величины действительно отвечать на вопрос, который задан или сформулирован нами? Все ли величины нужны? Или, может быть, нужны какие-то другие данные? Нельзя ожидать от постановщика задачи, чтобы он точно знал, какой результат будет получен в итоге, и на многих стадиях исследовательской работы это вполне естественно. В самом деле, можно сказать: «Если исследователь знает, что он делает, то этого не надо было делать». В некотором смысле, если получается в точности ожидаемый результат, то мы не узнаем ничего нового, хотя может возрасти уверенность в чем-то.

Часто процесс реализации проливает свет на самую используемую модель. Вычисление есть средство получения числовых результатов, но это также орудие уточнения задачи. На самом деле маловероятно, чтобы боль-

.....

шое открытие было сделано профессиональным программистом, стандартным образом программирующим задачи. Если ставится цель понять экономический феномен, то автор задачи должен понимать и следить за вычислениями. Это не значит, что он должен выполнять всю мелкую работу, но если он не будет в достаточной степени понимать все, что делает ЭВМ, то вряд ли сумеет извлечь из машины максимум пользы, а также понять смысл даже правильно построенных вычислений.

Очень часто надо глубоко изучить некоторый аспект изолированно, ради его собственного содержания, сознавая в то же самое время, что это только один из аспектов. Обычно такой подход называют «разделением аспектов», так как мы пытаемся поочередно «разделаться» с нашими трудностями, обязанностями, желаниями и ограничениями. Часто это достижимо, т.е. можно добиться более или менее полного разделения объектов рассуждения – и это разделение находит свое отражение в результирующем разделении МПК на «модули». Цель заключается в уменьшении детализированных рассуждений до выполнимого количества, и разделение аспектов – это способ, с помощью которого мы собираемся добиться этого уменьшения. Критическим моментом здесь является, конечно, выбор тех аспектов, которые подлежат «изолированному» изучению – как распутать аморфный клубок обязанностей, ограничений и целей и выделить множество «аспектов», допускающих разумное и эффективное разделение?

Следует отчетливо сознавать, что действия, направленные на разделение аспектов, почти всегда вызывают противодействие, часто сопровождаемое замечанием, что «решаются не настоящие задачи». Надо, чтобы проблему можно было изучить в достаточно высокой степени изолированности, чтобы она не зависела в каждый момент от развития других сфер деятельности или уровней иерархии. Это положение не только полезно при объяснении процесса построения взаимосвязанных комплексов моделей, но оно дает нам и ключ к пониманию того, как мы должны пытаться поступать во время моделирования.

Объектом приложения развиваемого подхода, по «естественному» стечению обстоятельств, выбраны различные модельно-программные комплексы, описывающие развитие многоотраслевых производств на разных уровнях агрегирования. Дело не только в том, что основные исследования по моделированию проводились в годы жесточайшего централизованного планирования и данный объект являлся наиболее плодотворным полигоном, позволившим опробовать целый спектр методических приемов [Блам, 1983]. Возможно, некоторые конкретные результаты, полученные по моделям перспективного планирования должны интерпретироваться иначе, но сам подход к построению взаимосвязанных групп моделей для решения смежных задач, на наш взгляд, достаточно конструктивен [Блам, 1992].

Многоотраслевой комплекс является сложным элементом народного хозяйства. Для прогнозирования его территориальной и отраслевой структуры необходимо и возможно разработать и реализовать такой набор экономико-математических моделей, который бы позволял, с одной стороны, учесть своеобразие и специфику входящих в него отраслей, а с другой, увязать его функционирование с условиями развития народного хозяйства в целом [Аганбегян и др., 1972]. Разнообразие задач прогнозирования, наличие нескольких уровней управления и взаимодействия требует привлечения целого набора моделей. Для анализа конкретных проблем возможно построение и использование специализированных систем моделей, взаимосвязанных в рамках предлагаемой более общей схемы взаимосогласования прогнозов и оптимизации.

Наличие большого круга разнообразных проблем, с которыми связано развитие отраслей, затрудняет построение жесткой унифицированной системы, предназначенной для решения всех задач среднесрочного и долгосрочного прогнозов. Нельзя считать такое положение уникальным и относящимся лишь к задачам развития отрасли. Аналогичные проблемы возникают при решении задач по конкретному экономическому субъекту – предприятию, концерну и т.п. В связи с этим предлагаемая в п. 1.2 схема комплексирования взаимосвязанных задач носит, в определенном смысле, методический характер.

В Институте экономики и организации промышленного производства СО РАН разрабатываются специализированные модельные комплексы (проекты), целиком охватывающие анализируемую совокупность однородных экономических объектов, но с акцентированным описанием ее отдельных аспектов. Основной принцип построения таких модельных комплексов заключается в следующем:

- детальное описание ядра (комплекса отраслей, группы предприятий, территориального сочетания ресурсов) дополняется агрегированным описанием фона (народнохозяйственного, отраслевого комплекса, смежных территорий);

- ядром системы поочередно могут выступать объекты, выделенные из «фона»;

- сгенерированные модели объединяются в двухуровневые системы, на верхнем уровне которых рассматривается агрегированная модель, на нижнем (уточняющем) – модели с детализированным описанием отдельных условий функционирования;

- модель нижнего уровня может рассматриваться ядром следующей специализированной системы.

Сейчас в наибольшей степени продвинулись работы по проектам СИРЕНА и СОНАР [Суслов, 2008; Оптимизация ..., 2010], предназначенным для решения взаимосвязанных прогнозных задач территориального и производственного аспектов функционирования экономики. Проект СИРЕНА

(СИНтез РЕгиональных и НАроднохозяйственных моделей) в настоящее время объединяет народнохозяйственные модели и модели регионов первого ранга (макрзоны, федеральные округа и иные крупные территориальные образования) и направлен на изучение взаимодействия и развития регионов в народнохозяйственном комплексе. СОНАР (Согласование Отраслевых и НАРоднохозяйственных моделей) охватывает модели народнохозяйственного уровня, исследующие основные тенденции развития многоотраслевых комплексов и отдельных отраслей в системе народного хозяйства, и собственно отраслевые модели.

Оба проекта предусматривают постепенное расширение круга пользователей, заинтересованных в оценке возможностей и эффективности развития «своих» объектов с позиций народного хозяйства. Благодаря тому что пользователи подключаются к модельному комплексу со своими информационными массивами, расширяется и обновляется общая информационная база. Главное преимущество этих специализированных комплексов моделей – с одной стороны, возможности получения прогнозов развития регионов, отраслей и т.д., согласованных в масштабе народного хозяйства, а с другой стороны, – определение сбалансированных пропорций народного хозяйства в целом, учитывающих возможности развития хозяйственных подсистем.

Суть подхода к построению такого рода комплексов моделей можно в двух словах сформулировать следующим образом: взаимосвязанные задачи, относящиеся к одному объекту, но требующие детальной проработки отдельных факторов его развития могут (или должны?!) рассматриваться на взаимодополняющем модельном полигоне. С точки зрения структурной теории это означает – во-первых, возможность многократного использования отдельных модельных конструктивов, во-вторых, допустимость уточнения описания отдельных аспектов системы и привлечения дополнительной информации по ходу реализации. Очевидно, что построение, реализация и проведение систематических расчетов по специализированным модельным комплексам требуют особого подхода, специальной дисциплины (соблюдения некоторых правил и принципов).

## **1.2. СХЕМА КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОДЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОДСИСТЕМ**

Построение прогноза или перспективного плана развития экономической системы тесно связано с организационной структурой его реализации. Последнее, в принципе, определяет иерархию прогнозов и плановых задач. Отказавшись от необходимости и убедившись в невозможности построения единой системы моделей для анализа всей совокупности проблем, возникающих в экономике, мы попытаемся все-таки соотнести между собой хотя бы классы задач [Блам, 1992].

