

Н.Н. МОИСЕЕВ

**Мате-
матик
задаем
вопросы ...**



Н.Н. МОИСЕЕВ

**Маме-
Матик
задает
Вопросы...**

(Приглашение к диалогу)

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
МОСКВА 1974

Моисеев Н. Н.

М75 Математик задает вопросы... (Приглашение к диалогу). М., «Знание», 1975.
192 с. (Наука и прогресс).

В книге рассматриваются вопросы математического моделирования процессов общественного развития, подробно анализируется метод экспертиз, способы их организации и обработки результатов.

Последняя, четвертая, глава книги посвящена программному методу как одному из эффективных средств управления народным хозяйством.

33

М $\frac{10803-071}{073(02)-75}$ 171-74

ПРЕДИСЛОВИЕ

Среди ярких событий научно-технической революции, даже таких, как выход человека в космос и овладение энергией ядра, изобретение электронных вычислительных машин (ЭВМ) занимает исключительное место и приведет, вероятно, к глубоким изменениям в общественном производстве, во многих сферах человеческой деятельности.

В самом деле, жизнедеятельность людей, в конечном счете основанная на материальном производстве,— это непрерывное накопление, переработка разнообразной информации и принятие решений для достижения каких-то целей. ЭВМ рождает качественно новую технологию переработки информации и тем самым открывает перед нами широчайшие возможности для совершенствования и интенсификации интеллектуального труда.

Пожалуй, не так уж много было изобретений в истории человечества, равноценных по своей роли изобретению электронной вычислительной машины. Какие другие изобретения можно поставить в один ряд с этим изумительным достижением человеческого гения?

Наверное, покорение огня. Овладев огнем, наши далекие предки стали не только сильнее в борьбе со стихией. Это был первый шаг к использованию природных сил в пользу человека. Именно так люди осознали историческое значение этого факта, создав легенду о Прометее.

Далее, видимо,— изобретение паровой машины, с которой началась эпоха быстрого роста производительности труда и накопления прибавочного продукта в том

количестве, какое было необходимо для формирования современной цивилизации. «С тех пор как пар и новые рабочие машины превратили старую мануфактуру в крупную промышленность, созданные под управлением буржуазии производительные силы стали развиваться с неслыханной прежде быстротой и в небывалых размерах» (Ф. Энгельс. Анти-Дюринг. М., Политиздат, 1970, стр. 272).

И вот теперь ЭВМ!

Двадцать пять лет существования электронной вычислительной техники еще очень малый срок, чтобы понять всю эпохальность происходящего. Однако некоторые перспективы, которые нам открывает новая техника, видны уже сегодня.

Традиционные методы анализа человеческой деятельности пригодны лишь до тех пор, пока объем информации, которую необходимо переработать для того, чтобы принять правильное решение, не очень велик. Нынешняя научно-техническая революция характеризуется резким возрастанием объема информации — «информационным взрывом». Возникла необходимость дополнить традиционные методы научного анализа более соответствующими велениям эпохи.

Но создание нового инструментария на базе ЭВМ — это не только алгоритмы обработки информации. Это не только вычислительная техника — она лишь материальная предпосылка создания нового инструментария. Необходима еще теория, в которой должно быть достигнуто глубочайшее единство количественного и качественного, теория, развитая во всех необходимых деталях и частностях, способная использовать новые возможности обработки информации и давать надежные рецепты при построении систем целенаправленного использования ресурсов. Разработка такой теории потребует обширной научной программы, создания новых отраслей знания, новых направлений научных поисков, активного участия самых разных специалистов. Старые традиционные направления научных поисков, приобретая новый инструментарий, должны, вероятно, значительно эволюционировать. Эти процессы неизбежно приведут к определенной переоценке ценностей и будут со временем иметь глубокие последствия во всех областях нашей жизни. Начало этих процессов видно уже сегодня.

Весь ход исторического развития подтверждает непреложную истину: по мере расширения задач и увеличения масштабов социалистического и коммунистического строительства все больше возрастает руководящая роль марксистско-ленинской партии. Одновременно повышается значение общественных наук как теоретической основы целенаправленного воздействия партии на общество в целом и его отдельные звенья для достижения единой цели — построения коммунизма.

В принципе управление присуще обществу на любой стадии развития. Оно обусловлено самой природой общества, ибо «всякий непосредственно общественный или совместный труд... нуждается в большей или меньшей степени в управлении, которое устанавливает согласованность между индивидуальными работами и выполняет общие функции, возникающие из движения всего производственного организма в отличие от движения его самостоятельных органов» (К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 23, стр. 342).

Но только при социализме управление производством, обществом в целом становится научным, т. е. только при социализме реализуется возможность направлять развитие общества в соответствии с требованиями объективных исторических закономерностей, в первую очередь — закона планомерного развития народного хозяйства.

XXIV съезд КПСС сформулировал задачу огромного исторического значения: органически соединить достижения научно-технической революции с преимуществами социалистической системы хозяйства и добиться самого серьезного повышения эффективности экономики на основе интенсивных методов хозяйствования. В связи с этим партия ориентирует общественные науки на углубленное исследование специфических закономерностей социалистического общественного производства, теоретических основ совершенствования механизма государственного управления развитием экономики, на разработку методологии долгосрочного планирования и социально-экономического прогнозирования, на изучение многих других проблем функционирования развитого социалистического общества. По сути дела, речь идет о том, чтобы и сами общественные науки поднялись на качественно новую ступень развития, обогатили и углубили фундаментальные понятия и представления и тем самым

обеспечили ускорение социального и технического прогресса и совершенствование всей системы управления экономикой. Необходимость разработки единой, научно обоснованной системы мер, направленных на повышение эффективности управления и планирования, улучшения всего хозяйственного механизма, была с особой остротой подчеркнута на декабрьском (1973 г.) Пленуме ЦК КПСС.

Вот почему становится сегодня так актуальна ленинская идея плодотворного союза общественных и естественных наук, в частности союза между политической экономией и математикой. На незыблемой методологической основе марксизма-ленинизма благодаря математике и современной информационно-вычислительной технике создается мощный инструментарий социального и экономического анализа, призванный обогатить теоретический арсенал науки управления.

В начале 50-х годов электронная вычислительная техника стала не только завоевывать математике новые области приложения, но и деформировать само представление о содержании математических исследований.

С развитием вычислительной техники происходит определенная эволюция интересов математиков, посвятивших себя использованию электронных машин. С появлением ЭВМ первого поколения наша деятельность еще мало чем отличалась от обычной деятельности математика. Она сводилась преимущественно к численному изучению известных моделей различных физических процессов. ЭВМ была для нас большим арифмометром. По мере совершенствования машин центр тяжести интересов постепенно смещался в сторону задач управления сначала отдельными процессами, а затем и крупными техническими комплексами. А с появлением машин третьего поколения логика повседневной и будничной работы в области математического моделирования управляемых процессов привела многих из нас к проблемам использования ЭВМ для решения задач управления общественными процессами и, в частности, к проблемам автоматизации процедур управления.

Пока речь шла о таких вещах, как управление техническими системами, как бы сложны они ни были, трудности не носили принципиального характера. Во-первых, всегда был надежный партнер — инженер с его глубоко-

ким знанием существа дела и многолетним опытом экспериментальной работы. Во-вторых, всегда была возможность сосчитать не «совсем точно», а «достаточно точно», опереться на эксперимент и т. д. Другими словами, для преодоления трудностей, для успеха анализа хватало инженерной интуиции и изворотливости математика. Заметим по ходу дела, что в силу этих причин целый ряд новых задач, возникших в 50-е годы, таких, например, как расчет космических траекторий, очень быстро потерял свою новизну и сделался достоянием стандартной инженерной практики.

Несколько лет назад в стране начался процесс создания систем автоматизированной обработки данных и автоматизированных систем управления. Несмотря на то, что на первых порах автоматизация коснулась лишь самого нижнего звена — отдельных предприятий, уже в 1965 году стало ясно, что этот процесс рано или поздно должен охватить и остальные уровни управления. Но переход от завода к отрасли и региону, а потом и к народному хозяйству в целом — это не просто количественное усложнение. Возникли новые задачи, с которыми математикам раньше не приходилось иметь дело. Стало ясно, что работа над автоматизированными системами управления потребовала детального изучения общественных процессов, а следовательно, и дальнейшего развития (в нужном направлении) разнообразных общественных дисциплин. Участник этого процесса, математик, оказался в трудном положении: у него возникали вопросы, на которые он не находил иногда достаточно удовлетворительного ответа. Выяснилось, что многие социологи, экономисты, историки, представители других общественных наук были недостаточно подготовлены к тому, чтобы понять наши нужды.

Некоторые вопросы, возникавшие при проектировании систем управления, по своей постановке оказались настолько неожиданными, что просто не воспринимались в качестве проблем, относящихся к компетенции общественных наук. Потребовались определенное время и определенные усилия с обеих сторон, чтобы такое взаимопонимание возникло.

Чтобы управлять каким-либо организмом, надо знать его. Чтобы создавать автоматизированные системы управления, а главное — чтобы они были эффективны, на-

до всемерно углублять наши представления о процессах, происходящих в обществе, нужна количественная мера этих процессов. Именно поэтому к изучению общественных процессов сегодня дополнительно привлечена целая армия специалистов разного профиля — инженеров, математиков, инженеров-экономистов. Мы пришли не только со своими задачами, но и со своим инструментом, языком и манерой мышления. Для многих из нас объект исследования совсем новый, и нам всем предстоит еще разобраться в том лесе вопросительных знаков, который перед нами неизбежно возникает.

Очень важно было объяснить гуманитариям содержание наших вопросов и направление наших мыслей. Это не так просто. Приходилось объяснять еще, почему они возникли, а это значит рассказывать о нашей системе методов — как мы подходим к изучению процессов, происходящих в обществе.

Сейчас уже многое сделано. Необходимое объединение целей специалистов-общественников с усилиями техников и математиков уже произошло и дает положительные результаты. Вместе с этим выкристаллизовываются и новые вопросы и становится очевидным наступление нового этапа совместных работ — выработки широкой научной программы, создания научного фундамента использования электронной вычислительной техники в исследовании общественных процессов для целенаправленного управления ресурсами в интересах общества. На новом этапе необходимо не просто объединение усилий, но и глубокое взаимное проникновение естественнонаучной, технической и гуманитарных «цивилизаций». От этого зависит гораздо больше, чем может показаться на первый взгляд.

Вот почему автор взялся написать эту книгу. Она состоит из четырех глав. В первой обсуждаются общие вопросы использования метода формализованных моделей для изучения и управления общественными процессами. По существу, такие вопросы относятся к теории познания и составляют целое новое направление этой теории, которое только-только начинает разрабатываться. Далее дается некоторая условная классификация моделей и краткий обзор существующих типов моделей общественных процессов.

Эти разделы, видимо, будут самыми трудными для

читателя, но без них нельзя обойтись. Читатель должен увидеть, что внедрение вычислительной техники — это не просто новые методы обработки информации. Использование естественнонаучных методов анализа в общественных науках — это не только проблемы технического характера.

В следующих двух главах детализируются модели, о которых речь шла в первой главе. Обсуждается содержание и проблематика метода экспертиз и модели экономики, имеющие отношение к основным проблемам политической экономики и демонстрирующие возможность с помощью формализованных моделей получать не только способы использования ресурсов, но и ответы на некоторые фундаментальные вопросы этой дисциплины.

В последней главе автор считал необходимым обсудить, как использовать развитые методы научного исследования для построения альтернативы, то есть обсудить проблему выбора решений. Сделать это, однако, чрезвычайно трудно. Поэтому он ограничивается некоторыми фрагментами и стремится прежде всего изложить **свою** концепцию научного обеспечения принятия решений в больших организационных системах на основе программного метода.

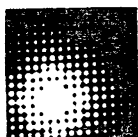
Эта книга адресуется прежде всего тем, для кого математика не является профессией. Поэтому в ней математики ровно столько, сколько нужно было для иллюстрирования рассуждений.

Автор хотел бы увидеть среди читателей гуманитариев, общественников. И очень хотел бы просить их не сердиться за вторжение в область их специфических интересов, а еще больше за непривычную манеру разговора. Хотелось рассказать, как и почему мы мыслим так, а не иначе. И это в самом деле важно. Логика жизни, технический прогресс нас связали крепко-накрепко — мы обязаны вместе изучать общество. А для этого надо прежде всего понять друг друга.

Работа над книгой была трудной и длительной. Ее удалось завершить во многом благодаря доброму отношению и помощи коллег, за что автор им глубоко признателен.

Особенно важной и ценной была поддержка А. Г. Аганбегяна, В. Г. Афанасьева и Ф. М. Бурлацкого — автор выражает им сердечную благодарность.

НЕСКОЛЬКО ВОПРОСОВ, ОТНОСЯЩИХСЯ К ТЕОРИИ ПОЗНАНИЯ



По существу, происходит не просто «математизация» общественных наук, а проникновение в эти науки методов, выработанных в точном естествознании.

Понятие «точное естествознание» весьма условное. Это даже не понятие, а скорее термин, обозначавший сравнительно недавно только те области естествознания, в которых успех исследования в значительной степени зависел от совершенства методов математического анализа.

До конца XIX века такому определению точного естествознания отвечали механика, физика и, может быть, некоторые инженерные дисциплины. Уже в начале XX века ситуация начинает изменяться, математические методы начинают использоваться в химии, в биологии.

Теперь этот процесс «математизации» захватил всю современную науку.

Представляется интересным и важным понять, в какой степени средства анализа, созданные точным естествознанием, могут быть использованы для изучения процессов, происходящих в человеческом обществе, какие новые проблемы гносеологического и методологического характера появляются в связи с возникшей тенденцией к «математизации» общественных дисциплин.

Интерес к этой проблеме определяется многими причинами, среди которых, вероятно, важнейшими являются общеметодические проблемы наук об обществе, поскольку создание нового инструментария значительно ускорит развитие этих дисциплин.

В этой книге будет сделана попытка понять и оценить роль и место математических методов и содержание математического обеспечения процедур принятия решений при управлении социальными системами. Эти процедуры, как правило, не формализуемы и так же, как выбор целей, должны опираться на исследование процессов, происходящих в человеческом обществе, т. е. на общественные науки. Правильное и своевременное решение коренных теоретико-познавательных вопросов будет непосредственно влиять на структуру научного поиска, а следовательно, и на ход научно-технического прогресса.

Проектирование и внедрение автоматизированных систем управления (АСУ) и создание новой технологии проектирования социально-экономических комплексов ведется сейчас многими десятками организаций. Люди, занятые этой деятельностью, подсчитывают объем информационных потоков, строят алгоритмы обработки информации, проектируют системы связи, системы периферии ЭВМ, обсуждают процедуры принятия решений и т. д. Практически мыслящий специалист, может быть, и не чувствует необходимости в философском анализе основ своей деятельности. Для него все просто и ясно. Например, создание узла связи или алгоритма решения задачи о перевозках само по себе действительно лишено непосредственного философского содержания. А между тем работа подобного рода в целом носит глубоко революционный характер, открывая путь в общественные науки методам исследования, принятым до сего времени только в физике и технике. Этот процесс носит часто стихийный характер, но он уже сегодня привел к такому объему новых методов (и фактов, добытых этими методами), который требует внимательного анализа и обсуждения перспектив.

Происходящая «математизация» общественных наук, по существу, знаменует новый важный шаг в их развитии, причем она ни в какой мере не является альтернативой тем методам исследования, которые до сих пор были обычными для гуманитарных дисциплин.

Выделение системы методов естественных наук произошло на пороге первой технической революции, изменившей энергетическую основу существования человечества. В наши дни, когда техническая революция меняет

информационную основу существования человеческого общества, начался процесс синтеза системы методов точного естествознания и системы методов, принятых в гуманитарных и общественных дисциплинах. Во всяком случае система методов и концепций, выработанная в естественных науках, начинает все глубже и глубже проникать в новые области знания — это объективный процесс. Понять возможности и перспективы объединения формализованных методов мышления с неформализуемыми способами познания, выделить трудности, которые при этом неизбежны, и перечислить проблемы гносеологического характера, связанные с проникновением в общественные науки новых методов, — это естественное стремление исследователя, желающего, помимо решения насущных технических задач, вдуматься в содержание своей деятельности.

Перечисленные вопросы только на первый взгляд носят абстрактно-теоретический характер. АСУ, в особенности АСУ высших уровней, — это не просто система ЭВМ, узлов коммутаций и каналов связи, как часто думают. Конечно, без всякой этой техники автоматизированные системы не могут существовать. Но главное все-таки в другом. Главное — это система конечных и промежуточных целей, система критериев и ограничений, система, регламентирующая права, обязанности и меру ответственности и, конечно, четко фиксированная система процедур принятия решения, т. е. все то, что принято называть логикой управления системой социального процесса.

Известному естествоиспытателю Гексли принадлежит крылатая фраза: «Математика подобна мясорубке, она может переработать любое мясо, но для того, чтобы получить хорошие котлеты, нужно и хорошее мясо».

Перефразируя Гексли, можно сказать, что техническая основа АСУ перерабатывает любую информацию об обществе. Но результат ее функционирования будет зависеть от того, насколько глубоко и всесторонне исследовано ее качественное содержание.

Собственно, проблема управления неотделима от процесса познания. Только достаточно ясное понимание следствий может быть гарантией от ошибочных решений.

Вот почему внедрение электронной вычислительной техники в управление государственным организмом по-

требует глубокого исследования в области фундаментальных общественных знаний. Создание АСУ ставит вопросы не только перед инженерами и математиками, к их решению должно быть привлечено внимание философов, историков, социологов, специалистов в области политэкономии и т. д.

Поговорим о терминах

До сих пор встречаются попытки противопоставления системы методов естественных наук методам и содержанию анализа, традиционным для общественных и гуманитарных наук. Такое противопоставление, по-видимому, — результат недостаточной взаимной информированности представителей различных научных дисциплин и в значительной степени определяется тем, что лица, использующие формализованное описание, применяют язык, непривычный для их коллег. Отсутствие общности терминологии, принятой в физике и технике, с одной стороны, и общественных науках — с другой, служит серьезным тормозом в объединении усилий «естественников» и «общественников».

В теории познания подробно обсуждается процесс формирования научной концепции. Обычно выделяются три этапа. Первый — это наблюдения, опыт, в результате которого в распоряжении исследователя оказывается информация, необходимая для дальнейшего анализа. Второй — это подъем на некоторую ступень абстракции, выделение существенного (обобщения и выводы). Третий — проверка выводов на практике.

Инженеры, занимающиеся проблемами создания систем управления, тот же самый процесс описывают на другом языке. Однако мы снова видим три основных этапа. Этап сбора информации, этап ее переработки, т. е. выделение существенного, и этап принятия решения, возвращения к практике. Эта схема универсальна. В нее укладываются в равной степени и способы исследования, принятые в точном естествознании и технике, и методы гуманитарных и общественных наук.

В основе всех действительно научных методов познания лежит диалектический метод. Новая манера выражать свои мысли, которая иногда вносится естественни-

ками и инженерами, разумеется, ничего не может изменить по существу. В самом деле, философ говорит, например, о выводах, об обращении к практике. Инженер говорит о том же самом, используя слова «принятие решения», т. е. называет перечень мероприятий, позволяющих практически использовать результат предшествующего абстрактного анализа и проверить его действительность. По существу, это одно и то же. Это важно подчеркнуть, поскольку незначительные терминологические различия приводят иногда к тому, что лица, говорящие на языке одной научной дисциплины, не только не понимают (часто и не стремятся понять) лиц, использующих другой язык, но готовы обвинить их в самом страшном из всех грехов — невежестве.