Нам хочется определиться в отношении взаимодействия рассматриваемых модельно-программных комплексов и высказать соображения по поводу распространения развиваемого подхода на другие группы экономических задач. Мы предполагаем существование двух важнейших направлений анализа, прогнозирования и управления – территориального и отраслевого. При этом рассмотрение экономических задач ведется с позиций отраслевого комплекса, что, по нашему мнению, не умаляет общности подхода, а лишь акцентирует его на одном из направлений.

Большинство экономических задач, связанных с прогнозом развития и размещения объектов отраслевого комплекса информационно взаимодействуют с тремя уровнями принятия решений:

1) на уровне народного хозяйства страны, в разрезе межотраслевых производств, комплексов отраслей, отдельных отраслей и крупных подотраслей;

2) на уровне региона (макрзоны, федеральные округа и иные крупные территориальные образования) в разрезе тех же, возможно, более детально рассматриваемых, производственных подразделений;

3) на уровне территориально-производственного комплекса, производственных объединений, кластеров и предприятий.

Соответствующая группировка моделей может быть условно описана схемой, представленной на рис. 1.1. Ниже приведена расшифровка соответствующих классов моделей.

А-1	Б-1	В-1
А-2	Б-2	В-2
А-3	Б-3	В-3

Рис. 1.1. Взаимосоответствие задач прогнозирования, относящихся к различным уровням агрегирования информации и управления

♦ *Группа моделей сводного прогноза развития народного хозяйства (А-1)* описывает в крупных агрегатах весь процесс функционирования экономики страны в разрезе крупных территориальных единиц и во времени. В настоящее время обычно рассматриваются межрайонные многоотраслевые и динамические межотраслевые модели. На этом уровне определяются объемы производства по укрупненным отраслям промышленности и народного хозяйства, рассчитываются показатели народнохозяйственной эффективности использования централизованно распределяемых ресурсов. Модели данной группы предназначены не для оценки конкретных мероприятий, проводимых в отраслях, а лишь для оценки тенденций и альтернатив развития крупных отраслевых комплексов и регионов. Комплекс отраслей в межотраслевых моделях обычно представлен одной или небольшим числом позиций. Для углубления анализа проблем, связанных с фиксированным моделируемым комплексом,

возможно неоднородное преобразование номенклатуры с более детальным его (анализируемых отраслей) представлением и агрегированием прочих, менее влияющих отраслей. К этой группе моделей можно частично отнести подсистемы верхнего уровня проектов СИРЕНА И СОНАР. Более детально подсистемы проекта СОНАР рассмотрены в соответствующих главах монографии.

◆ *Группа моделей сводного прогноза развития отдельного региона (А-2)* предназначена для выполнения важных функций, косвенно связанных с проблемой суверенитета и автономии отдельных территориальных образований. Необходимость комплексного территориального подхода в противовес ведомственному связана с тем, что территориальные связи по своей природе имеют межотраслевой характер, так как они охватывают объекты разных отраслей, размещенных на определенной территории. На народнохозяйственном уровне специфические районные условия учитываются лишь в агрегированном виде. Неполный (неточный) учет районных условий может привести к недопустимости, нереализуемости композиций составленных отраслевых планов. В то же время на этом уровне отраслевые прогнозы могут быть уточнены за счет учета эффекта агломерации, связанного с совместным использованием трудовых и природных ресурсов, производственным кооперированием предприятий различных отраслей, совместной эксплуатацией строительной базы и транспортной сети.

◆ *Группа моделей прогнозирования развития территориально-производственных комплексов (А-3)* связана единством объекта исследования. К этим моделям можно отнести и развиваемый в настоящее время *кластерный* подход к организации взаимосвязей между экономическими субъектами. В основу группы (по крайней мере, одной из реализаций такой системы моделей) положен принцип поэтапного анализа, постепенного перехода от общих вопросов к частным, от проблем формирования всей производственной системы экономического района к проблемам развития и размещения отдельных элементов каждого комплекса. Можно предположить наличие больших возможностей для использования «подобных» моделей для уточнения отдельных вопросов создания и взаимодействия производств в пределах одной территории.

◆ *Группа моделей прогнозирования развития крупного народнохозяйственного (многоотраслевого) комплекса в масштабе страны (Б-1)* представляет собой совокупность динамических и статических, балансовых и оптимизационных, статистических и другого рода моделей, описывающих развитие комплекса взаимосвязанных отраслей. Круг решаемых проблем весьма широк – от прогноза распределения централизованных ресурсов и оценки влияния межотраслевых связей народнохозяйственного комплекса до определения стратегии развития составляющих его подотраслей в отдельных регионах. Наиболее разработанными являются линейные статические оптимизационные модели в разрезе крупных экономических регионов (зон). Решение обычно проводится на последний год прогнозного периода и обеспечивает

.....

получение сбалансированной оптимизационной структуры производства по отдельным регионам страны. Одновременно определяется схема прикрепления районов-поставщиков сырья и производимой продукции к соответствующим потребителям. Выделение статической задачи связано с трудностями реализации (информационными и техническими) динамических задач с достаточно дробной номенклатурой. Поэтому статические модели зачастую используют для детализации прогноза, полученного при помощи решения соответствующей динамической модели (или точечного динамического прогноза, полученного каким-либо другим способом).

◆ *Модели внутрирайонного прогнозирования многоотраслевого комплекса взаимосвязанных отраслей (Б-2)* подобны, в принципе, моделям группы Б-1. Они служат инструментом построения прогноза развития, размещения и специализации групп предприятий внутри экономического региона или зоны. Здесь учитываются межотраслевые связи исследуемого комплекса отраслей, возникающие по поводу использования централизованных ресурсов регионального значения.

◆ *Группа моделей создания и функционирования комбинированных производств (например лесопромышленных комплексов) (Б-3)* тесно связана как с моделями Б-2, так и с группой А-3. Прогноз наиболее рационального сочетания производств для данной территории, размещаемых или функционирующих в отдельных микрорайонах крупного региона, полученный при решении задач Б-2, детально рассматривается в моделях данной группы. Для моделей данной группы характерно более детальное рассмотрение вопросов строительства, создание и использование инфраструктуры района, учета агломерационного эффекта.

◆ *Модели прогнозирования функционирования отдельных подотраслей многоотраслевого комплекса в масштабе страны (В-1) и отдельного региона (В-2)*. При краткосрочном прогнозе возникает необходимость в дальнейшей детализации отдельных показателей, полученных по моделям Б-1 и Б-2. Основываясь на решении задач этой группы, мы можем сформулировать задачи локального развития отдельных подотраслей выделяемого народнохозяйственного комплекса. Информация, полученная на основе решения этих частных задач, в свою очередь, позволяет уточнять показатели в моделях более высокого ранга.

Собственно говоря, большинство экспериментальных расчетов проводилось до настоящего времени (за исключением отдельных работ) по такого рода моделям, без взаимной увязки и без учета связей более высокого уровня.

◆ Учитывая возросший интерес к *моделям предприятий (группа В-3)*, накопленный опыт в этой области и наличие большого количества публикаций по моделированию отдельных аспектов функционирования предприятий, мы ограничимся лишь констатацией факта, что данный класс моделей является базовым в том смысле, что основывается на информации от непосредственных источников, не подвергнутой агрегированию.

Существует определенная преемственность между моделями смежных групп. Если в моделях группы А-1 за счет агрегирования отраслей, несущественно влияющих на функционирование комплекса, выделить отдельные подотрасли, то получим некоторый специализированный вариант отправной модели с неоднородным представлением отраслей. В принципе, продолжая этот процесс, можно получить одну из моделей группы Б-1, т.е. с помощью некоторых «промежуточных» моделей возможен переход от одной группы к другим. При этом детализация и агрегирование могут затрагивать территориальный аспект и динамику процесса. Рассмотрению отдельного района, например, может предшествовать задача, сформированная из агрегатов прочих районов, и при детальном исследовании данного региона в нем выделяются отдельные микрорайоны.

«Промежуточные» модели, с одной стороны, позволяют глубже изучить связи между группами моделей, с другой – упрощают процесс согласования планов отдельных подсистем, так как они принадлежат обеим смежным подсистемам и, следовательно, в их планах уже существенно учтено их взаимное влияние. На множестве «промежуточных» моделей может быть построена двухуровневая система, в которой в качестве верхнего, согласующего уровня рассматривается исходная модель, а на нижнем, уточняющем, – «промежуточные». Более того, если процессу детализации в отправной модели подвергаются различные аспекты моделируемого объекта (уточняется региональная сетка или рассматривается более подробная номенклатура продукции), то мы получаем взаимосвязанные системы, с единой «узловой» моделью. Примерами такого рода могут быть подсистемы проектов «СИРЕНА» и «СОНАР», где в качестве узловой модели рассматривается Оптимизационная Межрайонная Межотраслевая Модель (ОМММ) (см. п. 1.3).

Модельное обеспечение среднесрочных и долгосрочных прогнозов различается (по крайней мере, по «качеству» используемой в числовых моделях информации) по уровням принятия решений. Набору (классу) прогнозных задач данного уровня управления соответствуют определенные принципы принятия решений, свой «язык» и точность (уровень агрегирования) показателей. При этом потоки информации в отдельном блоке системы комплексного прогноза развития экономической системы по своей сути однородны и тесно взаимосвязаны. Не отрицая возможности и необходимости взаимодействия между различными экономическими задачами из разных наборов (блоков) следует подчеркнуть принципиальное отличие согласования параметров внутри и между классами задач. Если учесть также различные горизонты планирования на разных уровнях принятия решений, то в вышеописанную схему необходимо добавить «третье» измерение – горизонты прогнозирования.

### **1.3. ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МЕЖРАЙОННАЯ МЕЖОТРАСЛЕВАЯ МОДЕЛЬ<sup>1</sup>: КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ОСНОВА И ФОРМАЛИЗАЦИЯ**

Оптимизационная межрегиональная межотраслевая модель была предложена в 60-х годах предыдущего столетия и получила систематическое описание в работах А.Г. Гранберга [Гранберг, 1973]. Первые прогнозные расчеты для экономики Советского Союза для периода 1966–1975 гг. для 16 отраслей производства и 11 экономических регионов страны были осуществлены в 1967 г. К 1978 г. была осуществлена еще одна серия прогнозных расчетов – уже для периода 1975–1990 гг. Далее в 1978–1982 гг. по рекомендации Секретариата Генеральной Ассамблеи ООН сибирские межрайонные межотраслевые модели были привлечены для реализации проекта ООН «Будущее мировой экономики».

В середине 1980-х годов были предложены и далее развиты две системы моделей – СИРЕНА (СИнтез Региональных и НАроднохозяйственных моделей) и СОНАР (СОгласование Отраслевых и НАроднохозяйственных Решений), основу которых составляли различные версии ОМММ. Первая система моделей акцентируется на проблемах взаимодействия национальной экономики и отдельных регионов, вторая – на анализе и прогнозировании взаимодействий между национальной экономикой и важнейшими многоотраслевыми комплексами (в первую очередь – с энергетическим комплексом: модель ОМММ-ТЭК). С тех пор ОМММ используется как для анализа и прогноза экономики страны в разрезе регионов и экономических секторов, так и для анализа межрегиональных и межотраслевых взаимодействий. Она также является полезным инструментом для оценки последствий реализации инвестиционных проектов.

Концептуальной основой ОМММ являются, прежде всего, теории межотраслевого анализа и оптимального использования ресурсов. Главные преимущества ОМММ заключаются в возможности совместного исследования важнейших условий развития экономики отдельных регионов и национальной экономики в целом: а) демографического, природно-ресурсного и производственно-технического потенциалов; б) региональных различий эффективности отраслей производства (в том числе: трудоемкости, капиталоемкости, материалоемкости); в) географического положения и транспортных затрат на перемещение продукции; г) межотраслевых связей внутри регионов; д) региональных различий уровня жизни и структуры потребления.

---

<sup>1</sup> Различные модификации модели и ее критерия оптимизации предложены многими авторами. См., например, [Оптимизация ..., 2010; Суслов, Бузулуцков, 2010].

Теоретические модели пространственной экономики могут включать описание взаимодействий очень большого числа экономических, социальных, технологических, природных, демографических и других факторов и иметь сколь угодно сложную математическую структуру, анализ которой затруднен даже при использовании современных ИТ-технологий. Все это вынуждает отказываться от попыток построения всеобъемлющей и детализированной пространственной модели национальной экономики, приводит к необходимости ограничения сферы моделирования лишь важнейшими аспектами и к сознательному упрощению многих условий моделей и сильному агрегированию показателей. В ОМММ воплощен именно такой подход: модель опирается только на известные количественные связи между факторами и, таким образом, адаптирована к существующим источникам информации и хорошо разработанному математическому аппарату.

По своей структуре ОМММ представляет собой систему объединенных прогнозных региональных межотраслевых балансов, описывающих развитие экономики регионов, связываемых в единую систему условиями использования общих ресурсов, достижения общих целей для страны, межрегионального перемещения продукции и ресурсов, развития межрегиональной транспортной инфраструктуры.

Условием объединения региональных балансов является межрегиональная система производственно-транспортных связей (транспортный блок) и задаваемые экзогенно соотношения уровней жизни населения регионов (блок потребления), которые связываются единым максимизируемым критерием. Практически он формулировался следующим образом: «максимизировать уровень непроизводственного потребления страны (включая накопление непроизводственных фондов) при фиксируемых соотношениях региональных уровней потребления и фиксируемых правилах определения внутрирегиональной структуры потребления» [Гранберг, 1973, с. 52].

При адаптации ОМММ к Системе национальных счетов (СНС) произошло изменение содержания критерия, так как теперь в соответствии с новой информационной базой для построения ОМММ (таблицами «затраты–выпуск») его основу составляют расходы на конечное потребление домашних хозяйств [Суслов, Бузулуцков, 2010, с. 41–43]. В дальнейшем при описании модели будет использоваться именно это его трактовка. В других современных версиях ОМММ, например в проекте СИРЕНА, критерий определяется как объем максимизируемой части конечного продукта, представляющий сумму потребления домашних хозяйств и коллективного потребления [Оптимизация..., 2010, с. 172, 177].

Единичным решением модели является система эндогенных показателей, представляющих вариант развития экономики в последнем году прогнозного периода, включающий производство общественного продукта в разрезе отраслей, регионов и технологических способов, объемы перевозок продукции отраслей между регионами, объемы производственных капитал-

ных вложений за конечный год и за весь период, объемы конечного потребления домашних хозяйств. Оптимизируемые объемы производства продукции  $i$ -й отрасли в  $r$ -м регионе подразделяются на получаемые в последнем году с производственных мощностей, действовавших на начало прогнозного периода, и на приросты производства продукции  $i$ -й отрасли в  $r$ -м регионе за счет инвестиций на расширение и ввод новых мощностей.

Расчетный (прогнозируемый) период при использовании ОМММ не может быть краткосрочным. Он должен быть достаточным для сооружения инвестиционных объектов в отраслях с большими сроками капитального строительства и освоения производственных мощностей. Практически расчеты по ОМММ проводятся на период 10–15 лет.

Модель представляет собой совокупность следующих групп условий:

1) региональные межотраслевые балансы производства и распределения продукции в последнем году прогнозного периода, предусматривающие возможность выбора оптимальных вариантов взаимосвязей между отраслями и регионами;

2) балансы наличия и использования трудовых ресурсов по каждому региону в последнем году прогнозного периода. Трудовые ресурсы закрепляются по регионам (т.е. являются экзогенными параметрами), в самой модели не предусматриваются условия перемещения трудовых ресурсов между регионами. Возможные и целесообразные миграционные потоки населения учитываются при обосновании прогнозных величин ограничений по труду;

3) балансы производства и потребления инвестиций в регионах за весь прогнозируемый период;

4) дополнительные ограничения по отдельным переменным (объемам производства, межрегиональным поставкам и т.д.), учитывающие лимитирующие природные условия, целесообразность использования имеющихся производственных мощностей и т.п.

При этих условиях находится вариант развития производства и межрегиональных связей, обеспечивающий максимальный рост затрат на потребление домашних хозяйств в целом по стране при заданной структуре (отраслевой и территориальной).