Поэтому имеет смысл сделать несколько замечаний по поводу терминов, которые в последние годы вошли в употребление в связи с исследованиями и проектированием больших управляемых систем: системный анализ, теория систем, системный подход и т. д., причем эти термины употребляются не только при анализе технических систем и процессов, но часто и при исследовании явлений и процессов, происходящих в общественной сфере. Иногда это приводит к трудностям, так как некоторые специалисты-общественники предполагают существование какого-либо скрытого смысла в подобной терминологии. На самом же деле она не содержит никаких новых идей принципиального характера. Системный подход, например, означает всего лишь стремление изучить то или другое явление или объект с учетом максимального числа внутренних связей и внешних факторов, определяющих функционирование объекта, т. е. стремление изучить его во всей диалектической сложности, вскрыв все внутренние противоречия. «Капитал» Карла Маркса — классический пример системного анализа капиталистического общества.

Исследования иерархической связанности систем — одно из важных направлений анализа систем — ставит своей задачей изучение диалектической связи целого и частного путем преодоления неизбежных противоречий. Подобные вопросы всегда представляют интерес для исследований философского характера. Однако вопрос об иерархической связанности имеет также четкую практическую направленность. Вопрос о рациональных

уровнях локализации и сжатия информации — это один из важнейших вопросов любой системы управления. Разработка общих принципов организации иерархических уровней позволила бы существенно упростить процедуру отыскания их оптимальных соотношений.

В современной теории систем существует много вспомогательных концепций, которые, если не преувеличивать их значение, отражают некоторые объективные явления. Одна из таких концепций — организмический подход к анализу систем. Организмическая концепция идет из биологии и, конечно, абсурдно описывать функционирование любой социальной группы исходя только из стремления организма сохранить максимальную устойчивость.

В то же время отдельным коллективам внутри одной и той же социальной группы присущи некоторые черты поведения, специфичные для организма. Это одна из причин того, что при изучении иерархически связанных структур мы всегда сталкиваемся с появлением новых критериев оценки принимаемых решений, имеющих силу для отдельных звеньев, но не для системы в целом. Понимание этого обстоятельства позволяет правильно решать разнообразные практические задачи. В частности, проблема создания рациональной системы стимулирования требует прежде всего хорошего знания целей тех звеньев, которые входят в систему.

В процессе конструирования систем управления мы неизбежно сталкиваемся с проблемой непрерывного совершенствования аппарата (техноструктуры), его адаптации к изменяющимся информационным потокам, целям управления и критериям. Иначе говоря, возникает проблема управления самим аппаратом управления. Понять внутренние особенности его функционирования — это значит существенно облегчить решение подобных вопросов и сделать более эффективным управление народным хозяйством. Использование организмических концепций позволяет сделать целый ряд практически полезных рекомендаций при проектировании процедур управления человеческими коллективами.

Разумеется, такие исследования невозможны без огромного фактического материала, который могут дать только конкретные социальные исследования. Однако ясное понимание философского и прикладного содержания

этой проблемы позволит, вероятно, сделать усилия социологов более целенаправленными.

Вообще-то теория систем, если обнажить ее сущность, не содержит ничего специфического для естественнонаучной методологии. Иметь по возможности более целостное представление об изучаемом объекте — задача, которая ставится любой научной дисциплиной.

Как уже было сказано, процесс познания ступенчатый. Вторая ступень в нем — это абстрактное описание изучаемого предмета, обобщение лишь некоторых его черт. Наше знание предмета получается неполным, относительным. Очень часто эти относительные истины называют моделями — термином, хорошо отражающим существо дела. Согласно ленинской теории познания познание абстрактной истины возможно только с помощью изучения бесконечной асимптотической (т. е. дающей точное представление лишь в пределе) последовательности непрерывно усложняющихся относительных истин — моделей*.

Таким образом, понятие модели также не является специфичным для естественнонаучных дисциплин — любая наука оперирует с модельным, приближенным описанием явления.

Тем не менее естественнонаучные методы имеют, конечно, свою особенность, понимание которой существенно для их использования в общественных науках.

Особенность естественнонаучных методов, по мнению автора, состоит главным образом в способах описания моделей. Общественные науки дают словесное описание ситуации, используя обычный язык — русский, английский и т. д. Физики и техники используют другой язык — формализованного математического описания. Разумеется, и тем, и другим способом мы можем описывать со-

* Философскому аспекту проблемы моделирования посвящена огромная литература (см., например, А. А. Зиновьев и И. И. Ревзин. Логическая модель как средство научного исследования. «Вопросы философии», 1960, № 1; А. И. Уемов. Логическая основа метода моделирования. М., 1972; К. Е. Морозов. Математическое моделирование в научном познании. М.—Л., 1969). Существует много разных трактовок этого понятия, классификация типов моделей и т. д. Мы не будем вдаваться во многие детали этих трудных проблем. Термин «модель» мы будем использовать в качестве синонима приближенного описания реального явления.

гласно теории познания только относительные истины — модели. Однако создание и использование этого языка, несколько не затрагивая сущность теории познания, открывает возможности применения той технологии исследования, которая базируется на использовании формально-логического аппарата, т. е. математики. При этом необходимо заметить, что, как и всякий язык, язык формализованных моделей не универсален. Он пригоден для описания лишь ограниченного круга явлений, а каких именно — это очень важно понять, чтобы искусственно не сузить либо, напротив, не расширить беспредельно границы его применимости.

Представляется почти общепринятой точка зрения о том, что математика дает лишь количественное описание изучаемых процессов. Именно этот аргумент приводят как «оправдание» применения математических методов в экономике, поскольку, мол, здесь приходится оперировать с числами.

Разумеется, многие математические дисциплины направлены на получение конечного численного результата. Но сводить математические методы исследования только к задаче получения числа — значит бесконечно обеднять математику, обеднять возможность того могучего оружия, которое сегодня есть в руках исследователей.

С конца XIX века в математике начали интенсивно развиваться области, которые ставят своей задачей разработку методов качественного исследования — качественное поведение семейства решений, их топологическая природа, проблемы единственности, формальнологические методы, проблемы разрешимости, устойчивости и т. д. Развитие этих методов чрезвычайно обогатило математику, сделало ее весьма гибким инструментом исследования. Более того, современные методы численного анализа в значительной степени используют результаты предварительного качественного анализа. Это замечание призвано лишний раз подчеркнуть важность изучения формализованных моделей, открывающих возможность использования всего арсенала средств математического анализа — не только количественного, но и качественного.

Мы живем в эпоху, когда особое значение приобретает предвидение, опирающееся на выявление и учет

тенденций общественного развития — т. е. принципиальной возможности или невозможности реализации ситуаций, стабильности или нестабильности той или другой формы организации и многих других вопросов. Сама жизнь толкает нас на использование и развитие именно качественных методов математического анализа.

Модели в физике

Чтобы оценить состояние и перспективы применения формализованных моделей для изучения общественных процессов и явлений, имеет смысл обратиться к опыту физики, где этот метод возник, получил свое развитие и откуда он начал мигрировать в другие области человеческого знания.

Математическая модель, записанная на том или другом частном языке (дифференциальные или разностные уравнения, теория автоматов и т. д.), отражает определенные свойства реальных физических процессов. В результате анализа математических моделей мы получаем прежде всего качественное представление об особенностях изучаемых процессов, устанавливаем закономерности, определяющие динамический ряд последовательных состояний (так называемых фазовых состояний), получаем возможность предсказывать течение процесса и определять его количественные характеристики.

Простейший пример — движение тел в поле тяготения. Математическая модель (законы Ньютона) дает нам форму траекторий, позволяет определить минимальную начальную скорость, необходимую, чтобы космический аппарат, например, мог оторваться от Земли. Она с огромной точностью позволяет вычислить положения и скорости планет (их фазовые состояния) в любой момент времени.

Основной критерий истинности в теории познания — это критерий практики. И он подтверждает чрезвычайную плодотворность метода математических моделей, который на протяжении столетий используется в физике и которому физика обязана своими выдающимися успехами. Ньютоновская механика, квантовая механика, теория относительности и другие математические модели

хорошо служат человечеству, давая необходимую и надежную расчетную базу его практической деятельности.

Достоверность сведений, которые дает изучение моделей, настолько велика, что в ряде случаев они считаются более достоверными, чем те, которые дает тонкий физический эксперимент. Мы доверяем нашим расчетам входа тела в атмосферу больше, чем экспериментам, имитирующим эти явления. Напомним, что внешние планеты нашей Солнечной системы были открыты на кончике пера, за письменным столом, только на основе изучения моделей. Более того, ученые пошли на риск первого атомного взрыва, имея в распоряжении только математическую модель процесса.

Но основа любой модели, в том числе и математической, — феноменологическая. Это означает, что какой бы абстрактной ни была модель, история ее создания всегда начинается с опытного изучения явления (феномена).

Именно на феноменологической основе возникла первая крупная математическая модель — механика Ньютона. Обширный экспериментальный материал, накопленный астрономами (и прежде всего Тихо Браге), позволил Кеплеру сформулировать законы движения планет и подготовить следующий окончательный шаг, сделанный Ньютоном, который объяснил весь феномен, всю совокупность его свойств с единой точки зрения. Точно так же совершенно очевидна феноменологическая основа термодинамики, квантовой механики, теории относительности и всех других моделей, изучаемых физикой.

В результате экспериментальных исследований накапливаются факты, создается исходная информация. В результате ее обработки возникает теория — модель или система моделей. Но далеко не всегда мы приходим к математической модели. Одно из замечательнейших творений человеческого гения — таблица Менделеева — это результат классификации, это схема, а не математическая модель. Математическая модель начинается с того момента, когда формулируется система аксиом, описывающая не только сам объект, но и некоторую алгебру, т. е. совокупность правил, определяющих допустимые операции над этим объектом. С этого момента модель начинает свою собственную жизнь. По мере накопле-

ния фактов она постепенно превращается в развитую математическую теорию, позволяющую поставить на службу изучению физических явлений весь арсенал средств математического анализа.

Развивающаяся теория сама начинает служить новым источником информации. Она подсказывает физику существование новых феноменов, требует опытного изучения тех или других процессов. Определяет возможность создания и развития новой техники.

Именно через формализованные модели математические знания оказываются одним из важнейших инструментов технического прогресса.

В свою очередь, и прогресс математики тесно связан с исследованием разнообразных моделей, которые возникают в физике и технике. Дифференциальные уравнения, теория групп, топология, функциональный анализ и другие разделы абстрактной математики изучают в конечном счете те или другие динамические процессы, которые описывает классическая или квантовая механика, теория сплошных сред, термодинамика и т. д. Разумеется, математика является самостоятельной наукой со своим собственным набором методов, но ее тесная связь с физическими моделями не только была одним из важнейших источников грандиозного прогресса в физике в XIX и XX веках, но и определила фантастическое развитие математической мысли*.

Сейчас мы обладаем глубоким пониманием того, как должна использоваться математика в физике и технике, хорошо понимаем значение этой связи и знаем, как здесь рационально проводить разделение труда между математиком, физиком и инженером.

Итак, математические модели строятся на феноменологической основе. Расширение феноменологической базы естествознания, накопление фактического экспериментального материала приводит к расширению моделей,

* Многим кажется, что абстрактнейшая из наук математика никак не связана с практической деятельностью человека. В их представлении математик чем-то похож на ребенка, играющего в игрушки, которые он сам для себя сделал. Однако более глубокий анализ всегда находит источник вполне «земного» свойства, положивший начало данной математической дисциплине, и система «придуманных» аксиом оказывается в конечном счете идеализированным описанием какого-то класса явлений, реально существующих в нашем реальном мире.

к созданию более общих моделей, если угодно, к поглощению одной модели другой.

Механика Ньютона первоначально и затем долгое время, до начала XX века, была чисто феноменологической моделью. Она объяснила наблюдаемые факты и позволила предсказывать течения ряда процессов. Но затем был открыт класс таких физических явлений, которые модель Ньютона не могла уже объяснить. Тонкие физические эксперименты, в частности, опыт Майкельсона и Морли, показали, что нельзя достичь скорости, большей скорости света, и, следовательно, механические движения, скорости которых сравнимы со скоростью света, не подчиняются механике Ньютона, не знающей никаких ограничений скорости. Эти новые опытные данные потребовали создания новой модели — механики Эйнштейна, так называемой специальной теории относительности. Очень важно, что этот новый этап познания не зачеркнул и не отверг накопленные знания. Оказалось, что между обеими моделями существует глубокая логическая преемственность асимптотического характера. Если

параметр

$$\lambda = \frac{v^2}{c^2},$$

где v — собственная скорость движения, а c — скорость света (мировая постоянная), достаточно мал, то результаты анализа, полученные как в рамках специальной теории относительности, так и на основе ньютоновской механики, практически одинаковые.

Итак, после того как была создана более глубокая феноменологическая модель — специальная теория относительности, модель Ньютона сделалась асимптотической моделью. Оказалось, что система аксиом, на основе которых была построена модель Ньютона, дает лишь приближенное описание более общих явлений, причем мы умеем получать асимптотические оценки точности расчета с помощью этой более простой модели. Иными словами, мы знаем, какую делаем ошибку, используя вместо механики Эйнштейна механику Ньютона. Последнее замечание имеет решающее значение для практического использования модели, без ссылок каждый раз на результаты опытов.

Асимптотический анализ может, в свою очередь, служить средством получения новых классов моделей.

Рассмотрим один пример. Предположим, что мы изучаем течение вязкой жидкости. Модель такого течения называется уравнением Навье — Стокса. Все функции, входящие в описание этой модели, зависят от ряда параметров, характеризующих влияние гравитационных сил, степень сжимаемости жидкости, влияние сил вязкости и т. д.

Для получения качественной картины происходящих процессов и для проведения приближенных расчетов (т. е. для удовлетворения прямых потребностей инженерной практики) мы должны научиться строить модель жидкости малой вязкости, позволяющую определить величину сопротивления. Положить вязкость, равной нулю, мы не можем, так как в этом случае получим абсурд: тело, двигаясь в жидкости, не встречает сопротивления. Асимптотический анализ дает способ построения модели, которая гораздо проще модели Навье — Стокса и приводит к правильному результату. Эта модель носит название модели пограничного слоя, и уже многие десятилетия она надежно служит инженерам.

Приведенный пример имеет смысл расширить, чтобы продемонстрировать одну важную тенденцию, свойственную анализу явлений физической природы. Модель Навье — Стокса сама может быть выведена из феноменологической модели — на основе представления о газе как о совокупности молекул, способных к хаотическому движению, которое подчиняется лишь некоторым законам взаимодействия. Построение модели требует минимума информации о природе явления — оно опирается только на самые простые сведения о микроуровне. Такая модель носит название уравнений Больцмана. Однако эта целиком феноменологическая модель, описывающая чрезвычайно широкий класс явлений, очень сложна, плохо приспособлена для анализа конкретных задач — например, задачи расчета сопротивления при движении тела в жидкости или газе. Чтобы сделать следующий шаг, упрощающий теорию, делающий ее более эвристически ценной, т. е. позволяющей получить более конкретную информацию, мы должны усложнить системы исходных посылок, иначе говоря, сузить класс изучаемых явлений.

В рассматриваемом случае нам достаточно принять единственное условие — считать, что длина свободного пробега молекул мала по сравнению с масштабами из-

учаемого явления. В результате мы получаем новую асимптотическую модель, именуемую уравнениями Навье — Стокса. Хотя вся информация, которая может быть получена с помощью уравнений Навье — Стокса, в принципе может быть получена и с помощью уравнений Больцмана, модель Навье — Стокса имеет целый ряд качественных особенностей. Она оперирует новыми агрегированными понятиями — давлением и плотностью, скоростью потока и т. д., которые не имеют смысла, когда речь идет просто о совокупности молекул. Таким образом, переход от модели Больцмана к модели Навье — Стокса сопровождается содержательным сжатием информации — к появлению новых качеств, присущих всему ансамблю (всей совокупности молекул) в целом (если, конечно, последний находится в условиях, когда длина свободного пробега мала).

Вот это и есть главные замечательные свойства асимптотического анализа. Он позволяет производить сжатие информации, отбрасывать второстепенные особенности, создавать новые агрегированные характеристики.

Но есть еще одна важная сторона асимптотического анализа: она позволяет обнаружить мелкие второстепенные детали, которые тем не менее при известных обстоятельствах могут оказать решающее значение на характер протекания изучаемого процесса.

Асимптотический анализ — это одно из важнейших направлений в теории физических явлений, обладающий сегодня развитым и глубоким аппаратом. Не будет большим преувеличением сказать, что это целая система взглядов*.

Приведенные рассуждения имеют своей целью обратить внимание читателя на важную особенность естественнонаучного подхода. Она состоит в стремлении использовать феноменологию только на микроуровне, охватить по возможности более широкий класс явлений, а затем методами асимптотического анализа получить

* Оформление асимптотического анализа как нового направления в математике связано главным образом с именем Анри Пуанкаре, одного из самых замечательных математиков всех времен. По существу, в своей «Теории интегральных инвариантов» он предвосхитил открытие специальной теории относительности. Великий математик, замечательный физик и глубокий мыслитель-естественник, он оказал огромное влияние на развитие математики и физики XX века.

более простые модели макроуровня — как частный случай.

Собственно, это и есть основа логики развития естествознания. Пользуясь современным языком, можно сказать, что в этом и проявляется системный подход естествознания к исследованию процессов, происходящих в природе.

Системный подход позволяет правильно использовать критерий практики. Именно он обеспечивает надежность и эвристическую ценность теорий.

Если ограничиваться изучением макроуровней, т. е., следуя Эшби, искать только функциональные связи типа «вход — выход», то можно легко оказаться в плену иллюзий. Классическим примером подобных иллюзий является теория Птолемея. В начале нашей эры Птолемей, наблюдая движение планет, построил свою знаменитую систему циклов и гиперциклов. Она настолько хорошо описывала движение планет, известных Птолемею, что его расчетами можно пользоваться и сейчас. Если не перейти к более детальному изучению движения планет, а оставаться в рамках эксперимента, доступного людям античной эпохи, то опровергнуть теорию Птолемея нельзя.

Иногда формулируют еще один системный принцип. Физики говорят так: настоящая теория должна уметь «заглянуть за угол». Смысл этого афоризма простой. Всякая теория — это прежде всего приведение фактов в систему, объяснение их с единой точки зрения. Если теория, созданная для объяснения некоторого набора фактов, их действительно объясняет — это уже хорошо. Но «настоящая» или «хорошая» теория должна оставаться справедливой и тогда, когда произойдет расширение объекта исследований, когда появятся новые факты. Теория движения планет, созданная Кеплером, тем и была принципиально лучше теории Птолемея, что она оказалась справедливой для любых планет и астероидов Солнечной системы, включая Луну и спутников планет, а не только для тех, которые наблюдал Птолемей.

Чтобы убедиться в ошибочности теории Птолемея, достаточно было включить в число объектов Луну!

Критерий практики — это краеугольный камень системы физических моделей. Однако его применение не

сводится только к достаточно широкой опытной проверке развиваемых теорий.

Зададим простой вопрос. Если сформулирован некоторый закон, должен он быть проверяем? Ответ кажется тривиальным — должен, иначе какой же это закон! Между тем далеко не все знают, что один из основных законов механики, основа основ всей техники, непроверяем, принципиально непроверяем!

Речь идет о первом законе Ньютона, который утверждает, что если на тело не действуют силы, то оно движется прямолинейно и с постоянной скоростью. Такое утверждение проверить нельзя, ибо нигде во Вселенной нет места, где на тело не действовала бы сила тяготения. Эту трудность видел еще сам Ньютон, когда он говорил о мысленном эксперименте. Однако никакой мысленный эксперимент помочь не может, так как оказывается, что силы тяготения и силы инерции экспериментально неотличимы. Человек, находящийся в лифте, не может отличить факт ускорения лифта от изменения гравитации. Этот факт был известен давно. Однако только Эйнштейн нашел мужество его постулировать. Так возникла общая теория относительности, в которой вместо первого закона Ньютона появился постулат об эквивалентности тяготения и инерции.

Этот пример говорит о том, что критерий практики нельзя понимать упрощенно. Ситуация, о которой шла речь, будет достаточно типична для теории моделей процессов, происходящих в общественной сфере.

Непосредственная проверка! А может быть, достаточно косвенной проверки? Разве не является утверждением истинности первого закона механики (в смысле относительной истины, конечно) тот факт, что вся инженерная деятельность, основанная на законах механики, достигла целей, которые люди ставили перед собой?

По мере развития физики число асимптотических моделей, частных моделей, выводимых из моделей более общих, непрерывно растет. Некоторые феноменологические модели превращаются в асимптотические по мере создания новых, более широких феноменологических моделей. Таким образом, количество асимптотических моделей в некотором смысле отражает «зрелость», «цельность» научной дисциплины.

Бесконечное многообразие окружающего мира, непрерывное расширение человеческой деятельности требуют и непрерывного расширения набора моделей.

За триста лет активной деятельности физики и математики построили стройное здание — систему моделей современной физики. Она состоит из многих этажей. Нижний занимают простейшие модели, например, модель, именуемая «Ньютоновская механика материальных частиц». В более высоких этажах располагаются более сложные модели.

Усложнение моделей связано не только с усложнением структуры изучаемых взаимодействий, но и с необходимостью большей конкретизации явлений. Например, мы изучаем распространение волн на поверхности воды. Если считать, что высота волн очень мала (более точно — бесконечно мала), то получается относительно простая модель. Она позволяет исследовать очень многие практически важные факты — изучить, скажем, дифракционную картину в окрестности волнолома и дать основу для расчета этого инженерного сооружения. Однако в рамках такой модели мы не можем изучить зависимость скорости распространения волны от ее амплитуды, объяснить явления типа цунами и т. д. Если нам необходимо при той же структуре взаимодействия выделить эту зависимость, то мы должны иметь другую модель, так называемую нелинейную теорию волн, и эта новая усложненная модель оказывается действительно неизмеримо более сложной.

Все этажи здания физических моделей тесно связаны между собой. Многие из них соединены надежными логическими переходами. Это здание продолжает непрерывно строиться и перестраиваться.

Формализованные модели процессов, происходящих в общественной сфере

Система формализованных моделей физики — это некая культура, имеющая не только развитый аппарат исследования, но и глубокие традиции и внутренние возможности совершенствования.

Сегодня очень важно понять, в какой степени весь этот накопленный опыт, все это богатство могут быть

перенесены на другую почву, что из этого опыта останется приемлемым, какие новые проблемы возникнут.

Попробуем окинуть взглядом ситуацию, которая сложилась в изучении социальных, экономических и других процессов, происходящих в человеческом обществе. Призвать математику на помощь здесь пытались не раз, но только в XX веке начинают возникать математические дисциплины, никак не связанные с изучением процессов, происходящих в физике и источником которых является функционирование человеческих коллективов. После работ французского математика Э. Бореля можно говорить о появлении математической теории игр, после работ академика Л. В. Канторовича возникает новая ветвь математики — математическое программирование, а работы английского артиллериста Ланчестера, изучавшего артиллерийскую дуэль, заложили основу математического анализа боевых операций.

С появлением этих научных направлений и началось создание базы для различных моделей деятельности человеческих коллективов и постепенное проникновение естественнонаучных методов в социальные науки.

Сегодня уже создано много моделей, практическое значение которых бесспорно. Это прежде всего экономические модели. Оказалось, что многие явления, изучаемые в конкретной экономике, более или менее легко поддаются формальному описанию и краткосрочное планирование сейчас почти полностью может быть основано на модельных расчетах.

Значительно труднее поддаются формализации проблемы политической экономии, международной торговли и политики. В этих областях успехи значительно более скромные, хотя, как нам кажется, именно здесь новые методы обработки информации могут оказаться особенно эффективными. В самом деле, именно здесь объем информации настолько велик, настолько сама информация разнообразна, противоречива и сложна, что справиться с ней старыми методами обработки становится все труднее и труднее. И самое главное: в этом гигантском информационном массиве сложно уловить, понять и целенаправленно использовать качественную сторону разнородных явлений. Иными словами, ныне очень и очень нелегко принимать решения для реализации целей, которые общество ставит перед собой.

Совсем пока неважно обстоит дело с моделями социальных процессов. Сейчас можно говорить только об их статистическом анализе — статистических моделях. Таким образом, сегодня мы имеем некоторую разрозненную совокупность моделей, не представляющей еще пока какой-нибудь стройной системы. Но очень отрадно констатировать, что непрерывно растет интерес к подобным проблемам и интенсифицируются поиски новых путей анализа. Надо думать, этот процесс будет развиваться, и с каждым десятилетием методы, использующие математику, все чаще и эффективнее будут применяться для изучения явлений, происходящих в человеческом обществе. Мы находимся сейчас в самом начале этого пути, и, вероятно, он повторит многое из того, с чем мы сталкиваемся в истории формирования методологии современной физики. Подчеркнем еще раз, что именно поэтому понять содержание, особенности и трудности, с которыми сталкивались физики, разрабатывая и совершенствуя свою систему моделей, не только интересно, но и важно для успешного создания аналогичных методов в общественных науках.

Однако необходимо отдать себе отчет в том, что существует разница принципиального характера между процессами, которые изучает физика, и процессами, протекающими в обществе.

В физике мы имеем дело с процессами, которые полностью определяются фазовыми координатами изучаемого объекта и структурой взаимодействия. В этом смысле физические модели имеют относительно простой микроуровень. Основные трудности возникают дальше при попытке дать целостное описание поведения всего ансамбля, всей связанной взаимодействиями системы частиц. При изучении общественных явлений мы сталкиваемся с тем, что уже на микроуровне возникают трудности описания, с которыми раньше наука не имела дела. Мы должны принимать во внимание то, что каждый член функционирующего коллектива имеет возможность самостоятельно перерабатывать информацию и принимать решение. Поэтому поведение такого ансамбля определяется не только его состоянием в данный момент и структурой внешних и внутренних воздействий, но и результатом индивидуально принятых решений. Немаловажным является и то усложняющее обстоятельство, что

информация, на основе которой принимаются эти решения, бывает, как правило, неполной и часто ошибочной. Таким образом, эти решения основываются на представлениях о ситуации, не эквивалентных действительности.

Если мы столкнулись с такими трудностями уже на микроуровне, то можно ожидать, что переход к макроописанию поведения коллектива поставит перед нами проблемы беспрецедентные. И действительно, здесь ясного пути пока что нет. И аналогия с физикой не очень помогает. Если на основании опытного изучения отдельных элементов, составляющих ансамбль, физик получает их описание — модель частиц, то с помощью методов типа осреднения он выводит агрегированные характеристики, описывающие поведение всего ансамбля.

Очень схематично этот процесс можно представить себе так. Изучение явления, которое мы проводим на микроуровне, позволяет опытным путем связать воздействия, внешние по отношению к элементу (частице) с его реакцией на эти воздействия. Если это сделано, то чтобы описать макроуровень, т. е. поведение ансамбля в целом, уже нет необходимости ставить новые опыты. Чисто математическим путем мы можем теперь найти реакцию всего ансамбля на воздействия, которые будут внешними для ансамбля. А характер этой реакции будет определяться внутренними связями и свойствами частиц. Мы уже приводили пример модели течения газа. Хаотическое движение его молекул в результате математической обработки исчезает, и перед нами новый объект исследования — поток газа. Появляются новые характеристики — давления, температуры, плотности и т. д., которые не имеют смысла при рассмотрении отдельных молекул, но которые полностью (с точки зрения практических задач) характеризуют поведение ансамбля молекул. Таким образом, при переходе к описанию поведения ансамбля в целом появляются качественно новые характеристики, но они однозначно выводимы из свойств отдельных частиц и структуры взаимодействия. Другими словами, поведение ансамбля при заданных внешних условиях определяется однозначно свойствами элементов ансамбля.

Попытки повторить этот путь при изучении поведения человеческого коллектива непосредственно привести к успеху не могут. Первая (но не главная) трудность

состоит в том, о чем уже говорилось выше: реакция «элементов», способных принимать самостоятельные решения, на внешние воздействия, неоднозначна. Значит, чтобы продвинуться дальше, нам надо знать, что такое «средний» член коллектива и статистику его реакций. Эта проблема не может быть решена одними математиками.

Но главная трудность состоит в другом. Чтобы знать поведение всего коллектива, информации о поведении всех его отдельных членов еще недостаточно. В общественной сфере действие «элемента» (человека) очень сильно зависит от того, в каком коллективе он находится, от воздействия на него общества. Оторвать изучение «микроуровня» (отдельного человека) от макроуровня (общества) нельзя, так как «сущность человека не есть абстракт, присущий отдельному индивиду. В своей действительности она есть совокупность всех общественных отношений» (К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 3, стр. 3).

Опираясь на марксистско-ленинское учение об обществе — исторический материализм, нам, математикам и социологам, предстоит приложить немало усилий, чтобы найти пути решения проблемы.

Словом, построение логически непротиворечивой, внутренне связанной между собой системы моделей, описывающих общественные процессы, требует дальнейшего глубокого развития фундаментальных разделов общественных наук. Без этого мы будем иметь набор отдельных феноменологических моделей, практически между собой не связанных. А без крепкого теоретического фундамента — без теории моделирования в общественных науках — мы всегда будем оставаться во власти эмпиризма. Мы будем чем-то напоминать Птолемея, который, пытаясь все точнее и точнее описать движение планет, вводил все новые и новые гиперциклы вместо того, чтобы, подобно Ньютону, дать формализованное описание их основной причины — тяготения!

Невозможность дать достаточно полное описание поведения коллектива только на основе свойств индивидов, его составляющих, невозможность построить макроописание, опираясь только на информацию о микроуровне и является, вероятно, главной особенностью социальных систем с точки зрения моделирования. Она делает недо-

статочной ту логическую схему, которую выработала физика, и ставит перед исследователями много новых и трудных вопросов.

Разумеется, различие процессов, которые изучают физика и общественные науки, этим не исчерпывается. С точки зрения специалиста, который проектирует и изучает свойства моделей, очень важно, что общественные процессы, хоть и в разной степени, управляемы. В руках коллектива или отдельных людей имеется всегда определенный ресурс, который они могут использовать для достижения своих целей. Стало быть, течение процесса всегда зависит от решений, принимаемых людьми.

Это обстоятельство также является источником трудностей и приводит к задачам, которые не имеют аналогов при построении и изучении физических моделей.

Предположим, например, что цель коллектива известна. Какие цели надо поставить частям этого коллектива, чтобы достичь общих целей? Задача традиционная для лиц, управляющих действием людей. Огромный опыт накоплен военными, экономистами, управляющими разных рангов. Но одно дело ее решение на интуитивном уровне. А совсем другое — построение теории, которая с математической точностью должна указать распределение заданий, позволяющих наилучшим способом достигнуть целей, общих для коллектива.

Не только создание моделей общественных процессов, но и их использование для нужд практики ставит целый ряд трудных теоретических проблем. Применение моделей, осмысливание содержания этого процесса, который объективно происходит, потребует, вероятно, проделать работу, аналогичную той, что была проведена философами и физиками в 30-е и 40-е годы. Сколько жарких философских дискуссий потребовало усвоение новых фактов, добытых экспериментаторами, и новых моделей, предложенных физиками-теоретиками! Сейчас эти споры позади. В результате обсуждений все стало на свои места. Но для этого потребовался пересмотр ряда традиционных и упрощенных схем.

Думается, что нечто подобное должно произойти и в общественных науках.

Вот несколько проблем гносеологического характера, которые необходимо детально проанализировать, опираясь на марксистскую методологию, чтобы сделать

вполне отчетливым смысл, философское содержание и эвристическую ценность метода математических моделей в общественных науках.

Проблема причинности. Вспомним, что в свое время в физике большие трудности философского характера вызвал принцип неопределенности Гейзенберга. Чтобы все стало на место, пришлось понять (и это пришло не сразу), что импульс и координата элементарной частицы не могут восприниматься независимо, что это есть объективный факт — так происходит на самом деле. Не меньшие трудности были в свое время с проблемой стохастического описания или с объективным дуализмом элементарных частиц, из чего некоторые философы выводили чуть ли не существование «свободной воли» у электрона.

Заметим, что для преодоления подобных трудностей пришлось в какой-то степени расширить само понятие причинности, во всяком случае уравнивать в правах однозначность следствия с распределением вероятности его появления.

Но если уподобить (всего лишь для наглядности рассуждений — не больше того!) человека элементарной частице, то ситуация резко изменится: ведь человек как частица социального целого и в самом деле обладает «свободой воли», т. е. способностью сделать выбор поступка, акта поведения. Поэтому когда заходит речь о математическом описании общественных процессов, то возникает масса трудностей принципиального характера, и пока неизвестно, как их можно преодолеть.

Мы, математики, испытываем острую потребность в обсуждении принципа причинности и понятия «закон» (применительно к человеческому обществу) на ином уровне, чем это принято сейчас в науках об обществе.

Проблема прибора и проблема эксперимента. В начале XX века эта проблема была одним из источников агностицизма и причиной ожесточенной борьбы. Установлено, что в ходе физического эксперимента прибор изменяет характеристики изучаемого явления и тем самым в известной степени как бы деформирует его. Однако мы всегда знаем, что изучаем некоторый объективно существующий процесс, т. е. стремимся познать некоторую абсолютную истину. Мы знаем также, что сегодня с нашей технологией эксперимента мы можем изучить

этот процесс лишь в каком-то приближении — можем получить только относительную истину. А завтра мы создадим новую, более совершенную технологию эксперимента и сделаем еще один шаг по пути полного познания.

Изучая процессы, происходящие в человеческих коллективах, в качестве прибора мы используем, как правило, человека. Этот факт особенно важно учитывать при анализе результатов социальных исследований. В этих исследованиях далеко не всегда удается получить надежные выводы. Более того, не так просто объяснить и результат измерения — само значение эксперимента, когда даже нет сомнений в качестве «прибора». Аналогии с физикой здесь очень затруднительны.

В самом деле, в физике эксперимент базируется на безусловной повторяемости событий и ситуаций. В общественной сфере мы никогда не будем иметь тождественных ситуаций. Могут быть похожие ситуации, но не тождественные.

К тому же человеческое общество уникально, каждый прожитый им день безвозвратно уходит в прошлое. Стало быть, ни о какой экспериментальной проверке законов истории не может быть и речи? Да, если иметь в виду эксперимент в его естественнонаучном значении. Между тем мы ставим эксперименты, рассуждаем по аналогии и делаем нередко правильные выводы.

Значение социального эксперимента возрастает в связи с бурным вторжением электронно-вычислительной техники в общественную сферу. Отсюда вытекает острая необходимость в создании теории социального эксперимента, в изучении его природы, возможностей, границ применения и характера ограничений.

Проблема нетождественности интересов. Анализируя процесс реализации решений, мы неизбежно сталкиваемся с существованием противоречия между целым и его частями — в нетождественности целей верхних и нижних уровней иерархии. Это противоречие легко прослеживается в любом организме — военном, экономическом, политическом и т. д. Интересы дирекции объединения не включают интересов всех ее подразделений (например, заводов). Распоряжаясь доходами, она может «ущемить» интересы отдельного завода или филиала. Формируя процедуры управления, мы неизбежно сталкиваемся с этим противоречием и всегда стремимся найти способы

не просто его преодоления, а использования всех его особенностей в целях повышения активности подразделений для наилучшего достижения общей цели. Для автоматизированных систем будущего очень важно разобраться в этой проблеме, в принципах и общих правилах управления иерархическими системами, если они существуют.

Мы перечислили лишь часть вопросов, которые возникают при создании системы моделей общественных процессов. Широкое использование системы естественно-научных методов ставит перед специалистами разных направлений науки целый ряд вопросов теоретического характера. Простой перенос методов, установившихся в физике, в сферу общественных дисциплин, как мы видим, невозможен.

Некоторые модели. Попытка классификации

Жизнь, практика бывают обычно оптимистичнее общих рассуждений ученых. Несмотря на то, что есть нерешенные вопросы, несмотря на то, что часто даже не видно путей их решений, несмотря на то, что модели не удовлетворяют строгим требованиям высокой науки и т. д. и т. п., непрерывно создаются новые «несовершенные» модели — в экономике, во внешней политике и для описания социальных процессов и т. д. Они внедряются в практику. Тратятся большие усилия и средства на их анализ.

Система моделей при всей ее несовершенности (ее даже, вероятно, нельзя назвать системой) уже верой и правдой служит человечеству, отвечает на целый ряд вопросов важнейшей практической значимости.

Мы сталкиваемся с типичной ситуацией: практика не ждет, когда теория подготовит все необходимое.

Очень условно по характеру использования существующие модели можно разделить на четыре класса: модели, в которых отсутствует управление (модели неуправляемых процессов), оптимизационные модели, игровые модели и имитационные модели, или модели типа тренажеров*.

* Как мы это увидим в конце книги, их лучше называть имитационными системами.

Модели без управления. Этот класс моделей описывает процессы, течение которых в основных чертах определяется данной ситуацией (состоянием). Здесь могут встретиться и относительно простые и, наоборот, очень сложные процессы.

Таких моделей существует множество. К их числу относятся все регрессионно-статистические модели экономики. Все исследования демографических процессов основаны на статистической обработке информации и эмпирическом построении зависимостей, причем, как правило, довольно грубых.

Предположим, что мы знаем, как происходил рост народонаселения в 1965—1970 гг., т. е. как изменялось количество людей в зависимости от времени. Эту «зависимость» мы приближенно можем представить в форме экспоненты

$$x = x_0 e^{k(t-1965)}.$$

Здесь x — количество людей в год t , x_0 — количество людей в 1965 году, k — темп роста, e — некоторое число (основание натурального логарифма).

Примем теперь гипотезу: в будущем рост населения останется таким же. Тогда, исходя из последовательности $t = 1971$, $t = 1972$ и т. д., мы можем с помощью приведенной выше формулы и соответствующих таблиц составить прогноз.

Подобный примитивный подход бывает достаточно удовлетворительным, и предсказания, полученные с его помощью, могут быть использованы при планировании (разумеется, на небольшом отрезке времени).

Конечно, со временем мы научимся тем или иным образом воздействовать на динамику населения. Однако до сих пор наши сведения о факторах, влияющих на рождаемость, настолько неточны и противоречивы, что построить сколько-нибудь удовлетворительную модель управляемого процесса мы не можем и используем для прогноза тривиальную экстраполяцию.

Другой пример моделей без управления — это модели процессов с четко регламентированным «правилом поведения». Например, при заданной структуре и темпах капиталовложений мы можем однозначно определить директивный срок окончания строительства промышленного комплекса. Модель, с помощью которой мы сделаем

необходимые расчеты, описывает относительно простой процесс.

Однако модели без управления с четко регламентированным «правилом поведения» могут описывать и процессы исключительной сложности. Пример такой модели — Марксова модель расширенного воспроизводства. С формальной точки зрения эта модель проста — она очень агрегирована, поскольку вся производственная деятельность человеческого общества разбивается только на два подразделения: производство средств производства и производство средств потребления. Математическое описание этой модели также очень просто. Мы в последующем с ним познакомимся более детально. С помощью этой модели, несмотря на ее простоту, Маркс доказал следующее фундаментальное положение (в нашей терминологии — теорему) политической экономии: чтобы общество могло осуществлять расширенное воспроизводство, оно должно иметь условия и возможность производить средств производства больше, чем это необходимо для удовлетворения потребностей обоих подразделений.