Приведем запись основных соотношений базовой ОМММ. Она включает  $n$  секторов продуктов и услуг (кроме транспорта),  $T$  видов транспорта и  $R$  регионов; в ней выделяется несколько капиталобразующих секторов (входящих в множество  $G$ ) и, соответственно, столько же видов инвестиций. Каждый региональный блок  $r$  включает 5 типов ограничений – неравенства (1)–(6), целевая функция (7) относится не к отдельному региональному блоку, а к модели в целом:

$$x_i^{r0} + x_i^{r1} - \sum_{j=1}^{n+T} a_{ij}^{r0} \cdot x_j^{r0} - \sum_{j=1}^{n+T} a_{ij}^{r1} \cdot x_j^{r1} - u_i^{r1} - \alpha_i^r \cdot Z - \sum_{\tau=1}^T \sum_{s \neq r} x_i^{rs} + \sum_{\tau=1}^T \sum_{s \neq r} x_i^{sr} - NEX_i^r \geq q_i^r, \\ i = 1, \dots, n; \quad (1)$$

$$x_{\tau}^{r0} + x_{\tau}^{r1} - \sum_{j=1}^n a_{ij}^{r0} \cdot x_j^{r0} - \sum_{j=1}^n a_{ij}^{r1} \cdot x_j^{r1} - \sum_{s \neq r} \sum_{j=1}^n a_{\tau j}^{rs} \cdot x_j^{rs} - \sum_{s \neq r} \sum_{j=1}^n a_{\tau j}^{sr} \cdot x_j^{sr} \geq q_{\tau}^r, \quad \tau = 1, \dots, T; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n l_j^{r0} \cdot x_j^{r0} + \sum_{j=1}^n l_j^{r1} \cdot x_j^{r1} + \sum_{\tau=1}^T l_{\tau}^{r0} \cdot x_{\tau}^{r0} + \sum_{\tau=1}^T l_{\tau}^{r1} \cdot x_{\tau}^{r1} \leq L^r; \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n k_{gj}^{r0} \cdot x_j^{r0} + \sum_{j=1}^n k_{gj}^{r1} \cdot x_j^{r1} + \sum_{\tau=1}^T k_{g\tau}^{r0} \cdot x_{\tau}^{r0} + \sum_{\tau=1}^T k_{g\tau}^{r1} \cdot x_{\tau}^{r1} - f(u_g^{r0}, u_g^{r1}) \leq 0, \quad g \in G; \quad (4)$$

$$x_i^{r0} \leq \zeta_i^{r0}, \quad i=1, \dots, n; \quad (5)$$

$$\xi_i^{r1} \leq x_i^{r1} \leq \zeta_i^{r1} \text{ (для некоторых } i, r); \quad (6)$$

$$Z \rightarrow \max. \quad (7)$$

Здесь к эндогенным переменным (определяемым в модели) относятся:

$x_i^{r0}$  и  $x_i^{r1}$  – объемы выпуска продукции сектора  $i$  в регионе  $r$  соответственно на старых и вновь производственных мощностях;

$x_{\tau}^{r0}$  и  $x_{\tau}^{r1}$  – объемы транспортной работы по виду транспорта  $\tau$  в регионе  $r$ , реализуемые в рамках пропускных способностей транспортной инфраструктуры, имевшихся на начало периода и развитой в рамках рассматриваемого периода соответственно;

$u_i^{r1}$  – объем капитальных товаров вида  $i$ , инвестируемых в регионе  $r$  в последнем году выделяемого периода;

$Z$  – объем затрат на фактическое конечное потребление домашних хозяйств;

$x_i^{rs}$  – объем продукции сектора  $i$ , перевозимой из района  $r$  в район  $s$ .

Экзогенными параметрами здесь выступают следующие:

$a_{ij}^{r0}$  и  $a_{ij}^{r1}$  – затраты продукции сектора  $i$  на единицу выпуска сектора  $j$  в регионе  $r$  соответственно на старых и новых мощностях;

$a_{\tau j}^{r0}$  и  $a_{\tau j}^{r1}$  – затраты транспортной работы вида  $\tau$  региона  $r$  на единицу потребляемой в данном регионе продукции вида  $j$ ;

$a_{\tau j}^{rs}$  – затраты транспортной работы вида  $\tau$  региона  $r$  на вывоз единицы продукции сектора  $j$  в регион  $s$ ;

$a_{\tau j}^{sr}$  – затраты транспортной работы вида  $\tau$  региона  $r$  на ввоз единицы продукции сектора  $j$  из региона  $s$ ;

$l_j^{r0}, l_j^{r1}, l_\tau^{r0}$  и  $l_\tau^{r1}$  – затраты труда на единицу выпуска сектора  $i$  в регионе  $r$  на старых мощностях, на единицу труда на новых мощностях, на единицу транспортной работы на старых мощностях и на единицу работы транспорта на новых мощностях соответственно;

$k_{gj}^{r0}, k_{gj}^{r1}, k_{g\tau}^{r0}$  и  $k_{g\tau}^{r1}$  – удельные затраты инвестиций вида  $g$  в регионе  $r$  последовательно: на поддержание производства на старых мощностях сектора  $j$ , на прирост производства в секторе  $j$ , на старых мощностях транспорта вида  $\tau$ , и на развитие инфраструктуры транспорта вида  $\tau$ ,

$\alpha_i^r$  – доля  $i$ -го сектора (отрасли) региона  $r$  в общероссийском объеме затрат на фактическое конечное потребление домашних хозяйств;

$u_g^{r0}$  – задаваемый экзогенно объем инвестиций вида  $g$  в регионе  $r$  в базовом году;

$NEX_i^r$  – чистый экспорт (экспорт минус импорт) продукции сектора  $i$ , осуществляемого из региона  $r$ ;

$q_i^r$  – фиксируемая часть потребности в продукции сектора  $i$  в регионе  $r$ ;

$\zeta_i^{r0}$  – максимальный объем продукции  $i$ -го сектора в  $r$ -м регионе, который может быть получен в последнем году прогнозного периода с производственных мощностей, действовавших на начало прогнозного периода;

$\xi_i^{r1}, \zeta_i^{r1}$  – минимальный и максимально допустимый приросты производства продукции  $i$ -го сектора в  $r$ -м регионе.

Межрегиональные балансы производства и распределения продукции и услуг (кроме транспортных) учитывают их потоки как на потребление внутри данного региона, так и на вывоз (соотношение 1). Причем направления использования вывозимых объемов продуктов и услуг в других регионах в этих балансах не представляются. Учитывается, что для внутреннего потребления используется также и ввоз. Международный экспорт и импорт в данной версии модели фиксируется.

Балансы транспортных услуг включают ее потоки на обеспечение внутрирегиональных перевозок, а также на вывоз и ввоз (2). Построение коэффициентов затрат транспорта  $a_{ij}^{r0}, a_{ij}^{r1}, a_{\pi j}^{rs}$  и  $a_{\pi j}^{sr}$  осуществляется на основе средних расстояний перевозок и показателей «веса» перевозимой единицы продукции данного сектора.

Балансы труда (3) имеют смысл ограничений на общий спрос на труд в данном регионе, объем предложения которого задается экзогенно исходя из имеющихся демографических прогнозов – см.  $L^r$  в (3).

Балансы инвестиций (4) по каждому виду представляют собой ограничения не для последнего года, а для периода в целом. Они балансируют спрос на них как сумму произведений выпусков на коэффициенты капита-

.....

лоемкости и общее производство инвестиционных товаров за весь период. При этом функции  $f(u_g^{r0}, u_g^{r1})$ , имеющие смысл суммы за период инвестиций вида  $g$  в регионе  $r$ , играют ключевую роль. Вменяется, что  $u_g^{r1} = (1 + \rho_g^r) \cdot u_g^{r0}$ , где  $\rho_g^r$  – средний за период темп прироста годового объема инвестиций вида  $g$  в регионе  $r$ . Тогда  $f(u_g^{r0}, u_g^{r1})$  зависят от  $\rho_g^r$  и легко строятся, а затем заменяются на свои линейные аппроксимации. Фактически в модели аппроксимируются именно показатели приростов инвестиций  $\rho_g^r$ .

Целевая функция задачи (6) – объем фактического конечного потребления домашних хозяйств. В модели фиксируются доли всех отраслей (секторов) по регионам в общем объеме поставок продукции и услуг в национальный фонд потребления:

$$\alpha_i^r, i = 1 \dots, N, r = 1, \dots, R,$$

где эти параметры – доля отрасли (сектора)  $i$  из региона  $r$  в общем объеме поставок продукции и услуг,  $N$  – число отраслей (секторов),  $R$  – число регионов, выделяемых в модели. Параметры  $\alpha_i^r$  являются экзогенными переменными модели и, как правило, остаются неизменными в сценарных расчетах и потому могут рассматриваться как заданные параметры. Следовательно, они прогнозируются на стадии конструирования модели и ее базового варианта.

#### **1.4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ МНОГООТРАСЛЕВОГО КОМПЛЕКСА В СОСТАВЕ ЭКОНОМИКИ**

Для разработки эффективной стратегии развития многоотраслевого комплекса необходима не только оценка внутренних ресурсов и взаимосвязей этой подсистемы народного хозяйства, но и его взаимодействие с другими сегментами экономики. Многоотраслевой комплекс является сложным элементом народного хозяйства. Для прогнозирования изменения его территориальной и отраслевой структуры необходимо и возможно разработать и реализовать такой набор экономико-математических моделей, который позволял бы, с одной стороны, учесть своеобразие и специфику входящих в него отраслей, а с другой – увязать его функционирование с условиями развития народного хозяйства в целом.

Разнообразие задач прогнозирования, наличие нескольких уровней управления и взаимодействия требует привлечения целого набора моделей. В качестве одного из центральных направлений, способствующих последовательной реализации комплексного межотраслевого межрегионального подхода к прогнозированию долгосрочных перспектив развития отраслевых систем, можно назвать использование взаимосвязанной системы экономико-

.....

математических моделей. Наличие большого круга разнообразных проблем, с которыми связано развитие отраслей, затрудняет построение жесткой унифицированной системы, предназначенной для решения всех задач среднесрочного и долгосрочного прогноза.

На протяжении многих лет в Институте экономики и организации промышленного производства СО АН СССР разрабатывались специализированные модельные комплексы, целиком охватывающие анализируемую совокупность однородных экономических объектов, но с акцентированным описанием ее отдельных аспектов. Основной принцип построения таких модельных комплексов заключается в следующем: детальное описание ядра (комплекса отраслей, группы предприятий, территориального сочетания ресурсов) дополняется агрегированным описанием фона (народнохозяйственного, отраслевого, смежных территорий). При этом ядром системы поочередно могут выступать объекты, выделенные из «фона». Сгенерированные таким образом модели объединяются в двухуровневые системы. На верхнем уровне рассматривается базовая (агрегированная) модель, на нижнем (уточняющем) уровне – модель с детализированным описанием отдельных условий функционирования. Модель нижнего уровня, в свою очередь, может рассматриваться ядром нижеследующей специализированной системы.

Взятая в качестве базовой модели в двухуровневой системе согласования отраслевых и народнохозяйственных прогнозов ОМММ является инструментом получения системы взаимосвязанных непротиворечивых межотраслевых балансов регионов и оптимизации их совокупности по выбранному критерию.

*Агрегированное представление отраслевого комплекса в ОМММ* приводит к постановке задачи, обладавшей рядом упрощающих моментов, ограничивающих широту анализа, например: затрудняется возможность оптимизации внутриотраслевой структуры, затрудняется дифференцированный анализ влияния отдельных факторов на развитие исследуемой отраслевой системы и др.

Под *детализированным представлением отраслевых систем в ОМММ* понимается более детальное (как минимум по номенклатуре отраслей) описание условий развития и размещения как всей системы, так и ее элементов (подотраслей, продуктов и др.) по сравнению с условиями других отраслевых систем, представляемых агрегированно. ОМММ такой конструкции сохраняет свои основные черты как модель сводного территориально-производственного прогнозирования. Она позволяет использовать условия развития остальных отраслевых систем в качестве народнохозяйственного фона для определения ключевых характеристик развития выделяемой отраслевой системы (внутри- и межотраслевых), в наибольшей степени определяющих развитие экономики страны. С другой стороны, данная модель позволяет глубже изучать взаимосвязи и взаимовлияние исследуемой отраслевой системы и народного хозяйства в целом [Гранберг, 1973].

Преимущество ОМММ подобной конструкции по сравнению с исходной агрегированной моделью состоит в том, что потребность в продукции отраслей комплекса и ее дифференциация по территории не задаются, а являются эндогенными параметрами модели. При автономной реализации моделей прогнозирования развития отраслевой системы эта величина обычно является экзогенным параметром. В отраслевых моделях затруднен учет межотраслевой взаимозаменяемости продукции – одного из факторов, который оказывает определенное влияние на развитие производства, и обычно рассматривается лишь частичная «технологическая» взаимозаменяемость отдельных видов продукции.

Получаемые характеристики развития отраслевого комплекса связаны с достижением максимального народнохозяйственного эффекта с позиций используемого в модели критерия. Одновременно с разработкой таких обобщающих параметров, как валовая продукция, численность занятых, объем межрегиональных поставок подотраслей комплекса, исчисляется также потребность в материально-технических ресурсах, необходимых для обеспечения реализуемости планов. Прогнозирование перспектив развития отраслевой системы по регионам осуществляется на основе имеющихся там сырьевых, топливных, трудовых и других ресурсов при одновременном учете прогноза развития других отраслевых комплексов. Применение ОМММ позволяет получить объективно обусловленные региональные оценки продукции и ресурсов, экономическая интерпретация которых может использоваться в анализе условий развития отдельных отраслей.

Многие исследователи<sup>1</sup> в качестве моделей нижнего (детализирующего) уровня предлагают использовать «специализированные» ОМММ (имеющие отличные от базовой модели и структуру, и номенклатуру), предполагая, что агрегирование выходной информации и передача ее в базовую модель не представляет собой сложную дополнительную задачу. Следуя логике структурного подхода, наличие в системе моделей народнохозяйственного прогнозирования развития многоотраслевого комплекса детализированных ОМММ вполне оправданно (хотя иногда и может быть заменено простой расчетной процедурой). С учетом этих замечаний на рис. 1.2 представим одну из систем взаимосогласованного прогнозирования народного хозяйства с детализированным (специализированным) представлением многоотраслевых комплексов в народнохозяйственной модели.

Конечно же, обмен информацией между реализуемыми моделями имеет двухсторонний характер, а достижение согласованного решения по всей системе представляет достаточно сложную задачу. Отметим только, что при таком подходе к учету народнохозяйственного фона, прогнозирование развития отдельного многоотраслевого комплекса или группы взаимосвязанных отраслей может осуществляться параллельно и не зависеть от состояния модельных разработок в других секторах экономики.

---

<sup>1</sup> См., например, [Суслов, 2008].