Экономические модели без управления напоминают, по существу, модели, с которыми мы имели дело в физике: определив начальное состояние, мы затем с той или иной точностью определяем направление ее эволюции.

Чем же объяснить тот факт, что модели без управления могут возникать в обществе, где все процессы так или иначе управляемы?

Для наглядности ответа на этот вопрос представим себе, что в нашем распоряжении есть некий прибор, скажем, микроскоп с разной степенью усиления, и мы направили его сначала непосредственно на процесс производства. Микроскоп с большим увеличением позволит увидеть поведение отдельных людей, выполняющих отдельные операции, но нам трудно будет усмотреть в их действиях какую-либо общую целенаправленность.

Более грубый микроскоп нам позволит рассмотреть отдельные технологические линии, может быть, даже отдельные предприятия. Но человека мы теперь уже видеть не будем. Наконец, если мы вообще откажемся пользоваться «увеличительным стеклом», то получим возможность увидеть производство в целом как единый сложный процесс.

Вот такое постепенное уменьшение мощности увеличения называется агрегированием. В процессе агрегирования постепенно исчезают детали, происходит интегрирование, взаимное погашение различных человеческих акций и, наконец, в наиболее агрегированных моделях — типа Марксовой модели — производство выступает как единый процесс со своими объективными законами, не зависящими от воли отдельных людей.

Таким образом, класс «неуправляемых процессов» пополняется также за счет сильно агрегированных моделей, описывающих ту или другую глобальную картину.

Сильно агрегированные модели, казалось бы, несут сравнительно мало информации. И тем не менее их познавательная ценность колоссальна. Только они позволяют увидеть явление в целом.

Представим себе, что командующий армией имеет всю возможную информацию — о каждом солдате. Может ли он принять какое-либо решение? Нет. Для принятия решения необходимо, чтобы у него возникло целостное представление об объекте, которым он управляет, информация должна быть агрегирована — должны появиться полки и дивизии.

Значение и необходимость агрегированных моделей очевидны — они проливают свет на явление в целом, позволяют устанавливать общие фундаментальные свойства процессов.

Однако чтобы получить математическую модель, действительно вскрывающую общие, глобальные свойства изучаемой системы, недостаточно владеть только формально-математическими методами. Необходимо глубокое понимание сути вещей.

Иногда высказывается мнение, что сильно агрегированные модели — это, мол, всего лишь теоретические модели. Для практики они малополезны — в частности, их нельзя использовать для решения задач планирования. С этим мнением согласиться трудно. Как показывает уже существующий опыт прогнозирования, для длительных прогнозов предпочтительнее использовать агрегированные модели. Они дают более точный результат. Видимо, при агрегировании происходит какое-то усреднение ошибок, и модель становится более устойчивой по отношению к ошибкам измерения исходных величин. Впрочем, это еще предстоит изучить.

Оптимизационные модели. Одним из важнейших классов процессов, изучаемых общественными науками, являются процессы целенаправленного действия человеческих коллективов. Военное искусство изучает способы целенаправленного действия больших воинских масс. Экономика изучает такие способы использования ресурсов, которые позволяют данному экономическому организму достичь определенных целей. Социологи исследуют факторы, приводящие к целенаправленному изменению поведения определенных групп людей, и т. д.

Все перечисленные процессы являются управляемыми. Это значит, что в нашем распоряжении есть какой-то ресурс, какие-то рычаги воздействия, от которых зависит окончательный результат. В военных операциях это концентрация сил и средств, например распределение артиллерийского огня по целям. В экономических процессах это в первую очередь политика капиталовложений, введение новых технологий и т. д.

Говоря об управляемом процессе, мы часто подразумеваем, что нам известны цели, достижение которых мы преследуем. Если эти цели могут быть достигнуты не единственным образом, то возникает вопрос о критерии качества (или о целевой функции), т. е. о возможности и необходимости сравнивать различные решения, различные способы использования ресурса для достижения целей. Возникает проблема оптимизации. Мы говорим, это решение оптимальное, если, достигая цели, добиваемся оптимального значения критерия качества. Например, удовлетворяя всех поставщиков (цель управления), мы затрачиваем на это минимум транспортных расходов (критерий качества, целевая функция).

Сейчас проблемами построения моделей в общественной сфере занимаются либо физики и математики, либо экономисты и социологи. Отсюда разное толкование понятия модели.

Физическое понятие модели включает в себя только соотношения между фазовыми состояниями. Другими словами, физические модели обычно не замкнуты, ограничения не включаются в понятие модели.

Так обстоит дело с неуправляемыми процессами.

Однако физика и техника имеют дело также и с управляемыми движениями. Например, полет ракеты. Здесь мы можем обнаружить все интересующие нас

особенности. Модель движения — это уравнение Ньютона. Ограничения — это начальные и конечные условия, суммарный ресурс горючего и т. д. Здесь есть также и управление — способ использования горючего. Конечные условия (цель управления) — выход на заданную орбиту — могут быть реализованы разными способами. Их надо уметь сравнивать между собой. Критерии качества могут быть самые разные: выход с минимальной затратой горючего, за минимальное время, с максимальной точностью и т. д. Характер реального процесса (полет ракеты) будет существенным образом зависеть от выбора критерия качества.

Физики и инженеры в понятие модели обычно не включают критерий качества. Одной и той же модели могут отвечать разные критерии качества. В экономике, как правило, и критерий качества и ограничения включают в понятие модели. Вопрос о том, какого определения придерживаться, — это вопрос привычки, если угодно, вкуса. В дальнейшем нам будет удобнее использовать ту систему понятий, которая принята в технике и физике. Однако в этом случае наша условная классификация моделей лишается смысла. Поэтому правильнее говорить не о классификации моделей, а о классификации способов использования модели. Так, например (и это мы увидим в следующей главе), Марксова модель расширенного воспроизводства, примененная к анализу социалистической экономики, становится оптимизационной моделью.

Таким образом, говоря об оптимизационной модели, мы на самом деле имеем в виду использование модели для решения той или иной оптимизационной задачи.

В настоящее время набор оптимизационных моделей очень широк. Остановимся лишь на одном примере, на котором можно показать, как возникают цели и как, отправляясь от этих целей, мы формируем оптимизационную задачу, — на примере программного метода планирования в масштабах страны.

Метод программного управления сейчас интенсивно разрабатывается советскими специалистами. Позднее мы еще вернемся к нему. Здесь мы остановимся только на пояснении основных идей программного метода планирования — одного из основных элементов программного метода управления.

Программное планирование в экономике — это планирование от конечного продукта, объем которого определяется целями государства. Для достижения этих целей требуется, естественно, определенная затрата ресурса, который вырабатывается народным хозяйством, нужны определенные капиталовложения. Как ими воспользоваться?

Кажется разумным требовать, чтобы распределение капиталовложений было таким, чтобы программные цели были достигнуты за минимальный срок.

Если теперь все эти схематично проведенные рассуждения переложить на язык математики, то получится оптимизационная задача, которая позволяет найти оптимальное распределение капиталовложений и использование ресурса — оптимальное в смысле быстрого действия.

Здесь критерий качества — время выполнения мероприятий, гарантирующих выполнение программы в целом.

Разумеется, в рамках модели программного планирования, основная задача которой — реализовать принципиальные установки партии (программные документы) в конкретном планировании, могут быть поставлены и другие оптимизационные задачи. Например, имеет смысл ставить задачу достижения целей программы за заданный срок при минимальном объеме капитального строительства.

Модели, используемые для анализа «игровых ситуаций». Оптимизационные модели не исчерпывают перечня моделей, описывающих целенаправленные действия человеческих коллективов. Достаточно типична ситуация, когда решение приходится принимать в условиях неопределенности. В этом случае трудно говорить об оптимизации, и для анализа подобных ситуаций оказывается целесообразным использовать методы и подходы, выработанные в теории игр.

Пусть, например, модель описывает функционирование какой-либо крупной фирмы. Пусть далее эта фирма предполагает произвести инвестиции определенной структуры. Очевидно, что результат этих капиталовложений существенным образом зависит не только от способов инвестирования, но также и от действий конкурирующей фирмы.

Возникает ситуация конфликта, и модель долж-

на позволить найти рациональное решение — найти такой способ распределения инвестиций, который был бы в некотором смысле наилучшим.

Анализом подобных конфликтных ситуаций занимается обширная научная дисциплина — теория операций, которая, в свою очередь, широко использует результаты и методы математической теории игр.

В рамках этой дисциплины развиты разнообразные оригинальные подходы, позволяющие оценить степень риска и ценность той или другой информации для принятия решения.

Чтобы более рельефно раскрыть смысл конфликтных ситуаций, которыми занимается теория игр, мы взяли для этого типичный пример капиталистической экономики.

Если же рассматривать игровую модель как абстракцию, как способ моделирования всевозможных отклонений и неопределенностей, то она и для нас может оказаться полезным инструментом.

Вот пример: как бы ни был точен план поставок, всегда возможно отклонение от графика, для компенсации всегда необходим какой-то резерв. И он не должен быть большим — это омертвление капитала. Умение правильно учитывать подобные обстоятельства в конкретном планировании сделает все экономические процессы более устойчивыми.

Одна из проблем, о которой мы говорили в конце предыдущего параграфа, состояла в том, чтобы при формировании процедур управления сложным экономическим организмом, имеющим иерархическую структуру, учесть тот факт, что интересы целого и частного не всегда тождественны. Эта ситуация порождает новый класс игровых моделей — так называемую теорию неантогонистических игр.

Решение проблемы построения рациональной иерархической структуры управления, по мнению автора, неизбежно потребует использования идей теории неантогонистических игр.

А скажем, климатические и погодные условия и прочие капризы природы. Увы, они для нас пока вполне реальный «противник». И в этом случае также могут быть использованы методы теории игр (так называемые игры с природой).

Наконец, широкий класс задач с неопределенностью нам доставляет задачи с нечеткими критериями качества. В этих случаях мы говорим о задачах со многими критериями. Оказывается, для того чтобы разобраться с подобными ситуациями и придать задачам четкий математический смысл, мы также должны использовать концепции теории игр и игровые модели*.

Имитационные модели (системы). Идеи оптимизации и игровые подходы сейчас широко распространены и в технике. Идеи оптимизации перешли в экономику из техники. Игровые подходы к анализу возможных решений в условиях неопределенности примерно одновременно начали использоваться и в технике и при изучении общественных процессов. Но опыт использования моделей в экономике, политике, военном деле и т. д. привел к появлению совершенно нового типа моделей, с которыми физики и техники никогда дела не имели. Эти модели принято называть имитационными моделями (точнее системами).

И оптимизационные и игровые модели сводят в конечном счете исследование общественного процесса к некоторой математической задаче. Но оказывается, что это удается сделать далеко не всегда. Действительность сложнее и многообразнее всех тех возможностей, которыми располагает математическая формализация. В решении сложных конкретных проблем общественной жизни нельзя обойтись без опоры на опыт, интуицию и, наконец, просто талант! Это сочетание математического анализа с опытом и интуицией возможно, по мнению автора, в моделях, которые называются имитационными. Они позволяют объединить формальное и неформальное мышление человека, и, по-видимому, именно им будет суждено сыграть главную роль в обогащении инструментария общественных наук.

* Иногда в литературе (даже специальной) происходит смешение понятий «неопределенность» и «случайность». Если система, объект управления находится под действием случайных воздействий с известным законом распределения, то мы имеем обычную статистическую задачу. Критерий качества тогда задается в форме математического ожидания, некоторой функции, и мы приходим к оптимизационной задаче, решением которой может быть как случайная, так и детерминированная функция.

НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ ФОРМАЛИЗОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ



Дискуссии о необходимости нового инструментария общественных наук, инструментария, использующего ЭВМ и математику, позади. Сейчас стоит другой вопрос: как на более рационально использовать все те новые способы обработки информации, которые оказались в руках человека? Здесь имеется много разных точек зрения. Успехи в использовании линейного программирования и некоторых других областей математики многим дали повод считать, что таким инструментарием будет прежде всего набор математических моделей и численных методов их анализа. Думается, что все обстоит значительно сложнее.

«Математизация» общественных наук, использованию методов точного естествознания суждено сыграть выдающуюся роль в развитии общественных наук. Но главное — и это рождается уже сейчас — синтез формальных и неформальных методов. Главное — это концепция имитационных систем.

Но прежде чем подробно говорить об этой концепции, автор считает полезным остановиться на существе формализованных моделей, их структуре, принципах построения и задачах, которые с их помощью могут быть решены. Этому и посвящена данная глава.

В этой главе как раз больше всего математики, но автор отделил ее от своих публицистических рассуждений.

Это нарушает, разумеется, цельность изложения, но, к сожалению, надо считаться с традициями. В публици-

стике не принято использовать математическую символику. Однако автор вполне согласен с английским литератором Ч. П. Сноу, который говорит, что ныне культурный человек в такой же степени обязан знать великие достижения научно-технической сферы человеческой активности, как и гуманитарной.

Возможно, это звучит несколько категорично. Но что поделаешь: наука и техника неудержимо вторгаются во все сферы нашей жизни.

Этим, в частности, объясняется распространение жанра научной публицистики, обсуждающей как специальные, так и общечеловеческие аспекты научно-технической революции.

Нет сомнения в том, что пройдет немного времени — и тот объемный, голографический портрет современности, который невозможен без использования языка естественных наук, будет во все большей степени делаться предметом философских и публицистических раздумий.

Формализация теории стоимости

Изложение примеров мы начнем с некоторых моделей, относящихся к политической экономии. Эта научная дисциплина оставляет в стороне конкретные технологические особенности производства и сосредоточивает внимание на общих законах развития производственных отношений и их связи с развитием производительных сил. Возможности экспериментального (в естественнонаучном смысле) изучения в политической экономии весьма ограничены.

Как указывал Карл Маркс, в политической экономии «...нельзя пользоваться ни микроскопом, ни химическими реактивами. То и другое должна заменить сила абстракции» (К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 23, стр. 6). Эта черта политической экономии делает особенно важным и перспективным использование разнообразных типов формализованных моделей, которые как раз и являются такими абстракциями.

Поскольку в политической экономии речь идет об общих законах производства, то здесь применимы прежде всего сильно агрегированные модели, в которых игнорируются отдельные конкретные детали.

Первым примером подобных моделей будет формальное описание понятия «стоимость». Теория стоимости — один из важнейших разделов политической экономии.

Стоимость товара — это воплощение общественного труда, она измеряется количеством абстрактного общественно необходимого труда, затраченного на производство единицы товара.

Каким же образом оценить абстрактный труд, необходимый для производства, к примеру, автомобиля, — на этот вопрос прямо ответить очень трудно.

Марксистская политическая экономия с момента своего возникновения была предметом не только глубокого и тщательного изучения, но и весьма активной критики, причем понятие стоимости, введенное К. Марксом, было одним из объектов особенно жестоких нападок. Теория стоимости обвинялась в отсутствии необходимого прагматизма, а понятие стоимости — в метафизичности. Даже сейчас иногда говорят только о его философском значении, поскольку понятие абстрактного труда не может служить ни для каких реальных оценок, имеющих практический смысл.

Величина стоимости действительно определяется только общественно необходимым трудом, причем само понятие стоимости в равной степени может быть использовано при анализе экономических процессов, происходящих как в капиталистическом, так и в социалистическом обществе. Последнее обстоятельство очень важно: если бы величины стоимостей можно было количественно соизмерить, то мы получили бы информацию, весьма полезную для научно обоснованной системы ценообразования в социалистическом плановом хозяйстве.

Чтобы иметь возможность соизмерять стоимость, мы должны отказаться от гипотезы об однородности труда и учитывать в той или иной степени конкретность труда, квалификацию. Необходимо научиться соизмерять труд разной квалификации.

Что значит соизмерить труд разной квалификации? Это значит, что каждому виду труда мы должны отнести некоторую безразмерную величину — относительную ценность данного вида труда. Эти безразмерные величины мы можем выбрать так, чтобы они показывали, во сколько раз труд данной квалификации более ценен, чем труд неквалифицированный.

Если мы введем такие коэффициенты, то вместо абстрактного труда будет стоять труд людей конкретной специальности. Например, производство автомобиля будет требовать определенного количества часов труда сборщиков, слесарей, наладчиков и т. д. Но это будет не простая сумма, а взвешенная: количество часов труда специалиста данной профессии должно быть умножено на соответствующий коэффициент — величину относительной ценности.

Но как определить эти коэффициенты?

Если труд неквалифицированный, то его «общественную ценность» можно измерить просто количеством часов, которые отдает работе в течение своей жизни «среднестатистический» рабочий. Если речь идет о труде квалифицированном, токаре или математике, обслуживающем ЭВМ, то его «ценность» увеличивается за счет труда других людей и материалов, которые были затрачены на его подготовку.

Вот эти рассуждения позволяют составить замкнутую систему уравнений, неизвестными в которой являются коэффициенты, соизмеряющие труд и стоимость товаров. Следовательно, они могут быть вычислены — стоимость товара оказывается выраженной количественно через затраты общественно необходимого труда.

Итак, закон стоимости при наличии определенной статистики может иметь свое количественное выражение.

Этот вывод получен на основе соотношений балансового типа или, используя физическую терминологию, на основе законов сохранения. И действительно, закон стоимости приобретает такое же значение, что и законы сохранения в физике. Он справедлив для любых форм производственных отношений при наличии товарного производства.

Признание этого вполне очевидного факта имеет прямое практическое значение. В частности, тем самым подводится черта под дискуссией, действует ли закон стоимости при социализме. Он действует и, следовательно, должен быть использован при выработке принципов ценообразования.

Как и любой объективный закон, его выражение имеет приближенный характер. Величины стоимостей, которые он позволяет вычислить, определяются приближен-

но. Однако по мере накопления и уточнения необходимой информации об исходных величинах, по мере включения в балансовые соотношения все новых и новых отраслей и уточнения количества и типов используемых профессий точность определения общественно необходимого труда, затрачиваемого на производство единицы данного товара, и величины, соизмеряющие труд разной квалификации, будут непрерывно возрастать.

Выше было уже сказано, что факт принципиальной возможности численного определения абстрактной категории стоимости имеет важное значение для политики ценообразования. Однако нельзя отождествлять понятие стоимости и цены. Вопрос о рациональных ценах требует рассмотрения значительно большего числа моделей, но их обсуждение выведет нас далеко за рамки этой книги.

Рассчитывая стоимость товара, мы одновременно определяем также и коэффициенты, соизмеряющие труд разной квалификации. Эта информация может оказаться чрезвычайно важной при выработке политики заработной платы, поскольку она отражает основной принцип социализма — оплата по труду. Разумеется, эти результаты будут привязаны к определенной технологии, в том числе и к технологии управления. Изменяя технологию и изменяя тем или иным образом структуру управления, мы будем получать, вообще говоря, разные значения стоимости и разные оценки общественной полезности труда отдельных специалистов, в том числе и работников аппарата управления.

По мере совершенствования производственных отношений, при постепенном переходе от социализма к коммунизму, продукт, производимый в процессе производства, будет постепенно терять свойства товара. Вместе с тем будет терять смысл и понятие стоимости. Тем не менее информация об общественно необходимом труде, затраченном на производство единицы продукта, всегда будет полезной. Верно ли это? Какова будет эволюция закона стоимости и его роли в процессе развития социализма? Что будет его альтернативой?

Модель расширенного воспроизводства

В качестве второго примера формализованного описания мы рассмотрим знаменитую Марксову модель расширенного воспроизводства. В модели расширенного воспроизводства Маркс разбивает все производство только на два подразделения: производство средств производства и производство средств потребления.

Обозначим через $P_n^{(1)}$ и $P_n^{(2)}$ совокупный общественный продукт, вырабатываемый в первом и втором секторах за год номера n ; через $C_n^{(1)}$ и $C_n^{(2)}$ — фонд возмещения: затраты основного капитала на производство продукта $P_n^{(1)}$ и $P_n^{(2)}$ соответственно на стоимость затраченных на производство предметов труда и амортизацию оборудования. Через $V_n^{(i)}$ стоимость рабочей силы, затраченной на производство продукта $P_n^{(i)}$, и, наконец, через $M_n^{(1)}$ — стоимость прибавочного продукта в первом подразделении, через $M_n^{(2)}$ во втором.

Если все эти величины даны в денежном выражении, то мы можем составить следующие балансовые соотношения, которые справедливы для любого года номера n :

$$\begin{aligned} P_n^{(1)} &= C_n^{(1)} + V_n^{(1)} + M_n^{(1)}; \\ P_n^{(2)} &= C_n^{(2)} + V_n^{(2)} + M_n^{(2)}. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Уже говорилось о том, что балансовые соотношения — это основа любой экономической модели. В экономической теории они играют ту же роль, что и законы сохранения материи, энергии и т. д. играют в физических теориях. Поскольку законы сохранения (балансовые соотношения) выражают только связь между материальным потоком, то они никак не связаны со структурой производственных отношений и верны в равной степени и для капиталистического, и для социалистического производства.

Однако одних балансовых соотношений недостаточно для того, чтобы описать развитие того или другого процесса: должны быть еще сформулированы гипотезы, связывающие одно состояние исследуемой системы с последующими.

Структура этих гипотез (аксиом) отражает и структуру промышленного производства, уровень производи-

тельных сил и классовую природу рассматриваемого общества.

Гипотеза I. Весь продукт первого подразделения, созданный за год номера n , используется в качестве суммарного фонда возмещения следующего $(n + 1)$ года

$$P_n^{(1)} = C_{n+1}^{(1)} + C_{n+1}^{(2)}. \quad (3.2)$$

Эта гипотеза означает, что все средства производства, произведенные в нынешнем году, полностью будут использованы в следующем.

Она описывает такое течение экономического процесса, в котором роль запасов, резервов относительно весьма невелика. Точно так же в этой модели трудно изучать производство, где велик удельный вес капиталовложений с большим строительным или пусковым лагом.

Другими словами, это предположение соответствует такому уровню развития производительных сил, при котором еще не могла идти речь о крупных технических комплексах или конструкциях, создание которых требует многих и многих лет.

Из гипотезы I и балансового соотношения (3.1) можно вывести знаменитое Марксово условие расширенного воспроизводства.

Расширенным воспроизводством мы будем называть такой процесс развития производства, при котором капитал, вкладываемый в производство, непрерывно (от года к году) возрастает. Обозначим разность этих капиталовложений через ΔC_n :

$$\Delta C_n = (C_{n+1}^{(1)} + C_{n+1}^{(2)}) - (C_n^{(1)} + C_n^{(2)}).$$

Значит, условие расширенного воспроизводства будет таким:

$$\Delta C_n > 0^*. \quad (3.3)$$

* Заметим, что рассматривать условие $\Delta C_n > 0$ в качестве характеристики расширенного воспроизводства имеет смысл лишь в предположении неизменности цен.

Нетрудно показать, что при расширенном воспроизводстве производство средств производства непрерывно возрастает.

Однако никаких заключений о характере производства средств потребления из условия (3.3) вывести нельзя. Для этого нужны дополнительные предположения — гипотезы.

Карл Маркс доказал следующую теорему.

Теорема (К. Маркс). Для расширенного воспроизводства, то есть для такого протекания процесса, при котором в каждый следующий год в производство вкладывается все большее и большее количество капитала ($\Delta C_n > 0$), необходимо и достаточно, чтобы

$$V_n^{(1)} + M_n^{(1)} > C_n^{(2)},$$

т. е. чтобы вложения во второе подразделение были бы меньше, чем сумма стоимости труда, затраченного на производство средств производства и прибавочной стоимости в первом подразделении.

Ограничиваясь гипотезой I, мы не сможем далеко продвинуться в изучении процесса воспроизводства. Для этой цели мы должны ввести еще целый ряд новых предположений о природе экономического организма. Мы не будем здесь подробно анализировать всех этих особенностей. Укажем просто на некоторые факты.

Так, например, чтобы определить темпы роста, необходима некоторая новая гипотеза. Карл Маркс изучал экономическую систему с рыночной конъюнктурой, которая характеризовалась к тому же медленными изменениями пропорций. На этом основании введем еще одну гипотезу.

Гипотеза II (гипотеза постоянства пропорций). Структура фондов возмещения остается неизменной от года к году.

Это означает, что отношение фонда возмещения первого подразделения к фонду возмещения второго подразделения остается постоянным: $C_n^{(2)} : C_n^{(1)} = \gamma_n = \text{const.}$

Из этой гипотезы следует, что фонды возмещения $C_n^{(1)}$ и $C_n^{(2)}$ изменяются пропорционально друг другу

$$C_{n+1}^{(1)} = \rho_n C_n^{(1)};$$

или

$$C_{n+1}^{(2)} = \rho_n C_n^{(2)}$$

$$C_{n+1}^{(1)} + C_{n+1}^{(2)} = \rho_n (C_n^{(1)} + C_n^{(2)}).$$

На основании первой гипотезы это равенство можно переписать так $P_n^{(1)} = \rho_n P_{n+1}^{(1)}$.

Величину ρ_n принято называть темпом роста. Она показывает, как от года к году растет производство продукта первого подразделения.

Если $\rho_n > 1$, то производство этого продукта растет от года к году.

Если $\rho_n < 1$, то оно убывает.

Величина темпа роста однозначно определяется нормой прибавочного продукта в первом подразделении и органическим строением материальных затрат. В приложении будет показано, что она может быть вычислена по формуле

$$\rho_n = \frac{V_n^{(1)} + M_n^{(1)} - C_n^{(2)}}{C_n^{(1)} + C_n^{(2)}} + 1. \quad (3.4)$$

Эта формула еще раз показывает, что если условие расширенного воспроизводства выполнено, то количество продукта, создаваемого первым подразделением, то есть количество создаваемых средств производства, будет расти от года к году, так как все величины в равенстве (3.4) положительные.

Так как величины, определяющие темп роста, меняются от года к году, то и темп роста в общем случае также меняется от года к году.

В политической экономии вводится величина

$$n_s^{(i)} = \frac{M_s^{(i)}}{V_s^{(i)}}.$$

Она называется нормой прибавочного продукта в подразделении номера i в год номера s . Органическое строение материальных затрат характеризуется параметрами

$$S_n^{(i)} = \frac{C_n^{(i)}}{V_n^{(i)}}.$$

Используя эти обозначения, величину темпа роста

$$\text{можно записать так: } \rho_n = \frac{1 + \gamma_n | S_n^{(1)} + n_n^{(1)} | S_n^{(1)}}{1 + \gamma_n}.$$

Гипотеза III. Органическое строение материальных затрат в первом подразделении и норма прибавочного продукта в обоих подразделениях остаются неизменными.

Эта гипотеза аналогична гипотезе II. Обе гипотезы независимы. Они говорят о том, что структура, пропор-

ции экономики существенно не изменились в течение исследуемого периода времени.

Гипотеза III позволяет значительно продвинуться вперед в изучении эволюции экономики. В самом деле, если величины $S_n^{(i)}$, γ_n и $n_s^{(i)}$ постоянны, то темп роста также постоянная величина.

Следовательно, он определяется начальными (для первого года) капиталовложениями, прибавочным и зарплатой.

Гипотезы II и III описывают с большой степенью точности те процессы, которые происходили в капиталистическом обществе XIX века. Неуправляемый характер капиталистической экономики и медленные темпы научно-технического прогресса в XIX веке приводили к тому, что и структура капиталовложений и материальных затрат и норма прибавочного продукта изменялись медленно. Эти гипотезы могут быть использованы и в настоящее время для получения качественных выводов и количественных прогнозов развития экономики на относительно небольшие отрезки времени, в течение которых технический прогресс не будет играть существенной роли.

Будем считать, что эволюция экономической системы полностью описана, если мы имеем систему правил (гипотез, аксиом), позволяющих рассчитать все величины, определяющие эту систему, т. е. предсказать ее поведение для любого момента времени (для года любого номера n), если нам известны эти величины для периода времени номера 1, если нам задано начальное состояние экономического организма.

В этом случае мы будем говорить, что система правил полна.

Гипотезы I, II и III позволяют глубоко изучить особенности развития экономики, тем не менее эти гипотезы еще не образуют систему аксиом, достаточную для полного описания эволюции экономической системы. Необходимо еще одна гипотеза — гипотеза о характере расходования зарплаты.

Опишем этот процесс еще одной гипотезой.

Гипотеза IV. Вся заработная плата, полученная в течение данного периода, полностью расходуется в том же периоде на приобретение средств потребления.

Эта аксиома выражается следующей формулой:

$$V_s^{(i)} + V^{(2)} = P_s^{(2)}.$$

Вот теперь система аксиом I, II, III и IV оказывается полной. Этот результат мы можем сформулировать в форме следующей теоремы.

Теорема. Развитие экономической системы, удовлетворяющей гипотезам I, II, III и IV, полностью определяется ее начальным состоянием — начальной структурой фондов возмещения, нормой прибавочной стоимости и органической структурой капитала.

Итак, чтобы полностью описать двухсекторную Марксову модель, нам потребовалось к балансовому соотношению добавить четыре гипотезы. Отказ от любой из них делает модель не полностью описанной. Разумеется, каждая из этих гипотез (аксиом) может быть заменена другой. Так, например, в гипотезу расходования зарплаты может быть внесено предположение о существовании накопления или неудовлетворенного спроса. Имея определенную информацию о характере технического прогресса, мы можем гипотезу постоянства заменить тем или иным предположением об их эволюции. Замена любой из гипотез требует всегда дополнительного анализа экономических или социальных факторов.

Если мы хотим использовать эту модель для анализа социалистического общества, то гипотеза II должна быть заменена другой. В самом деле, в плановом централизованном хозяйстве мы можем значительно изменять структуру капиталовложений. Так, например, в девятой пятилетке значительно увеличены относительные вложения во второе подразделение. В этом случае мы получаем важный управляющий фактор — отношение фондов возмещения

$$\gamma_n = \frac{C_n^{(2)}}{C_n^{(1)}}.$$

Гипотеза II должна быть заменена такой, которая регламентирует выбор величины γ_n . Это может быть, в частности, гипотеза оптимальности некоторой целевой функции. В этом случае Марксова модель, согласно терминологии предыдущей главы, превратится в некоторую оптимизационную модель.

Для разумного использования модели очень важно знать, с какой степенью точности она описывает реальность. Или, что то же самое, знать, для каких классов процессов она дает их правильное отображение.

В Марксовой модели есть целый ряд вопросов, требующих с этой точки зрения еще дополнительных исследований. Заметим, например, что гипотезы I и IV выполняются тем точнее, чем больше рассматриваемые периоды. Они, наверное, абсолютно точны, если в качестве интервалов времени будем брать пятилетки или десятилетки. И, вероятно, они перестают иметь смысл, если в качестве отрезков времени мы будем брать недели.

С другой стороны, справедливость гипотез II и III не очень сильно зависит от длины каждого интервала в отдельности. Но они имеют смысл лишь в том случае, когда общее время, в течение которого происходит исследование (например, прогноз) эволюции экономической системы, невелико.

Как связать эти два достаточно противоречивых требования? Очевидно, что ответ на этот вопрос требует неформального анализа. Он обращен к экономистам.

При умелом обращении Марксова модель расширенного воспроизводства может дать много полезной информации. Вместе с тем, как и любая модель, она может быть полезна только при решении ограниченного круга вопросов.

Так, например, поскольку эта модель очень агрегирована, она мало пригодна для целей конкретного планирования. С ее помощью мы ничего не сможем узнать о развитии основных фондов промышленных мощностей. В самом деле, согласно модели, для производства товара $P_n^{(1)}$ достаточно знать (при известных $V_n^{(1)}$ и $M_n^{(1)}$) лишь величину $C_n^{(1)}$ — вложение в промышленность, именуемое фондом возмещения. Кроме стоимости сырья и материалов, в него включена лишь амортизационная часть основных производственных фондов. Следовательно, для описания способов использования основных фондов мы должны иметь дополнительные условия или гипотезы. Как правильно их сформулировать в рамках модели применительно, например, к социалистическому способу производства?

Отсутствие подобных гипотез суживает и саму область применимости изучаемой модели. Обозначим через $\varphi_n^{(i)}$ мощность фондов подразделения номера i в период номера n . Этим термином мы обозначаем количество продукта, которое может выпустить в течение данного отрезка времени все предприятия подразделения. Следовательно, всегда

$$P_n^{(i)} \leq \varphi_n^{(i)}.$$

Если прибавочный продукт в нужном количестве не будет расходоваться на создание фондов, то расчеты по модели расширенного воспроизводства могут оказаться лишены смысла, так как данное неравенство не будет выполнено, т. е. для выпуска данного продукта не окажется необходимых мощностей.

Вопросы, которые мы формулировали в процессе изложения модели, показывают, что даже классическая модель еще далеко не исчерпана и в ней существует еще много вопросов, ожидающих своих исследователей.

Динамические многоотраслевые модели

Рассмотренные выше математические модели могут быть использованы при изучении общих закономерностей политической экономии. Они для этого и были созданы. Вопросы конкретного планирования и управления народным хозяйством требуют других моделей. Например, в рамках модели расширенного воспроизводства нельзя ответить на вопрос о наиболее рациональной (а тем более оптимальной) политике распределения инвестиций между отраслями. Но именно этот вопрос является краеугольным камнем экономической политики социалистического государства.

Чтобы решать основные практические проблемы управления экономикой страны, необходимы модели, которые несут более детальную информацию о процессах, происходящих в народном хозяйстве.

Поскольку планирование происходит на разных уровнях — планирование в масштабах государства, региона, отрасли, отдельного предприятия и т. д., то необходим большой набор моделей различной степени детализации.

Экономические модели, о которых мы рассказывали

в первых параграфах этой главы, дают самое общее представление о ситуации. Однако только с помощью подобных моделей мы и можем увидеть тенденции развития, сделать прогноз, оценить возможность наших ресурсов, выработать общие принципы экономической политики в масштабах страны и т. д.

Следующий уровень иерархии моделей — это многоотраслевые модели глобального, общегосударственного планирования. Эти модели уже описывают взаимную связь большого числа отраслей — десятков отраслей. Они позволяют по распределению инвестиций определить величину конечного продукта и планировать в укрупненных показателях производство. Эти модели занимают промежуточное положение между моделями политической экономии и моделями конкретной экономики.

Здесь речь будет идти именно о моделях такого рода, хотя подобные глобальные модели еще не исчерпывают всего необходимого многообразия моделей. Они также не могут ответить на многие вопросы регионального и отраслевого планирования.

К сожалению, мы лишены возможности продемонстрировать всю систему моделей разного уровня.

В основе всех динамических моделей лежит условие баланса. Оно записывается очень просто — конечный продукт, т. е. продукт, который может быть использован на инвестиции и потребление, равен всему произведенному (валовому) продукту за вычетом той его части, которая необходима для самого производства.

Первая многоотраслевая динамическая модель советской экономики, апробированная к тому же на задачах конкретного планирования в СССР, была разработана А. Г. Аганбегяном и П. Ф. Шатиловым (А — Ш-модель).

Опуская некоторые подробности, дадим краткое изложение основных положений этой модели и опишем круг задач, которые можно решать с ее помощью.

Центральным понятием, которое используется в этой модели, является понятие фондов.

Фондами в экономике принято называть все то оборудование и помещения, которые необходимы для производства продукта. Таким образом, существует много разных типов фондов: это и станки разной номенклатуры, специальный транспорт, здания и т. д. Будем обозначать через $\Phi_{ij}(t)$ количество фондов номера j , кото-

рые имеются в отрасли номера i на конец периода (года) номера t .

Поскольку фонды вводятся в течение всего года, то фактически в производстве в год номера t участвует количество фондов, отличающееся от того значения, которое оно имеет на конец этого года. Это количество фондов авторы называют средними фондами и обозначают $\overline{\Phi_{ji}(t)}$. Мы не будем подробно определять это понятие. Запомним только, что $\overline{\Phi_{ij}(t)}$ однозначно определяется через величины $\Phi_{ij}(t)$ и $\Phi_{ij}(t-1)$, т. е. по определенным правилам через количество фондов, которые были в отрасли на начало и конец года номера t .

А — Ш-модель опирается на ряд гипотез (постулатов).

Гипотеза I — гипотеза о полной загрузке фондов.

Экономический смысл этой гипотезы следующий. Если в отрасли номера j , выпускающей продукт номера j , имеется определенная мощность, например определенное количество специальных станков, то она должна быть полностью загружена выпуском продукта номер j . Математически эта гипотеза выражается следующим равенством:

$$\overline{\Phi_{ij}(t)} = b_{ij}x_j(t),$$

где b_{ij} называется коэффициентом фондоемкости. Он показывает, какое количество фондов номера i необходимо иметь, чтобы произвести одну единицу продукта номера j .

Коэффициент фондоемкости — это одна из важнейших характеристик экономического организма. Он характеризует, в частности, эффективность использования производственных мощностей.

Если $b_{ij} = 0$, то это означает, что фонды i не используются в процессе производства продукта номера j . В этом случае мы будем говорить, что отрасль номера i не является фондообразующей по отношению к отрасли номера j . Отрасли, производящие, например, продукты потребления, вообще не являются фондообразующими ни для каких других отраслей.

Гипотеза II. Свободный продукт полностью используется для инвестиций.

Экономический смысл этой гипотезы состоит в том, что объем запасов практически не меняется. Новых запасов в плановый период создавать не предполагается.

Гипотеза III. Трудовые ресурсы используются полностью. Смысл этой гипотезы очевиден — резерв рабочей силы отсутствует.

В А — III-модели используется еще одно важное понятие — понятие о структуре потребления. Структура потребления может быть описана некоторым вектором d , компоненты которого (величина d_i) положительные числа, тем или иным образом нормированные, например, так:

$$\sum d_i = 1.$$

Тогда количество продукта, которое использовано на потребление гражданами государства в течение года номера t , мы можем описать вектором μd . Скаляр μ мы будем называть уровнем потребления.

Гипотеза IV. Составляющая конечного продукта, выделенная на потребление $\omega(t)$, полностью расходуется в год номера t .

Смысл этой гипотезы аналогичен смыслу гипотезы II — объем запасов продукта потребления не изменяется.

Математическое выражение этой гипотезы очевидно:

$$\omega = \mu d.$$

В предыдущих параграфах мы уже обсуждали смысл утверждения: «модель полностью определяет эволюцию системы». Напомним, это означает, что модель содержит набор правил, позволяющих полностью рассчитать все рассматриваемые параметры экономической системы в любой момент времени, если нам известны значения этих параметров в начальный момент времени. Систему правил (аксиом, гипотез, постулатов) этой модели мы называем в этом случае полной.

Имеет место следующий факт.

Теорема. Если структура потребления d задана, то система аксиом — А — III-модели полна.

Мы не будем останавливаться на доказательстве этой теоремы, которое, кстати сказать, достаточно элементарно. Вместо этого поясним ее экономический смысл.

Предположим, что структура потребления задана, тогда все изучаемые параметры — количество продукта x , инвестиции Z , потребление ω , фонды Φ и уровень потребления μ — оказываются однозначно определенными в любой момент времени, если они нам известны

в начальный год. Маневры ресурсами, целенаправленные изменения структуры отраслей — все это возможно лишь при отказе от аксиом (одной или нескольких) или при изменении структуры потребления.