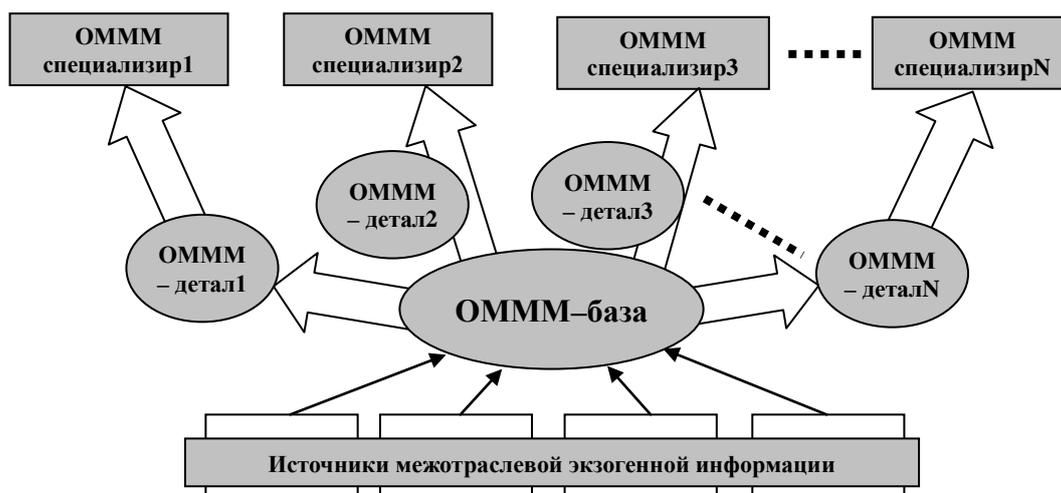


Рис. 1.2. Схема взаимодействия в системе моделей народнохозяйственного прогнозирования, построенной на базе ОМММ

Специализированные народнохозяйственные модели в данной системе имеют двухсторонние контакты с агрегированными моделями народнохозяйственного уровня и моделями собственно отраслевых систем. На основе моделей народнохозяйственного уровня (агрегированных и специализированных) организуются процедуры согласования решений по отдельным многоотраслевым комплексам. Обычный способ расширения области применимости разработанной модели состоит в добавлении и/или модификации учитываемых условий и факторов. Главное преимущество этих специализированных комплексов моделей – с одной стороны, возможность получения прогнозов развития регионов, отраслей и т.д., согласованных в масштабе народного хозяйства, а с другой стороны, – оценка сбалансированности пропорций народного хозяйства в целом, учитывающая возможности развития хозяйственных подсистем.

### 1.5. ЧИСЛОВОЙ ЭКСПЕРИМЕНТ СИСТЕМНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ДЕТАЛИЗИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ОТРАСЛЕВЫЕ ПОДСИСТЕМЫ В ОМММ

Проблема получения согласованного детализированного прогноза развития взаимосвязанных экономических подсистем является альтернативной формулировкой проблемы большой размерности. Задача большой размерности – это задача, которую нецелесообразно решать как единую, и потому желательно разбивать ее на частные задачи, решения которых должны быть в определенном смысле непротиворечивы. «Естественным» подходом к формированию прогноза развития экономики в целом и принятии на его основе того

или иного решения является замена исходной детализированной задачи другой задачей, более агрегированной. Однако в результате расчета агрегированной модели мы уже не получаем детализированных переменных исходной задачи. Более того, найденные здесь значения могут не совпадать со значениями аналогов/агрегатов, получаемыми при суммировании переменных исходной задачи. Это происходит в силу того, что значения агрегатов, помимо обычных ошибок, возникающих в любых расчетах, неизбежно содержат ошибки нового рода – ошибки агрегирования.

Если при формировании исходной базы агрегированной модели используются предположительные значения детализированных переменных, то в результате, какой бы способ дезагрегации полученных значений переменных макромоделей ни применялся, он не может, вообще говоря, сразу привести к точному агрегированному решению исходной (большеразмерной) задачи. Стремление уменьшить ошибку агрегирования в решении макромоделей выбором наилучшего способа укрупнения привело к возникновению хорошо известной классической теории агрегирования. Но методы классического агрегирования позволяют лишь уменьшить ошибку агрегирования в решении макромоделей и не способны (за исключением частных случаев) устранить ее полностью. Главное же – эти методы не позволяют получить решения исходной задачи большой размерности. Такая проблема в теории классического агрегирования даже не ставилась.

Формального разрешения указанной проблемы удалось добиться для достаточно большого класса экономических задач благодаря разработке специального подхода к проблеме агрегирования. В основу этого подхода была положена идея пересмотра привычного отношения к агрегации и дезагрегации. Полученные в результате первой агрегации и решения агрегированной модели показатели, а также показатели, получаемые в результате дезагрегации, не следует рассматривать как окончательные. Они должны рассматриваться как промежуточные, т.е. как некоторый этап первой итерации процесса решения исходной модели. Сами эти операции должны осуществляться на каждой итерации и проводиться таким образом, чтобы вместе с остальными операциями обеспечить сходимость итеративного процесса к решению исходной задачи. Разработанные в результате использования этих идей строгие методы взаимоувязки прогнозов с показателями разной степени детализации и получили название процессов итеративного агрегирования или, иначе говоря, последовательного переагрегирования укрупненных показателей, соответствующего их дезагрегирования и уточнения детализированных показателей [Итеративное агрегирование..., 1979]. Специальным образом, обобщая и синтезируя идею агрегации и дезагрегации и идею итеративности, методы итеративного агрегирования позволяют решать проблему обеспечения строгого согласования задач, имеющих дело с показателями разной степени детализации.

Общая схема многоуровневых процессов итеративного агрегирования аналогична схеме процесса формирования и движения информации в реальной экономике с иерархической структурой управления. По аналогичной схеме могли проводиться расчеты по разработке и детализации прогноза развития экономики страны с использованием Оптимизационной Межрайонной Межотраслевой Модели. Аналогия здесь состоит в следующем. И на практике на нижних уровнях решаются локальные задачи, в каждой из которых рассчитывают значения отдельной группы детализированных переменных. Далее информация агрегируется и после этого передается на верхние уровни управления, где и проводятся макрорасчеты в агрегированных показателях. Результаты макрорасчетов (или модифицированная информационная база агрегированной модели, т.е. другая по сравнению с полученной снизу) в виде агрегированной информации, «спускаются» на нижние уровни управления (построения прогноза), где заново решаются локальные задачи с учетом агрегированной информации, полученной с верхних уровней управления.

В проекте СОНАР можно представить идею его реализации в возможности параллельной разработки группы моделей по крупным межотраслевым народнохозяйственным комплексам и согласования их решения с использованием ОМММ. Автономность работы по каждому комплексу может привести к существенной модификации базовой модели, а при принятой схеме обмена информации между ними – к несогласованности, вызванной различной структурой используемых моделей. Поэтому единственным путем поддержания целостности всего проекта является постоянный контроль за базовой информацией, доступной различным пользователям, и взаимный обмен информацией о конструктивных изменениях «ядра».

Ниже приводится описание числового эксперимента [Блам, Машкина, 2009], в котором в качестве системы, используемой для оценки взаимодействия моделей отраслевых подсистем, использовались два уровня, содержащие базовую и детализированные модели, однородные с точки зрения модельной конструкции и сервисного обеспечения, и различающиеся лишь количеством рассматриваемых отраслей (подотраслей).

Реализация единой детализированной (включающей весь набор подотраслей) модели затруднена не только из-за ее размерности, но и из-за того, что отдельные блоки предполагают привлечение разных специалистов. Использованная нами схема разбиения общей задачи на комплекс «детализированных отраслевых» является конструктивным подходом для решения этой проблемы, а схема формирования информационных потоков является вполне адекватным инструментом получения детализированного решения. Такая система моделей имитирует итерационный процесс построения прогноза, основанного на обмене агрегированной информацией между «отраслевыми комитетами».

Двухуровневая система оптимизационных моделей (рис. 1.3) построена на основе Оптимизационной Межрайонной Межотраслевой Модели (ОМММ: 27 отраслей и 8 регионов)<sup>1</sup>. Отметим, что вся номенклатура отраслей большеразмерной модели (27-отраслевой) представлена в «наборе» моделей подсистем, и предполагается, что композиция решений моделей второго уровня должна давать решение исходной модели.