Авторы А — Ш-модели сохраняют все гипотезы и проводят вариантные расчеты для различных структур потребления. Поскольку каждой структуре потребления соответствует (и притом единственная) система экономических показателей, эти вариантные расчеты позволяют изучить зависимость эволюции экономической системы от структуры потребления.

Модель Аганбегяна — Шатилова весьма удобный и эффективный инструмент оценки перспектив и планирования в укрупненных показателях экономики в условиях ее установившегося традиционного развития или для плановых расчетов на относительно короткие промежуточные времени, в течение которых не произойдет существенных сдвигов в экономике.

В этих условиях можно ожидать незначительных вариаций структуры потребления, которые и определяют разные, не сильно отличающиеся друг от друга варианты капиталовложений. К сказанному надо еще добавить, что расчеты с помощью А — Ш-модели относительно весьма просты — еще один аргумент для широкого использования в указанных условиях.

По терминологии первой главы А — Ш-модель близка к модели без управления.

Однако существует целый ряд экономических проблем большой народнохозяйственной значимости, которые не могут быть решены в рамках А — Ш-модели. Это прежде всего проблема перспективного планирования — планирования для достижения конкретных целей, требующих существенной перестройки экономических пропорций. Подобные проблемы могут возникать и при краткосрочном планировании. Предположим, например, что страну постигло стихийное бедствие — повсеместная засуха. Должен быть выработан новый план инвестиций, должны быть достигнуты новые цели. Как быстро ответить на возникающие при этом вопросы?

Для этого надо создать другой тип моделей, учитывающих более полно все возможности управления, которыми обладает централизованное социалистическое государство.

Для построения подобных моделей формально необходимо прежде всего отказаться или ослабить ряд аксиом А — Ш-модели.

В 1965 году А. А. Петров и Ю. П. Иванилов предложили новую модель (которую, естественно, рассматривать как развитие А — Ш-модели): П — И-модель, приспособленную, в частности, для описания эволюции экономического организма в условиях, когда необходимо быстро изменять его структуру (пропорции).

Прежде чем переходить к описанию того существенного, что отличает обе модели, сделаем одно замечание.

А — Ш-модель использует понятие фондов. С таким же успехом можно использовать понятие мощности отрасли $\xi_i(t)$. Величина $\xi_i(t)$ — это количество продукта, которое может выпустить в течение года отрасль номера i , если в этот период не будет происходить ввода в строй новых фондов. Таким образом, мощность и фонды отличаются только размерностью. Обозначим через $\zeta_i(t-1)$ прирост мощности в течение года номера i , тогда мощность отрасли номера i на начало года номера t будет

$$\xi_i(t) = \xi_i(t-1) + \zeta_i(t-1).$$

В П — И-модели все четыре гипотезы А — Ш-модели заменяются некоторыми ослабленными условиями, в частности **условием ограниченности совокупного продукта**: количество продукта, производимого в отрасли x_i , не может превосходить его эффективной мощности

$$x_i(t) \leq \xi_i(t).$$

Условие ограниченности совокупного продукта заменяет гипотезу полной загрузки фондов, которая в обозначениях П — И-модели должна была иметь вид

$$x_i(t) = \xi_i(t).$$

Условие ограниченности является естественным условием — мы на самом деле не можем произвести продукта больше, чем это допускает мощность отрасли. Этим условием ограниченности качественно отличается от гипотезы I, которая определяет некоторое правило поведения руководства народным хозяйством.

Любые ограничения, наложенные на поведение управляющих (на управление), сужают возможности управ-

ления, ограничивают возможности целенаправленного развития экономического организма. Наоборот, отказ от ограничений или их ослабление расширяют возможности целенаправленного развития экономики. Это общее замечание справедливо, разумеется, и в данном частном случае, хотя на первый взгляд это может показаться и не так.

В самом деле, если мощность создана (например, построен завод телевизоров), то кажется естественным, чтобы он выпускал максимум того, что он может выпускать.

Однако при ближайшем рассмотрении эта естественность перестает быть «естественной».

В самом деле, для производства телевизоров нужны разнообразные материалы, которые производятся в других отраслях, причем эти материалы могут быть использованы и для других, может быть, более важных целей. Поэтому с точки зрения целенаправленного развития экономики (например, для изменения ее пропорций) частичная недогрузка отдельных предприятий может оказаться выгодной (и даже неизбежной).

Естественно, что в «сбалансированной экономике» будут строиться только те мощности, которые нужны, т. е. могут быть загружены. Поэтому в «нормальных условиях» недогрузка мощностей должна быть небольшой. Разумеется, все это зависит от цели управления и целевой функции. Но поскольку мы живем в непрерывно меняющемся мире, поскольку мы можем конкретизировать наши цели лишь на относительно близкое будущее, небольшой срок вперед, поскольку раз введенные мощности могут выдавать продукцию в течение длительного времени (заведомо большего, чем срок планирования), постольку практически всегда в оптимальном плане мощности не будут полностью загружены, каковы бы ни были целевая функция и цель управления.

Гипотеза II. А — Ш-модель предполагает, что весь свободный продукт расходуется на инвестиции. В П — И-модели гипотеза II заменяется следующей: свободный продукт расходуется на инвестиции, конверсию (перестройку) промышленности и создание запасов.

Таким образом, в П — И-модели появляются два качественно новых фактора — управление за счет перестройки промышленности, за счет переключения части

мощности одних отраслей на выпуск продукции других отраслей и управление за счет маневра запасами*.

Гипотеза III. А — Ш-модель — это предположение о полной занятости. В П — И-модели эта гипотеза заменяется условием ограниченности трудовых ресурсов:

$$\sum c_i x_i \leq \pi(t).$$

Это естественное условие — производственные возможности ограничены не только наличием промышленных мощностей, но и количеством квалифицированной рабочей силы.

Отсутствие требований полной занятости в П — И-модели отнюдь не означает запланированной безработицы. По этому поводу необходимо сделать три замечания:

а) **любое управление предполагает наличие определенного ресурса, в том числе и ресурса рабочей силы.** По существу, этот резерв рабочей силы дает система учебных заведений, но его, как правило, оказывается недостаточно;

б) **изменение структуры промышленности и ее географического расположения требует непрерывной переподготовки и миграции специалистов.** Знание потребности рабочей силы позволит организовать своевременно все необходимые для этого службы;

в) **наличие большого резерва рабочей силы может иметь нежелательные социальные последствия.** Поэтому, помимо условия ограниченности, авторы включили в П — И-модель условие

$$\sum c_i x_i(t) \geq \gamma \pi(t),$$

где γ — некоторое число меньше 1. Однако значение этого коэффициента γ остается на совести авторов, поскольку специалисты в области социальной психологии никаких суждений о его величине сделать пока не могут.

Что касается четвертой гипотезы, то ее аналога П — И-модель просто не имеет. Вектор потребления является свободным и может, например, играть роль одного из управляющих воздействий.

Таким образом, П — И-модель обладает многими свободными функциями. Совокупность правил, которые она

* П—И-модель, кроме того, более тонко учитывает факт существования лагов строительства и освоения. Но подробное описание этих деталей мы опускаем.

содержит, не является полной. Благодаря этому она может быть использована для решения различных оптимизационных задач, которые возникают в процессе планирования. Например, в рамках этой модели мы можем поставить и решить следующую задачу: каким образом следует распоряжаться запасами, инвестициями, как надо использовать конверсию промышленности, чтобы за заданное количество лет заданным образом изменить пропорции нашей экономики и так, чтобы при этих условиях потребление было максимальным.

Мы уже обратили внимание на то, что ослабление ограничений всегда расширяет возможности управления. Разумеется, эффект ослабления ограничений зависит от поставленной целевой функции.

Предположим, что экономический организм развивается с сохранением своих пропорций. Тогда можно говорить о темпе роста. Можно поставить следующую задачу — так распорядиться всеми управляющими воздействиями, чтобы темп роста был максимальным. Чтобы значительно увеличить темп роста, надо сначала значительно изменить экономические пропорции и резко сократить лаги строительства и освоения.

Система экономических моделей. И снова вопросы

Модели, которые мы изучали в первых двух параграфах, служат целям общего экономического анализа, расширяют наше понимание процессов, происходящих в экономике. И это главное. Кроме того, с их помощью можно решать целый ряд важных задач прогнозирования и находить оценки предельных возможностей экономики. Модели, которые мы рассмотрели в предыдущем параграфе, уже могут быть использованы и для целей конкретного планирования. Поскольку динамические модели содержат свободные параметры и функции, то с их помощью можно не только рассчитывать основные показатели плана, но и составлять планы, оптимальные по некоторому критерию. Типичной задачей такого рода является, например, следующая.

С развитием технического прогресса меняется уровень рентабельности отдельных отраслей. Например, относительно все менее и менее рентабельным становятся

отрасли, осуществляющие добычу полезных ископаемых и их первичную обработку. Наоборот, максимальные темпы развития и максимальную рентабельность обеспечивают те отрасли производства, в которых используются последние достижения науки. В настоящее время такими областями, по-видимому, являются производство ЭВМ, радиоэлектроника, бытовая химия, обслуживание, туризм и т. д. В условиях рыночного хаоса происходит естественная миграция капиталов из одной области в другую и разделение труда между отсталыми и развитыми странами по принципам рентабельности (что эквивалентно эксплуатации неокOLONиалистского типа). В социалистических странах непрерывно осуществляется плановая перестройка структуры экономики, вызванная новыми задачами строительства социализма и коммунизма, техническим прогрессом и характером международной конъюнктуры. Предположим, что в этих условиях экономисты определили ту структуру, которая с точки зрения сегодняшнего дня была бы оптимальной для нашей страны. П — И-модель может ответить, например, на вопрос о том, какое потребуются минимальное количество лет для подобной перестройки при заданном уровне потребления.

Разумеется, подобная информация могла бы иметь исключительное значение при решении вопроса о выборе программы развития экономики.

Заметим еще одну важную особенность динамических моделей. Они могут использоваться не только для планирования, но и для обучения. Поскольку эти модели включают в себя управления, которые мы можем варьировать, то специалист, занимающийся планированием, может изучать возможности экономического организма, проигрывая на ЭВМ различные варианты решений для различных ситуаций*.

Есть еще одно очень интересное и перспективное направление использования многоотраслевых динамических моделей. Для его пояснения снова воспользуемся «недозволенным приемом» — аналогией с физическими моделями.

* Здесь мы впервые сталкиваемся с использованием модели как тренажера, т. е. для обучения. Это является одной из основных функций так называемых имитационных систем, о которых будет идти речь в следующей главе.

Пусть речь идет об изучении движения искусственного спутника. Если в каждый момент времени мы могли бы определить положение его центра тяжести и его скорость, то это и означало, что мы знаем его движение, его траекторию. Но мы не можем в каждый момент определять все параметры его движения. Более того, вообще мы можем определять достаточно точно только проекцию его скорости на направление луча визирования (с помощью Доплер-эффекта). Значит, по измерению одного единственного типа (но достаточное количество раз повторенному) мы должны восстановить всю траекторию космического аппарата. И мы умеем это делать, и не только это! По этому измерению инженеры умеют не только восстанавливать траекторию спутника, но и прогнозировать ее, определять необходимый момент включения тормозного импульса и т. д. Доказательством тому теперь уже многолетняя практика полетов в космос!

Как это удается делать? С помощью модели движения спутника. Она служит нам средством компенсации недостающих измерений и прогноза.

По существу, такую же роль могут играть и макро-модели. Конечно, в экономике все гораздо сложнее, чем в космосе. Но тем не менее!

Далеко не все величины в экономике могут быть измерены и измерены достаточно точно. Вспомним предупреждение Маркса о том, что в экономике нет микроскопа и его должна заменить сила абстракции!

Значит, возникает проблема изучения экономики по неполной информации. Если только некоторые из многочисленных характеристик (которые по терминологии теории управления определяют полную наблюдаемость экономической системы) могут быть измерены достаточно точно и достаточно большое количество раз, то может быть получено не только полное описание экономической системы, но и прогноз ее развития.

Конечно, чтобы реализовать эту перспективу, необходим труд — совместная программа работ экономистов и математиков. Но если такая работа однажды будет проделана, то она сможет поднять на совершенно иной уровень всю статистическую службу — основу народно-хозяйственного планирования.

Таким образом, динамические модели рассмотренного типа являются не только мощным инструментом

научного анализа в экономике. Они позволяют решать целый ряд актуальных задач практического планирования. Вероятно, в будущем в общей структуре АСУ страны им будет отведено очень важное место.

Выше мы уже обратили внимание на то, что многоотраслевые динамические модели еще чересчур агрегированы для того, чтобы решать конкретные экономические задачи, возникающие в отрасли или отдельных производствах (например, задачу о перевозках или распределении заданий отдельным станкам). Создание моделей, пригодных для решения подобных задач, — это следующее важное направление экономико-математических исследований. Система моделей может охватывать и функционирование отдельных отраслей и районов. Она может содержать модели, описывающие функционирование отдельных предприятий и пригодные для решения специальных экономических задач.

В настоящее время у нас в стране наибольшие усилия направлены на разработку моделей нижнего уровня. Для их описания очень удобен язык математического программирования, в частности линейного и целочисленного.

Начинается разработка моделей, описывающих функционирование отраслей и регионов. Это очень важное направление. Однако его развитие встречает целый ряд трудностей принципиального характера, ставящих перед исследователем новые сложные вопросы. Один из таких вопросов носит название — проблема агрегирования и дезагрегирования. Ее содержание примерно следующее. Предположим, что отрасль, выпускающая станки, имеет номер s . В динамической модели ее продукции приписывается скалярная величина x_s . Но в действительности существует много разных типов станков, и ответ на вопрос, что принять в качестве «стандарта станка», т. е. как заменить векторную величину скалярной, — очень труден. От его решения в то же время многое зависит и прежде всего точность общегосударственного планирования. В самом деле, на высшем уровне, например, в Госплане СССР, невозможно планировать и учитывать каждый станок, каждый болт, каждую гайку и т. д. Прежде всего просто физически невозможно хранить и обработать такое количество информации. Вот одна из причин, почему приходится вести планирование в укрупненных по-

казателях. Но если неправильно выбрать тип эталона, то возникнет внутренняя несогласованность и план не сможет быть реализован. Сегодня практики уже многого достигли в этой области. В середине 60-х годов в СССР были предложены методы «итеративного агрегирования», способные при помощи серии пересчетов предельно уменьшить возможные неувязки.

Однако проблема агрегирования чрезвычайно важна не только с прагматических позиций специалистов по планированию. Не менее важен и ее теоретический аспект. Ведь это одна из субпроблем общей проблемы сжатия информации. Сжатие информации не может происходить без ее потери. Но как определить допустимые потери? Как в процессе сжатия оставить именно ту информацию, которая необходима для принятия решения?

При сжатии информации происходит и ее качественное изменение, появляются новые характеристики, позволяющие создать целостное представление о явлении, которое изучается, и о процессе, который планируют или которым управляют.

Общий теоретический аспект этой важнейшей проблемы пока еще отсутствует. Говоря об агрегировании в экономике — частном примере этой проблемы, мы также мало что можем сказать.

В начале агрегирование в экономических моделях представлялось как некоторый приближенный способ решения исходной большой задачи планирования. По-видимому, это все-таки не так. Однако другой математической постановки задачи, достаточно общей, пока нет.

Правда, за последнее время появились некоторые новые идеи, которые, может быть, позволяют глубже понять эту проблему.

Ю. Н. Павловскому удалось дать строгое, непротиворечивое математическое определение агрегирования для некоторых типов динамических моделей. Он показал, что процедуру агрегирования можно изучать в рамках теории групповых свойств тех уравнений, которые описывают функционирование экономического организма. Вместе с тем из теории, развиваемой Ю. Н. Павловским, следует один вывод, довольно печальный для математики. Точное агрегирование практически невозможно. Только в исключительных случаях динамическую модель отрасли, производящую станки, можно заменить одним

скалярным уравнением, описывающим производство «стандартного станка». Следовательно, речь может идти только о приближенном агрегировании, о приближенной замене целой модели отрасли одним показателем. Здесь, вероятно, уже нельзя ограничиться одним формальным анализом. Нужны новые идеи. Ответ на вопрос: что такое оптимальное агрегирование динамических моделей? — требует знаний, которыми мы, математики, можем быть, сегодня и не обладаем. Следовательно, этот вопрос обращен не столько к математикам, сколько к нашим коллегам-экономистам*.

Как описать поведение некоторого множества организмов, если нам известны все внутренние связи и взаимодействия и известно (например, из эксперимента) поведение изолированного организма?

В простейшем случае эта проблема изучается в теории популяций. Но в этой теории элементарный организм настолько примитивен, что практически не видно, как можно использовать выводы и методы этой теории в более сложных случаях.

Еще один очень трудный вопрос: как найти разумное сочетание, разумное распределение обязанностей между региональными и отраслевыми моделями? Этот вопрос связан с решением одной из фундаментальнейших проблем управления экономическим организмом страны, с проблемой оптимальной меры централизации и децентрализации, и в том числе с мерой распределения прав и обязанностей между различными звеньями экономического организма страны.

Сложность этой проблемы состоит еще и в том, что она не сводится к проблеме чисто экономической. Поэтому решение вопросов, к ней относящихся, вероятно, требует участия не только экономистов и математиков, но и социологов, юристов, поскольку норма ответственности и норма прав в принятии решений — это вопрос уже чисто юридический. Каждый частный аспект этой

* Проблему агрегирования так же, как и более общую проблему сжатия информации, нельзя изучать независимо от процедур принятия решений и системы критериев и ограничений, т. е. от функционирования общегосударственного экономического организма. По существу, эта проблема имеет отношение к еще более сложной, может быть, центральной проблеме моделирования социальных процессов.

проблемы (например, степень регламентации обязанностей) содержит социальные и юридические стороны.

Для решения проблем о рациональной степени централизации и децентрализации важно развить и общие концепции, и язык экономико-математических исследований. Видимо, потребуется также создание новых классов моделей.

Модели, о которых до сих пор шла речь, используют, как правило, язык конечно-разностных (или дифференциальных) уравнений, а в качестве аппарата для построения решения (плана) методы математического программирования и теорию оптимального управления. Если план, удовлетворяющий всем ограничениям (по трудовым и производственным ресурсам), не единствен, то выбирается тот, который доставляет оптимум целевой функции (например, требует минимальных затрат). Это рассуждение является краеугольным камнем всех современных экономико-математических методов. Идея оптимизации пронизывает их сверху донизу.

Такой подход к исследованию экономических процессов — неизбежный этап экономико-математических исследований. Он чрезвычайно важен и сыграл в свое время важную революционизирующую роль в экономике.

Ему мы обязаны такими важнейшими понятиями, как понятие оптимального плана, оптимального решения, общегосударственного оптимума и т. д. И в дальнейшем при решении многих важных народнохозяйственных задач идея оптимальности всегда будет отправным пунктом экономического анализа.

Но как бы ни важны были проблемы оптимизации, они тем не менее недостаточны для того, чтобы описать все стороны функционирования экономического организма и человеческого общества. Оптимизационный подход предполагает, например, что нам известна целевая функция, а указать ее часто бывает просто невозможно!

Кроме того, экономический организм любого государства состоит из совокупности более мелких экономических организмов, которые обладают той или иной степенью самостоятельности и связаны друг с другом сложной иерархической системой связей. Каждый элемент этой совокупности обладает не только определенной волей, правом обрабатывать информацию, способностью принимать решения, но и определенными индивидуаль-

ными интересами, стремлениями. Каков бы ни был уровень централизации, эти обстоятельства неизбежно имеют место, и с ними нельзя не считаться.

Изучение функционирования подобного множества экономических организмов уже вряд ли удастся втиснуть в рамки той или другой оптимизационной модели. Здесь, по-видимому, придется оперировать моделями, допускающими игровые постановки. Один пример такой постановки будет рассмотрен уже в этой главе.