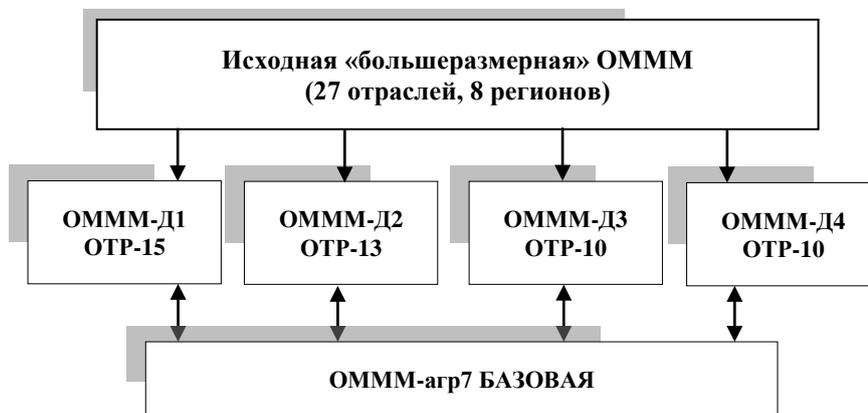


Рис. 1.3. Схема формирования и взаимодействия в двухуровневой системе оптимизационных моделей, построенных на базе ОМММ

Единая структура используемых моделей позволяет использовать модельно-программный комплекс, разработанный для реализации различных модификаций базовой ОМММ [Оптимизация..., 2010]. Кроме необходимой настройки комплекса на реализацию конкретных моделей системы, он был расширен рядом процедур агрегирования, позволившим в автоматическом режиме формировать исходные данные для каждой подсистемы.

На этапе подготовки исходных «детализированных» моделей была реализована следующая процедура агрегирования 27-отраслевой модели:

1. Коэффициенты материальных затрат, трудоемкость, капиталоемкость на действующих и новых мощностях – рассчитывались как средневзвешенные, в качестве весов использовались фиксированные объемы производства на действующих мощностях.

2. Коэффициенты транспортных затрат на экспорт и импорт, а также коэффициенты перевода цен в импортные и в экспортные, связанные с внешне-экономической деятельностью, рассчитывались как средневзвешенные, в качестве весов использовались фиксированные объемы экспорта и импорта.

<sup>1</sup> Работающий модельно-программный комплекс 27-отраслевой базовой модели был предоставлен нам Н.М. Ибрагимовым, за что авторы выражают ему большую благодарность.

3. Коэффициенты транспортных затрат на межзональные перевозки на этапе формирования исходных агрегированных моделей рассчитывались как среднеарифметические значения соответствующих затрат транспортательных отраслей.

4. Коэффициенты расчета верхних (UP) и нижних (LO) границ на новые мощности на этапе формирования исходных агрегированных моделей рассчитывались как среднеарифметические значения максимальных и минимальных значений темпов прироста объемов производства.

5. Отраслевая структура конечного потребления, значения правых частей ограничений, фиксированные объемы производства по действующим мощностям, ограничение на объемы экспорта и импорта – рассчитывались как простое сложение.

Таким образом, на информационной базе 27-отраслевой модели были сформированы четыре «детализированные» и одна агрегированная модели. Агрегируя информацию по описанному выше алгоритму, получили соответствующие файлы данных для всех пяти моделей из двухуровневой системы. Причем в исходных данных каждой детализированной модели: ОТП-15(Д1), ОТП-13(Д2), ОТП-10(Д3), ОТП-10(Д4) – присутствует информация агрегированной 7-отраслевой модели (по прямым ссылкам из данных агрегированной модели).

Опишем технологию и последовательность проведенных нами экспериментальных расчетов по взаимодействию информационных потоков.

После решения  $k$ -й детализированной модели производится агрегирование информационных массивов этой модели с учетом полученного оптимального решения в информационные массивы агрегированной модели.

На второй и следующих итерациях применялся следующий алгоритм расчета величин, определяющих нижние и верхние границы агрегированных объемов производства на новых мощностях – в качестве нижней границы задавалась величина  $=(1-\alpha) * X_{\text{опт.}}$ , а верхней  $=(1+\alpha) * X_{\text{опт.}}$ , где  $X_{\text{опт.}}$  – оптимальное значение на предыдущей итерации соответствующего агрегата. В качестве  $\alpha$  при разных экспериментах выбирались величины от 0,2 до 0,5. Представленные ниже результаты относятся к  $\alpha=0,2$ . Отметим, что значение  $\alpha$  нами брались одинаковыми для всех агрегатов, хотя влияние этой величины на результаты неодинаково для разных комплексов отраслей.

Далее будем обозначать используемые в расчетах модели следующим образом: исходная (27-отраслевая), Д1, Д2, Д3, Д4 и Агр7.

Очередность и процедура расчетов были следующими. На «нулевой» итерации (ИТЕР\_0) решаются сформированные из 27-отраслевой модели задачи), при этом на базе решения Д1 формируется новый файл «D7\_1» агрегированной модели. На первой итерации (ИТЕР\_1) используя файл «D7\_1», формируется и решается задача Д2. На базе решения Д2 формируется новый файл данных агрегированной модели «D7\_1\_2» (в котором сохраняются изменения, внесенные после решения задачи Д1 и Д2) и используя который формируется и решается задача Д3. И так далее. Ниже приводится цепочка решений.

- Итерация 0: Д1 → «D7\_1», Д2, Д3, Д4 и Агр7.

Далее процесс продолжается с использования полученного файла данных «D7\_1»:

- Итерация 1:

«D7\_1»→Д2→«D7\_1\_2»→Д3→«D7\_1\_2\_3»→Д4→«D7\_1\_2\_3\_4» = «\*D7».

- Итерация 2:

«\*D7»→Д1→«\*D7\_1»→Д2→«\*D7\_1\_2»→Д3→«\*D7\_1\_2\_3»→Д4→«\*D7\_1\_2\_3\_4» = «\*\*D7».

- Итерация 3:

«\*\*D7»→Д1→«\*\*D7\_1»→Д2→«\*\*D7\_1\_2»→Д3→«\*\*D7\_1\_2\_3»→Д4→«\*\*D7\_1\_2\_3\_4»;

«\*\*D7\_1\_2\_3\_4» = «\*\*\*D7».

И так далее.

Вопрос о критерии прекращения итерационного процесса является, безусловно, узловым. Например, можно считать критерием прекращения итеративного процесса близость значений функционалов на нескольких последовательных итерациях. На рис. 1.4 показаны изменения значений целевых функций модели по итерациям. После третьей итерации функционалы «устойчиво близки» (разница между ними менее 0,7%), однако они на 1,5–2,1% меньше значения целевой функции исходной 27-отраслевой модели. Решения детализированных моделей на последней итерации, как и ожидалось, оказались «устойчиво повторяемы» по целому ряду основных показателей, не требуя при этом наложения каких-либо дополнительных условий. В табл. 1.1 приведены суммарные объемы производства в конечном году прогнозируемого периода. Отметим только, что даже в разрезе агрегатов наблюдаются отличия решений «детализированных» моделей от агрегированного эталонного 27-отраслевого решения.

Что касается объемов производства по детализированным отраслям, то здесь различия более существенны. По первому комплексу существенные колебания есть только по Северо-Западному федеральному округу (руды черных металлов), но в абсолютном исчислении эти отклонения не являются критичными, и ими можно пренебречь. Что касается отклонений по второму комплексу, то для отдельных федеральных округов они более существенны и требуют дополнительного изучения.

Очевидно, что если агрегируются отрасли, в решении которых есть встречные перевозки продукции подотраслей, то для базовой структуры используемой модели невозможно построить оператор агрегирования, который бы учитывал эту ситуацию (встречные перевозки внутри агрегата). Нами была экспериментально опробована модификация «узловой» модели комплекса, в которой при агрегировании подотраслей вводилось условие обязательного ввоза агрегата по регионам – потребителям продукции подотраслей (дополняющий ввоз).

Предлагаемая модификация агрегирования информации детализированных моделей предполагает фиксацию объемов встречных перевозок, полученных при решении соответствующих моделей. Проиллюстрируем процедуру учета дополняющего ввоза на примере модели, входящей в используемую нами экспериментальную систему и описывающей химико-лесной комплекс (ОМММ 10\_хл – отраслевой комплекс 3). Из оптимального решения модели находим, по каким продуктам агрегируемого комплекса и между какими регионами есть встречные перевозки (табл. 1.2).

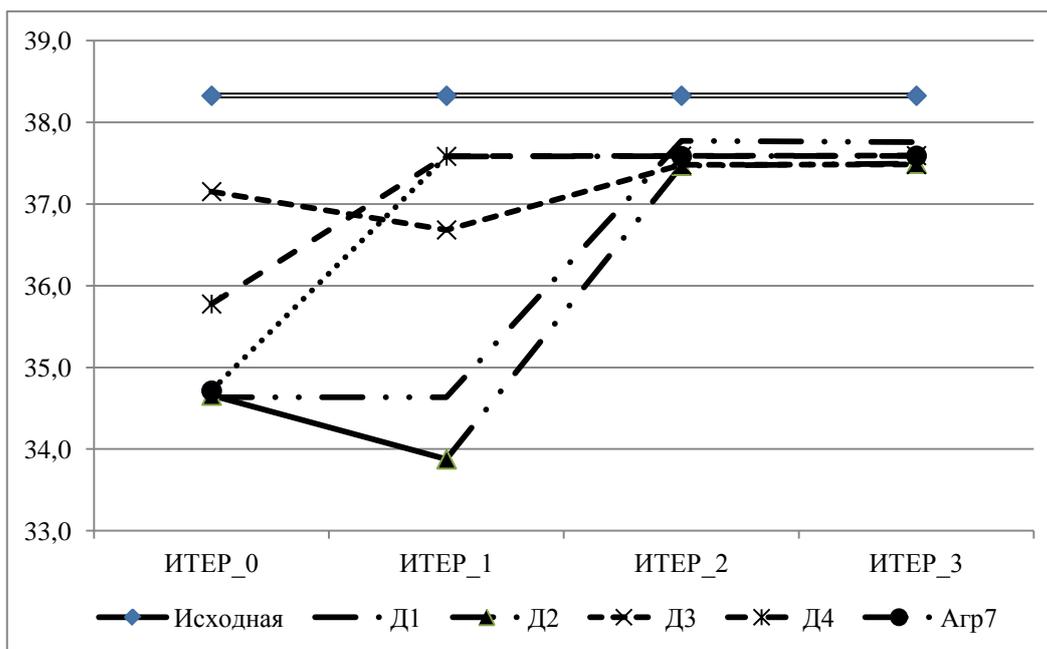


Рис. 1.4. Значения функционалов моделей по итерациям

Таблица 1.1

**Суммарные объемы производства в конечном году  
прогнозируемого периода**

Наименование	27-отр.	Д1	Д2	Д3	Д4	Агр7
Комплекс_1	12.8	12.7	12.9	12.8	12.9	12.9
Комплекс_2	2.9	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8
Комплекс_3	31.7	30.9	30.5	32.3	31.4	31.4
Комплекс_4	16.9	16.6	15.3	16.6	16.6	16.6
Машиностроение	10.3	9.5	10.4	10.4	10.6	10.6
Строительство	10.1	9.7	10.7	10.1	10.2	10.2
Транспорт и связь	5.6	5.4	5.4	6.0	6.1	6.1

Таблица 1.2

**Объемы «встречных» межрегиональных перевозок в модели  
с детализированным химико-лесным комплексом, млн руб.**

Продукция	Мне- мони- ка	«Ввоз–вывоз»			
		из СЗФО в ЦФО	из СЗФО в ПФО	из ЦФО в СЗФО	из ПФО в СЗФО
Продукты химической промышленности	XM	54388	0	0	0
Продукты нефтехимической промышленности	XN	0	0	19419	11363
Продукция лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности	LS	17650	4026	0	0
Продукция целлюлозно-бумажной промышленности	CP	57988	26515	0	0

Таблица 1.3

**Формирование способа транспортировки агрегированной продукции  
при встречных потоках – направление СЗФО (SZ) в/из ЦФО (CN).**

Мнемо- ника	XM^SZ>CN	LS^SZ>CN	CP^SZ>CN	Агрегированный способ (CH)		Показа- тель	XN^CN>SZ	Агрегированный способ (CH)	
CNXM	1			<b>CNCH</b>	1	CNXM		<b>CNCH</b>	-1
CNXN						CNXN	-1		
CNLS		1				CNLS			
CNCP			1			CNCP			
CNTR	-0.032	-0.062	-0.027	<b>CNTR</b>	-0.0340	CNTR	-0.016	<b>CNTR</b>	
SZXM	-1			<b>SZCH</b>	-1	SZXM		<b>SZCH</b>	1
SZYN						SZYN	1		
SZLS		-1				SZLS			
SZCP			-1			SZCP			
SZTR	-0.015	-0.028	-0.012	<b>SZTR</b>	-0.0155	SZTR		<b>SZTR</b>	
<b>Объемы</b>	<b>54388</b>	<b>17650</b>	<b>57988</b>		130036	<b>Объемы</b>	<b>19419</b>		<b>19419</b>

По регионам, задействованным на транспортировке «дополняющего ввоза», в балансовые ограничения по транспорту вводятся соответствующие средневзвешенные значения затрат на транспортировку продукции (в том числе и в транзитных регионах).

Расчет агрегированного способа представлен в табл. 1.3. «Встречные» транспортные способы взвешиваются на соответствующие оптимальные объемы поставок.

Аналогичным способом в данной модели формируется информация о встречных поставках по направлению: Северо-Западный федеральный округ (СЗФО) – Приволжский федеральный округ (ПФО). Эти способы добавляются в агрегированную модель, а затем передаются в модели других комплексов. Объемы перевозок по этим способам фиксируются на уровне, полученном в решении по соответствующей модели. Все остальные процедуры информационного обмена между детализированными моделями в используемой в расчетах двухуровневой системе остались прежними. Отметим, что в данном случае мы скорректировали структуру базовой ОМММ, введя в нее дополнительные способы, но это позволило нам, по крайней мере, учесть более полно транспортную работу.

Проведенные расчеты по данной модификации алгоритма согласования моделей показали, что таким образом можно достичь близости решений не только по значению функционалов, но и существенно приблизить детализированные объемы валовых выпусков к решению исходной «большеразмерной» 27-отраслевой модели.

## ЛИТЕРАТУРА

- Аганбегян А.Г., Багриновский К.А., Гранберг А.Г.** Система моделей народнохозяйственного планирования. – М.: Мысль; Новосибирск: Новосиб. кн. изд-во, 1972. – 348 с.
- Блам Ю.Ш.** Оптимизационные модели в перспективном планировании лесного комплекса / отв. ред. В.В. Кулешов; ИЭОПП СО АН СССР. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1983. – 167 с.
- Блам Ю.Ш.** Структурное проектирование и реализация программно-модельных комплексов / отв. ред. Г.М. Мкртчян; ИЭОПП СО РАН. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1992. – 111 с.
- Блам Ю.Ш., Машкина Л.В.** Числовой эксперимент системной реализации детализированных моделей, описывающих отраслевые подсистемы в ОМММ // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Социально-экономические науки. – 2009. – Т. 9. – Вып. 4. – С. 24–32.
- Гранберг А.Г.** Оптимизация территориальных пропорций народного хозяйства. – М.: Экономика, 1973. – 248 с.
- Итеративное агрегирование и его применение в планировании** / под ред. Л.М. Дудкина. – М.: Экономика, 1979. – 328 с.
- Методы и модели согласования иерархических решений** / под ред. А.А. Макарова. – Новосибирск: Наука, 1979. – 240 с.
- Оптимизация территориальных систем** / под ред. С.А. Суспицына; ИЭОПП СО РАН. – Новосибирск, 2010. – 630 с.
- Сулов Н.И.** Прогнозирование развития региона на основе межотраслевых моделей // Сибирь в первые десятилетия XXI века / отв. ред. В.В. Кулешов. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2008. – Гл. 20. – С. 298–310.
- Сулов В.И.** Многорегиональная оптимизационная модель: реальное значение и современная спецификация // Регион: экономика и социология. – 2011. – № 2. – С. 19–45.
- Сулов Н.И., Бузулуцков В.Ф.** Проект СОНАР-ТЭК: системное моделирование энергетики (Раздел 1.2.) // Методология и практика построения и использования региональных топливно-энергетических балансов. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2010.