Сегодня специалисты пытаются рассмотреть процессы производства и экономических связей в конгломерате организмов с разными не совпадающими, но и не противоположными интересами. Сейчас еще трудно сказать, что получится из этих работ и каков будет их практический эффект, но создание более общей схемы анализа, в которой идеи и методы оптимизации будут широко использоваться для решения лишь определенных классов частных задач, а не возводиться в абсолют, уже является предметом дискуссий и интенсивных поисков.

Большинство моделей, с которыми мы сегодня имеем дело, это «продуктовые модели», описывающие, собственно говоря, процесс производства. В этих моделях не учитываются сложные процессы распределения благ. В этих моделях нет денег!

Сегодня более или менее хорошо изучены значение и особенности обращения денег и их роль как всеобщего эквивалента в капиталистической экономике. Существует целый ряд глубоких исследований, позволяющих формализовать процесс денежного обращения в капиталистических странах *. В социалистической экономике проблема денег значительно сложнее. Деньги уже не выступают в форме всеобщего эквивалента. Существуют фонды общественного потребления (образование, медицина, транспорт и т. д.). Валютная система выступает как мощный фактор управления. Тем более необходимо включение денежного обращения в общие продуктовые модели социалистической экономики. Потоки товаров и денег в нашей системе также взаимосвязаны, но эта связь, к со-

* Валютные кризисы, которые ныне периодически потрясают основы валютной системы капитализма, не являются следствием непонимания их причин. Они следствие невозможности устранения причин в рамках капиталистической системы.

жалению, пока еще недостаточно изучена, а тем более формализована.

В сущности и назначении денег в обращении необходимо разобраться со всей возможной тщательностью. Это первый этап, он позволит построить модели товарно-денежного функционирования, без которых любое планирование не может быть вполне обоснованным. По мере роста нашего понимания смысла и роли денежного обращения на финансовые и банковские органы будет возлагаться все большая и большая доля ответственности за текущее управление. Не случайно, этот факт нашел отражение и в Директивах XXIV съезда КПСС. «Усилить воздействие финансовых и банковских органов на более полную мобилизацию резервов производства и повышение его эффективности». Реализация этой важнейшей директивы потребует значительно более глубокого понимания объективных закономерностей денежного обращения и построения товарно-денежных моделей.

Таким образом, изучение природы денег в социалистической экономике и структуры финансовой системы имеет в конечном счете чисто практическое начало — стремление сделать более рациональным и эффективным механизм планирования и текущего управления.

Исследования, о которых идет речь, призваны также помочь решить ряд важнейших вопросов политэкономии социализма, понять, что, с одной стороны, является неуправляемым, а с другой — установить величины, которыми можно управлять, которые находятся в нашем распоряжении.

Процесс развития человечества идет, по-видимому, с непрерывным ростом упорядоченности. Переход к централизованному плановому хозяйству — один из этапов такого процесса. В результате все большее и большее число факторов, ранее принадлежавшее к числу неуправляемых, превращается в управляемые. Роль денег и ценообразование теперь уже в значительной степени зависят от воли человека, от государства, его политики.

Другими словами, с развитием социалистического общества появляется все больше и больше возможностей использовать объективные законы его развития для целенаправленных действий, для научного управления.

Широчайший спектр вопросов, который возникает в связи с этим обстоятельством, имеет в конечном итоге единственную цель — понять все те возможности управления, которые есть у централизованного социалистического государства и поставить их на службу строительству коммунистического общества.

О моделях конфликтных ситуаций

Экономические модели — это только часть той общей системы моделей, которая необходима для описания процессов, происходящих в обществе.

В предыдущем параграфе этой главы был приведен пример незамкнутой модели. Для однозначного описания экономического процесса в П — И-модели мы должны были задать определенные значения управляющих величин. Эти управляющие воздействия (распределение инвестиций, планы выпуска и т. д. и т. п.) находятся в распоряжении людей, общественных институтов, управляющих народнохозяйственным организмом. Значит, течение экономической эволюции зависит от поведения определенных людей (или человека). Значит, для изучения этого процесса мы должны к динамической модели экономики добавить какую-то модель поведения людей, органов управления. В тех задачах, которые мы рассматривали, эта модель поведения довольно проста. Она сводится к такому выбору управляющих воздействий, которые доставляют некоторой целевой функции оптимальное значение*. Однако модели поведения, с которыми приходится сталкиваться при описании других процессов, происходящих в человеческом обществе, могут быть неизмеримо сложнее и не сводятся к простой оптимизации некоторой функции. Последнее условие предполагает, что существует единственная «оперирующая сторона». Иными словами, все решения, даже если они принимаются разными людьми, идентичны в том

* В первой главе мы уже заметили, что по терминологической схеме, принятой в этой работе, целевая функция не включается в понятие модели. Сейчас мы увидели еще один аргумент в пользу этого условия. Выбор целевой функции и условие ее экстремума — это просто один из очень сложных случаев общих моделей поведения, которые определяют способ использования управляющих воздействий в моделях функционирования.

смысле, что они принимаются для достижения одной и той же цели.

Наиболее часто имеет место другая ситуация, когда оперирующих сторон больше, чем одна, и интересы этих сторон не совпадают. Все подобные ситуации условимся называть конфликтными. Наиболее острый тип конфликта — в котором интересы оперирующих сторон строго противоположны.

Очень легко привести примеры конфликтных ситуаций. А если иметь в виду человеческое общество, то гораздо труднее привести примеры ситуаций, в которых нет конфликтов. Конечно, природа конфликтов и их содержание могут быть самые разные. Мы знаем, например, что существуют конфликты, противоречия антагонистического характера, присущие социально-экономической системе капитализма, и есть конфликты, противоречия неантагонистические, возникающие в условиях социализма и разрешаемые в ходе его строительства.

Природа конфликта очень важна в процессе создания математической модели и интерпретации результатов ее анализа. Но если модель уже создана, то она как бы теряет связь со своей «первоосновой». Общая схема математического анализа может быть использована при изучении конфликтных ситуаций другой природы, другого содержания, разумеется, с необходимыми поправками и оговорками.

Поясним эту схему анализа конфликтных ситуаций на примере простейшей модели антагонистического конфликта, изученной Ланчестером еще в 1916 году, — на примере модели артиллерийской дуэли.

Итак, модель Ланчестера.

Предположим, что боевая операция состоит из нескольких этапов (например, продолжается N дней). Имеются два противника A и B , каждый из которых располагает разными видами оружия определенного качества. У них могут быть 45-миллиметровые и 76-миллиметровые пушки, какое-то количество взводов пехоты и т. д.

Каждый из противников имеет возможность любым количеством (в пределах того, что он имеет) любого оружия нанести удар по любому из видов оружия другого противника.

Важную роль в модели Ланчестера (и других моделях, описывающих подобные конфликты) играют так

называемые коэффициенты эффективности. Они показывают, какое количество боевых средств одного типа может быть уничтожено единицей боевых средств другого типа, принадлежащей противнику за один этап боя.

Зная коэффициенты эффективности (которые являются некоторыми «экспериментальными» коэффициентами), можно рассчитать результаты одного этапа дуэли в зависимости от «целераспределения». Этим термином военные называют ту долю средств одного типа, которая выделяется на удар по средствам другого типа противника. Целераспределения в модели Ланчестера $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ — это стратегии противников. Модель Ланчестера представляет собой совокупность формул, позволяющих определить результат многодневной артиллерийской дуэли в зависимости от целераспределений, т. е. действий противников.

Модель Ланчестера описывает конфликтную ситуацию антагонистического типа, так как интересы противников строго противоположны. Каждый из противников стремится уничтожить побольше средств и людей другого противника и сохранить побольше собственных сил и средств.

Обозначим через A^* и B^* мощности противников после окончания дуэли (описать мощность каждого противника одним числом не так-то просто. Но условимся для простоты, что мы умеем это делать). Очевидно, эти величины будут зависеть от действий противников, т. е. от целераспределений α и β . Противник A стремится увеличить A^* и уменьшить B^* , т. е. увеличить разность $F(\alpha, \beta) = A^* - B^*$. Противник B , естественно, стремится к обратному.

Модель Ланчестера интересна тем, что все вычисления, в принципе, могут быть доведены до конца. Однако оказывается, что даже при невысокой точности они требуют огромного машинного времени.

Предположим, что противники располагают 10 видами оружия и каждый вид оружия оценивается в десятичных долях начальной величины, т. е. с точностью до 10%. И пусть число этапов боя также равно 10. Тогда оказывается, что для вычисления результата артиллерийской дуэли, описываемой моделью Ланчестера, требуется решить $2 \times 10 \times 10^{10}$ задач линейного программирования.

Предположим, что решение каждой из задач занимает время $1/20$ секунды, т. е. мы располагаем гипотетической машиной с быстродействием, во много раз превышающим быстродействие машин лучших современных образцов. Тогда нам потребуется для расчета 10^{10} секунд машинного времени. Это значит, что расчет потребует около 300 лет непрерывной работы ЭВМ самого высшего класса.

Таким образом, полный расчет исхода одного эпизода боевых действий потребует такого количества машинного времени, в течение которого в жизни человека пройдет целая историческая эпоха.

Этот пример имеет важное методическое значение. Он интересен не только тем, что здесь легко составить точную математическую модель и в рамках данной гипотезы поведения создать точный метод расчета оптимальной стратегии сторон. Рассмотренный пример показывает, что всего этого еще недостаточно для фактического отыскания стратегий, чтобы в подобных задачах имело смысл ограничиваться только математическими методами. И никакое будущее вычислительной техники не сможет этого обеспечить. Конечно, если быстродействие возрастет в 10^8 — 10^9 раз по сравнению с сегодняшними ЭВМ, то задача Ланчестера может быть решена в реальном масштабе времени. Но нельзя забывать, что рассмотренная задача является одной из простейших задач теории конфликтов. Модель Ланчестера лишь составная часть значительно более общей модели планирования боевых действий, строгий анализ которой требует в миллиарды и миллиарды раз большей затраты машинного времени, нежели модель дуэли.

Выход надо искать в другом. Необходимо отказаться от строго оптимальных решений и найти способы привлечь для анализа модели неформальное мышление опытных людей — экспертов. ЭВМ будет тупо перебирать все возможные варианты. Эксперт, специалист сразу отбросит бесперспективные и заставит ЭВМ анализировать только такие (немногие), которые, по его мнению, могут дать хороший результат. Таким образом, даже тогда, когда математические задачи на некоторой модели могут быть вполне четко поставлены, мы часто оказываемся перед необходимостью сочетания строгого анализа с неформальным мышлением, т. е. вынуждены

превращать замкнутую игровую модель в имитационную.

Модель Ланчестера может быть легко приспособлена для описания значительно более сложных ситуаций. В ее начальном виде она предполагает, что войска и оружие, участвующие в дуэли, неподвижны. Единственное, чем определяются стратегии противников, это целераспределение: противники *A* и *B* могут распоряжаться объемом тех средств поражения, которые выделяются для поражения той или иной цели.

Если теперь к уравнениям модели Ланчестера мы добавим еще кинематические соотношения, позволяющие рассчитать положение частей противников, если известны скорости их перемещения, то получим значительно более общую модель, с более «богатым» набором стратегий противников. В самом деле, теперь в распоряжении противников появился еще один способ управления — перемещение в пространстве. Но эффективность поражения цели зависит от расстояния до цели. Следовательно, кинематические соотношения оказываются связанными с исходными уравнениями Ланчестера.

В таком виде модель описывает боевые действия уже значительно более сложной природы.

Но и эта модель может быть еще значительно усложнена. Может быть введен, в частности, маневр резервами. Рассматривая соприкосновение частей на линии фронта, можно составить уравнение движения линии фронта и т. д. Таким образом, последовательное развитие модели Ланчестера позволяет описывать боевые действия, происходящие в реальных условиях.

Подобные модели уже качественно отличаются от модели Ланчестера, которую мы здесь описали, причем это отличие состоит не только в принципиальном усложнении. Для модели Ланчестера мы можем легко на языке теории игр сформулировать и цель управления и функцию качества управления (целевую), т. е. аккуратно сформулировать математическую задачу.

В условиях более сложных, чем простая артиллерийская дуэль, практически уже невозможно сформулировать какую-либо строгую математическую задачу. В операциях подобного масштаба всегда существует много целей. Кроме того, эти цели могут меняться по мере развития событий. Наконец, при оценке операции сущест-

вует много разнообразных критериев и т. д. Вот почему для подобных операций, вероятно, единственный метод анализа — это использование имитационных моделей.

Если эксперты определяют (сформулируют) стратегии, то модель позволит рассчитать финальную ситуацию. Дело экспертов оценить ее результат, признать его хорошим или плохим. Изменяя стратегию, мы получим другое течение изучаемого процесса. Многократно повторив подобные расчеты, мы можем получить достаточно полное представление об особенностях процесса.

Гарантирующая стратегия, риск, или как принимаются решения

Мы уже говорили, что как только задача формализована, об ее истоках «забывают». Остаются стратегии «истоков» — α и β . Остается функция $F(\alpha, \beta)$, которую в других условиях допустимо назвать, например, доходом, ущербом и т. д.

Противник A может выбрать свою стратегию $\alpha(t)$ и хочет это сделать так, чтобы максимизировать функцию $F(\alpha, \beta)$. Но результат его действий зависит также и от поведения противника B . И вот здесь, планируя операцию, он должен сформулировать некоторую гипотезу о поведении противника B , ибо, не имея о нем никакого представления, он не сможет принять решения. Мы обсудили одну из возможных гипотез — противник B стремится минимизировать функцию $F(\alpha, \beta)$. Но могут быть и другие, в которых противник будет действовать не наилучшим для себя способом.

В том случае, когда существует много разных вариантов поведения противника, особое значение имеет так называемая гарантирующая стратегия. Среди всех возможных вариантов поведения противника B есть наихудший для противника A . Если это наихудшее для A поведение B будет принято в качестве гипотезы поведения, то для A получается оптимизационная задача. Ее оптимальное решение и называется гарантирующей стратегией. Математически это записывается так:

$$\max_{\alpha} \left\{ \min_{\beta} F(\alpha, \beta) \right\} = F^*.$$

F^* — число. Его можно назвать выигрышем, доходом, ущербом и т. д. Это то, на что всегда может рассчиты-

вать противник A . Если противник B будет вести себя иначе, то выигрыш противника A может только увеличиться.

Эта ситуация не очень проста. Попробуем пояснить сказанное. Поставим себя в положение противника A , т. е. мы — это A . Допустим, что противник B умный. Это значит, что если выбрать некоторую стратегию, то наш противник сейчас же выберет наихудшую для нас стратегию β , которая будет, естественно, зависеть от выбранной стратегии α . Значит, если противник умный, то мы должны выбрать такую стратегию α , чтобы наш выигрыш при таком поведении умного противника был максимальным.

Таким образом, гарантирующая стратегия принимается из расчета на умного противника. Но противник не всегда будет действовать наилучшим для себя способом. Следовательно, возникает возможность риска. Можно попробовать рискнуть, считая, что противник B выберет

некоторую стратегию $\beta = \hat{\beta}$, которая для нас не наихудшая. В этом и состоит риск — мы предполагаем, что противник не догадается! Этот риск может иметь оправдание. В самом деле, теперь мы можем выбрать такую стратегию $\hat{\alpha}$, которая дает нам выигрыш $\hat{F}$. И этот выигрыш $\hat{F}$ может быть гораздо большим, чем гарантированный F^* .

Но выбирая в качестве стратегии $\alpha = \hat{\alpha}$, мы оказываемся полностью во власти противника. Если он догадается, какая для нас наихудшая стратегия $\beta = \beta^{**}$ и примет ее, то наш выигрыш будет равен F^{**} , и он может оказаться гораздо меньше, чем гарантированный F^* .

Еще раз: выбор гарантированной стратегии нам может обеспечить некоторое значение целевой функции (выигрыш, доход) F^* . Может быть, мы сможем получить и больше, если противник не будет действовать наилучшим образом. Но во всяком случае наш выигрыш (доход) будет не меньше F^* . Если мы рискнем, то, может быть, мы сможем получить значительно больше, чем F^* . Но может случиться и так, что противник нас накажет за риск, и мы получим F^{**} , который значительно меньше

гарантированного выигрыша (дохода). Так стоит ли рисковать?!

Ответа на этот вопрос нет. Так как же быть математику? И математик вывернулся из этой трудной ситуации, именно вывернулся, а не решил задачу.

Мы уже говорили, что наука, которая занимается анализом конфликтных ситуаций, называется теорией операций. В теории операций четко разграничивают обязанности оперирующей стороны и исследователя операций. Исследователь операций — это математик. Его задача провести полный анализ данной конкретной операции с позиции оперирующей стороны. Результаты этого анализа представляются в следующем виде: если оперирующая сторона принимает решение № 1, то в зависимости от поведения противников имеют место следующие альтернативы (перечисляются); если решение № 2, то следующие и т. д.

Окончательное решение принимает оперирующая сторона. В ее интересах проводится операция, и она одна наделена правами принимать решение и, в частности, идти или не идти на риск. Очень грубо: исследователь операции — это штаб, который готовит и изучает варианты решений. Оперирующая сторона — это командующий, который принимает решения и несет за них ответственность.

Мы продемонстрировали задачи, которые решает исследователь операций. Мы показали, как проводится последовательный анализ стратегий, приводящий к выбору гарантирующей стратегии. Все эти рассуждения продемонстрировались на модели Ланчестера и, разумеется, особенность этой модели определяла выбор математических методов, которые мы использовали. Тем не менее, повторяю, общий характер рассуждений, обсуждение смысла гарантирующей стратегии и риска вполне универсальны.

Модель управления в иерархических системах

В последнее время внимание довольно широких кругов специалистов привлечено к изучению иерархий в системах управления. Иерархическая структура встречается всюду, во всех больших управляемых системах, будь то технические, экономические, военные или любые

другие. На производстве это цепочка: рабочий — участок — цех — завод — главк (объединение) — министерство. Аналогичная ситуация в армии и т. д. Поэтому иерархическая подчиненность — это явление настолько типичное, что непонятно, почему вопросами, относящимися к анализу и синтезу иерархических структур управления, стали заниматься только теперь.

В этой книге невозможно дать сколько-нибудь полную картину исследований и идей, которые сегодня определяют развитие теории иерархических структур. Мы хотели бы только показать связь проблемы иерархических систем с моделями конфликта, о которых мы вели разговор в предыдущем разделе. Та модель иерархической системы управления, которую мы собираемся здесь изучать, может рассматриваться как очень идеализированная модель системы предприятий, объединенных в один трест или управление. Мы будем считать, что иерархическая структура уже задана, и постараемся понять, как этот факт может отразиться на процедурах планирования.

Прежде всего попробуем разобраться, для чего нужна иерархическая лестница в системе управления и к каким следствиям приводит ее появление. Иерархическая структура управляемой системы — это прежде всего разделение функций обработки информации и принятия решений в экономических, политических или социальных организациях между его частями (звеньями). Такое распределение обязанностей по переработке информации определяется прежде всего объемом информации и требованиями к ее обработке (качеству, времени обработки, стоимости), необходимыми для принятия решений. Может оказаться, что полностью централизованный сбор и обработка информации либо технически невозможны, либо приводят к значительному запаздыванию в принятии решений, т. е. к принятию решений по устаревшей информации. В обоих случаях это приводит к увеличению неопределенности при принятии решения, а следовательно, к снижению эффективности системы управления.

Возникновение иерархической структуры диктуется прежде всего стремлением уменьшить уровень неопределенности в процессе принятия решений, т. е. повышением качества управления.

Одним из путей преодоления трудностей, вызванных большим объемом информации и сложностью ее обработки, является «распараллеливание» процедур обработки информации, т. е. разделения системы на звенья, каждое из которых работает только с небольшой частью общего объема информации. Однако этот путь неизбежно приводит к определенной степени децентрализации не только процесса переработки информации, но также и процедур принятия решений. Отдельные звенья системы, способные учесть все изменения конкретной ситуации, получают право самостоятельно принимать решения по тем или иным вопросам. Так возникает в системе управления иерархическая структура.

Для принятия решений в отдельных звеньях системы необходимо уже иметь значительно меньший объем информации, и, следовательно, эти решения будут приниматься в условиях значительно меньшей неопределенности — то к чему мы стремились, переходя от полностью централизованного управления к иерархическому.

Итак, децентрализация управления приводит к уменьшению неопределенности, связанной со сбором и обработкой информации. Однако из этого утверждения еще нельзя сделать заключения о том, что децентрализация всегда и во всех случаях желательна. В самом деле, децентрализация, в свою очередь, служит источником новой неопределенности: как только некоторая часть общего организма (звено, подсистема) получает в свое распоряжение права принимать решения, т. е. самостоятельного функционирования, она, в свою очередь, превращается в некоторый самостоятельный организм и, следовательно, неизбежно приобретает собственные цели, в общем случае не тождественные интересам верхних уровней.

Таким образом, основная причина новой неопределенности, возникающая вместе с образованием иерархической структуры в системе управления, — неизбежность противоречия между целым и его частями, которая проявляется в нетождественности интересов всей системы и ее отдельных звеньев. Вот почему можно говорить об оптимальной неопределенности и, следовательно, оптимальной мере децентрализации, об оптимальном распределении функций принятия решений между центральным руководством и звеньями системы.

Итак, наша концепция иерархической системы рассматривает факт ее существования как способ уменьшения неопределенности в системе управления, а следовательно, и повышения ее эффективности. Она открывает, как мы увидим ниже, возможности широкого использования для изучения иерархических систем, методов, принятых в теории операций.

Теория систем управления, обладающих иерархической структурой, имеет целый ряд специфических проблем, с которыми теория управления ранее не сталкивалась.

Первый и, может быть, основной вопрос — это вопрос о формировании целей подсистем (звеньев). Результат функционирования системы зависит существенным образом от уровня взаимной информированности разных звеньев иерархии, о целях этих звеньев. Это обстоятельство вызывает, в свою очередь, целый ряд новых интересных задач.

В рамках предлагаемой работы вряд ли можно сколько-нибудь подробно раскрыть содержание этой проблемы. Поэтому мы ограничимся лишь несколькими замечаниями.

Жесткое директивное задание целей подсистемам, по нашему мнению, просто невозможно. Даже в жестких условиях армейской дисциплины отдельные соединения, части и подразделения, которые целеустремленно выполняют задание, общее для всей армии, имеют какие-то специфические интересы. Эти интересы и цели могут учитываться или не учитываться руководством, но они существуют. Так, например, в разных условиях одна и та же часть может быть более или менее устойчива в обороне, с большим или меньшим энтузиазмом рвется вперед в наступление. Существуют более и менее боеспособные части и т. д. Все эти обстоятельства еще более ярко проявляются в экономических, социальных или политических системах управления. Эти цели отдельных звеньев могут быть известны или нет другим звеньям и другим уровням иерархии. Как правило, полная информированность отсутствует, и с этим фактом приходится считаться.

Многообразие ситуаций здесь чрезвычайно широко. Отдельные звенья, в частности, сами могут сообщать или не сообщать руководству о своих целях. Это им мо-

жет быть «выгодно» и «невыгодно»; все зависит от конкретных условий. Поэтому для руководства очень важно априори оценить цели отдельных подсистем. Это трудная проблема. Но если принять организмическую концепцию, которая заведомо имеет смысл для определенного класса важных задач, то появляются известные возможности построения подобных оценок, основанных на теории, согласно которой целью подсистемы является стремление к максимальной устойчивости (стабильности).

Кроме проблем выбора или определения целей подсистем, в теории иерархических систем еще много других трудных проблем. Здесь мы лишены возможности обсуждать их сколько-нибудь подробно. Поэтому мы остановимся лишь на двух задачах, выбор которых имеет целью продемонстрировать манеру рассуждений — проблеме планирования в иерархических системах и оценки целесообразности использования иерархии. Мы будем при этом оперировать с самыми простейшими моделями.

Будем рассматривать двухступенчатую иерархическую систему, которая состоит из «Центра» (если угодно — объединения, фирмы, главка) и из какого-то количества (N) равноправных звеньев, которые мы условимся называть Производителями. Будем считать, что это производственные единицы, входящие в объединения. В результате функционирования Производителей вырабатывается некоторый продукт. Обозначим его через x_i (это может быть некоторый набор продуктов — некоторый вектор). Центр объединения, естественно, ничего не производит — это управленческая организация. Ее существование — результат ее деятельности (ее целевая функция) определяется только результатом функционирования Производителей, т. е. тем продуктом, который произведут входящие в фирму предприятия, т. е. величинами $x_1, x_2, \dots, x_n$. Этот факт мы обозначим следующим образом (качество работы фирмы будет функцией):

$$F = F(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (7.1)$$

В зависимости от организации и правового положения объединения оно будет иметь те или другие возможности управлять входящими в него предприятиями. Условимся, что единственная возможность управления, кото-

рой располагает Центр, это распределение ресурса U , без которого Производитель не может выпускать своего продукта. В зависимости от того, какую долю ресурса u_i получит Производитель, он будет иметь те или другие возможности для своей активности.

Однако Производителям дано право самостоятельно выбирать программу производства (или технологию), варианты которой обозначим через γ . Если Производитель номера i получит в свое распоряжение ресурс u_i , то он может распорядиться этим ресурсом разными способами — выпустить тот или другой набор продукта x_i .

Этот факт мы запишем в следующем виде:

$$x_i = \Phi_i(u_i, \gamma_i).$$

Выбирая то или другое значение γ_i при данном ресурсе, мы будем получать тот или другой набор выпускаемого продукта.

Целевая функция Производителя в чем-то может быть отлична от целевой функции Центра.

В самом деле, объединение или глосс заинтересован, например, в определенной номенклатуре, он отвечает за комплектные поставки оборудования. Производителю же может быть наиболее выгоден «вал». Обозначив целевую функцию Производителя номера i через f_i (она будет зависеть только от того продукта, который он сам производит), мы этот факт запишем так:

$$f_i = f_i(x_i). \quad (7.2)$$

Для дальнейшего исследования мы должны оговорить взаимную информированность Центра и Производителей. Здесь могут встретиться самые разнообразные и очень сложные ситуации. Например, Центр может даже ничего не знать о целях своих Производителей. Мы рассмотрим крайний и наиболее простой случай.

Условимся считать, что цели Производителей, их целевые функции известны Центру.

Для достижения своей цели — максимизации функции (7.1) — Центр имеет одну-единственную возможность: тем или иным способом назначать векторы ресурса u_i . Назначать самостоятельно векторы x_i Центр не может.

Здесь мы снова сталкиваемся с конфликтной ситуацией. Как и в предыдущем параграфе, судьба Центра

во многом зависит от поведения других персонажей этого конфликта — от Производителей.

Перед Центром стоит задача планирования. Он должен распределить ресурс, который находится в его распоряжении, причем сделать это наивыгоднейшим для себя способом. Как вести себя в подобной ситуации?

Поскольку рассматриваемая ситуация — это конфликт, в котором мы не знаем поведения других участников, то прежде всего мы должны сформулировать некоторую гипотезу об их поведении.

Подчеркнем — гипотезу поведения. Поскольку действия Производителей не тождественны действиям Центра, поскольку Центр может влиять на действия Производителя только с помощью «экономических рычагов» (в данном случае с помощью объема выделяемого ресурса, например, фонда зарплаты), то Центр никогда не может абсолютно точно знать характер поведения Производителя. Значит, он должен предположить, сформировать правдоподобную гипотезу его поведения.

В данном конкретном случае это сделать нетрудно. Будем считать, что Производитель номера i «лицо» разумное и он стремится использовать выделенный ему ресурс наилучшим (для себя, конечно) способом. Это значит, что он будет стараться выбрать такую технологию γ_i , т. е. такой вектор x_i , который доставляет максимум функции (7.2):

$$\max_{\gamma_i} f(x_i). \quad (7.3)$$

Операция (7.3) определяет выбор технологии — стратегию Производителя.

Обозначим ее через $\hat{\gamma}_i$. Она, очевидно, будет функцией той доли ресурса u_i , которую Центр выделил этому Производителю. Но эта технология $\hat{\gamma}_i$ определяет и характер, качество и структуру выпускаемого продукта. Это значит, что продукт x_i будет также функцией этого ресурса u_i , т. е.

$$x_i = \hat{x}_i(u_i). \quad (7.4)$$

Проведенная цепочка рассуждений — это рассуждения Центра. Функция (7.4) не сообщается апостериори Производителями Центру, а определяется Центром априори до фактического распределения ресурса.

Таким образом, если Центр сформулировал гипотезу поведения Производителя, то это значит, что ему известно, какой продукт выпустит Производитель на основе ресурсов u_i . Последнее означает, что целевая функция Центра превращается теперь в некоторую функцию ресурсов u_i :

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \hat{F}(u_1, u_2, \dots, u_n).$$

В этих условиях наиболее разумное поведение Центра — это так назначить ресурсы u_i , так распределить их между Производителями, чтобы доставить максимальное значение функции $\hat{F}$. Таким образом, задача планирования, которую решает Центр, сводится к определению величин $u_1, u_2, \dots, u_n$, доставляющих максимальное значение функции

$$\max_{u_i} \hat{F}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \hat{c}.$$

Изложенная процедура представляет собой планирование в иерархической системе. Мы рассказали, каким образом Центр может распределять ресурсы, и определили его доход $\hat{c}$ — тот результат, на который может рассчитывать Центр в условиях иерархической структуры, когда каждая из составных частей, каждый из Производителей имеет право самостоятельно принимать решение о способах расходования ресурса.

Если бы система не была расчленена на отдельные звенья, то Центр мог бы самостоятельно принимать решение о производстве всех продуктов x_i , т. е. самостоятельно распоряжаться выбором технологий γ_i . Это означает, что Центр мог бы определять не только оптимальное распределение ресурса, но и оптимальный технологический способ, программу производства каждого из предприятий, входящего в объединение.

В результате этой операции находятся оптимальные для Центра правила распределения ресурса u_i и технологий γ_i . Их выбор определит некоторый доход Центра, который мы обозначим c^* .

Можно утверждать, что

$$c^* \geq \hat{c},$$

т. е. доход Центра в условиях децентрализации, в рассматриваемом примере, будет меньшим (или в крайнем

случае равным) доходу Центра в условиях полностью централизованного управления объединением*.

У читателя, который внимательно прочтет эти рассуждения, возникнет естественный вопрос. Зачем же вводить децентрализацию? Она вроде бы приносит только вред.

Действительно, в той детерминированной постановке, которая рассматривалась в предыдущих пунктах, децентрализация приносит один только вред, она всегда уменьшает доход Центра. Значит, если Центр идет сознательно на децентрализацию, то у него должны быть для этого весьма весомые аргументы. Эти аргументы должны быть связаны, очевидно, с тем обстоятельством, что Производитель располагает такой информацией, которая недоступна Центру. Используя ее в своих интересах, Производитель может тем самым существенно увеличить и доход Центра. Попробуем описать эту ситуацию на более или менее формализованном уровне.

Предположим, что целевая функция Производителя номера i будет по-прежнему

$$f_i(x_i),$$

и она снова хорошо известна Центру.

Но дальше ситуация окажется уже другой.

Предположим, что результат деятельности Производителя зависит от некоторых факторов, которые Производителю хорошо известны, но Центр о них достаточно полной информации не имеет (или она ему по техническим причинам не может быть вовремя сообщена, или Центр не может успеть ее своевременно и нужным образом обработать и т. д.). Такая ситуация типична. Например, Центр (трест совхозов) не может знать достаточно

* В самом деле, введение иерархической структуры — это введение новых ограничений на выбор технологии. Значит, оно сужает множество возможных решений, а следовательно, может только уменьшить максимум дохода.

Более подробный анализ показывает, что возможности Центра влиять на стратегию Производителя с помощью перераспределения ресурса весьма незначительны. Оказывается, что эффективное управление в иерархических системах рассматриваемого вида обязательно требует штрафов и поощрений. Эти способы управления гораздо более гибкие и эффективные. Мы ограничимся здесь только этим общим замечанием. Его расшифровка нас уведет далеко в сторону от основного направления.

точно, насколько хорошо подготовлена земля для сева в данном совхозе или какие там погодные условия и т. д. Другими словами, количество продукта x_i , которое будет выработано Производителем номера i , будет зависеть не только от того объема ресурса u_i , который Центр ему выделил, не только от той технологии, того способа производства γ_i , который выберет Производитель, но и от некоторого фактора ξ_i , который хорошо известен Производителю, но неизвестен Центру. Математически этот факт мы запишем в виде:

$$x_i = \varphi_i(u_i, \gamma_i, \xi_i).$$

Сохраним старую гипотезу о поведении Производителя. Будем считать, что, получив ресурс u_i и зная фактор ξ_i , Производитель будет определять свою технологию γ_i , т. е. производить свой продукт x_i так, чтобы максимизировать свой доход.

В результате этой операции он определит свою стратегию как функцию не только ресурса u_i , но и фактора

$$\xi_i: \gamma_i = \hat{\gamma}_i(u_i, \xi_i).$$

Таким образом, стремясь к достижению своих «личных» целей, Производитель номера i создаст продукт x_i , который будет определяться не только выделенным ресурсом u_i , но и фактором ξ_i . Запишем этот факт следующим образом:

$$x_i = \hat{x}_i(u_i, \xi_i).$$

Поскольку доход Центра зависит только от того, сколько и какого продукта выработали Производители, то он тоже будет зависеть не только от того, каким образом Центр распределил ресурс между Производителем, т. е. от величин u_i , но и от тех факторов ξ_i , которые известны Производителям, но неизвестны Центру.

Этот случай качественно отличается от того, который обсуждали раньше. Раньше Центр мог точно знать, какой продукт произведет Производитель, если он ему выделит определенное количество ресурса. Теперь такой информации Центр уже иметь не может.

Центр по-прежнему может распоряжаться только величинами ресурсов u_i . Но как их выбрать, если Центру неизвестна величина ξ_i , т. е. если он не может определить своего дохода в зависимости от собственных действий?!

Вот здесь пришло время сказать о возможной мере информативности Центра. Если Центр ничего не знает о факторе ξ_i , то он и решения принять не сможет.

Если ничего неизвестно об объекте управления, то сама постановка вопроса о его управлении абсурдна. Практически всегда у Центра есть определенная априорная информация о факторах, влияющих на эффективность деятельности Производителей. Он всегда знает «кое-что» о факторе ξ_i . Например, он может знать, что урожайность колеблется между 10 и 30 центнерами с гектара, что рыночные цены находятся в тех или иных пределах, что температура в июле в средней полосе колеблется между 15 и 35° и т. д.

Она означает, что факторы ξ_i принадлежат некоторому множеству M_i . Для того чтобы принять решение, Центр должен выработать некоторое собственное правило поведения. Он может, например, идти на риск, делая те или другие предположения о факторах ξ_i .

Особое значение в подобных ситуациях приобретает принцип гарантированного результата, т. е. использование нижней оценки дохода Центра. Об этом мы уже рассказывали.

После этого у Центра остается одна разумная возможность — так распорядиться величинами u_i , т. е. так распределить ресурс, чтобы его гарантированный доход был максимальным. Обозначим его $\hat{D}$.

Мы снова показали способ планирования ресурса в децентрализованной системе в условиях, когда Центр не располагает полной информацией о действиях Производителей.

Рассмотрим теперь, что получилось бы, если бы система была полностью централизована, т. е. Центру было дано не только право распоряжаться ресурсами $u_1, \dots, u_n$, но и выбором технологий $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$, однако при условии, что уровень его информативности остался бы старым, т. е. он знал бы так же мало о факторах ξ_i , как и при децентрализованном управлении технологиями.

В этом случае доход Центра снова зависел бы и от стратегии распределения ресурсов u_i и от технологий γ_i и от параметров ξ_i .

Но распоряжаться Центр может только величинами u_i и γ_i .

Для того чтобы описать дальнейшие условия действия Центра, мы должны снова принять некоторый постулат для оценки дохода. Условимся снова, что по отношению к неопределенным факторам Центр пользуется принципом гарантированного результата.

Тогда оценка его дохода величина F^* будет зависеть только от того, как распределен ресурс и какие выбраны технологии:

$$F^* = F^*(u_1, \dots, u_n, \gamma_1, \dots, \gamma_n).$$

Теперь Центру, естественно, надо так выбрать эти величины, чтобы максимизировать свой гарантированный доход. Обозначим через D^* максимальный гарантированный доход Центра в условиях полной централизации.

В отличие от того случая, о котором мы рассказывали в начале параграфа, теперь мы уже ничего не можем сказать о величине разности

$$\delta = \hat{D} - D^*.$$

Могут быть три разных случая.

Случай $\delta = 0$ — нейтральный. Децентрализация не приносит никакого дополнительного дохода.

Если $\delta < 0$, это значит, что за децентрализацию приходится платить, децентрализация вредна. Система должна быть полностью централизована.

Если $\delta > 0$, то это значит, что гарантированный доход Центра в условиях децентрализации будет больше, чем его гарантированный доход в условиях централизации. В этом случае в производственный организм следует вводить иерархическую систему управления.

Рассуждения, подобные приведенным, позволяют оценивать качество организации управления экономическим организмом, выяснять оптимальную степень централизации и децентрализации и решать многие другие весьма важные проблемы управления общественными процессами.

Модель иерархической системы, которую мы рассмотрели, максимально упрощена, тем не менее в ней сохранена основная особенность подобных систем — наличие собственных целей подсистем. Поэтому приведенная здесь схема рассуждений может быть использована и для анализа значительно более сложных случаев. И она по-

звolyет делать разнообразные заключения общего характера.

Информационный подход к анализу иерархических систем позволяет, в частности, утверждать, что по мере усовершенствования технологии сбора, передачи и обработки информации, системы должны быть все более и более централизованными.

В этой главе мы рассмотрели довольно широкую серию различных моделей социальных процессов. Мы рассмотрели модели явлений, изучаемых в политической экономии, модели глобального планирования, одну упрощенную военную модель и, наконец, модель некоторой организационной структуры.

Приведенных примеров достаточно, чтобы читатель увидел, насколько важные позиции уже сегодня завоевал метод формализованных моделей. Он становится неотъемлемым элементом набора средств, используемых при исследовании процессов, происходящих в обществе.

Недооценка метода формализованных моделей лишает общественные науки и повседневную человеческую практику возможности глубоко проникнуть в содержание общественных процессов, правильно оценивать перспективу их развития.

Однако было бы очень опасно и переоценивать возможности метода формализованных моделей и полагать, что он является всеобщей панацеей. Нетрудно указать примеры его полной беспомощности. Кое-что по этому поводу уже было сказано.

Но анализ формализованных моделей далеко не исчерпывает того современного инструментария, который возник и бурно развивается вместе с прогрессом вычислительной техники. Об этом и будет идти речь в следующей главе.

НЕФОРМАЛЬНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ.
ИМИТАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Модели, о которых шла речь в предыдущей главе, пригодны для анализа лишь относительно простых явлений. Сегодня мы, математики, которых часто обвиняют в том, что они стремятся все и вся математизировать, отлично понимаем, что во всяком случае пока лишь небольшая часть проблем, стоящих перед человечеством, поддается математической формализации и описанию на языке математики. В самом деле, человек приобретает уверенность в истинности или ложности того или другого утверждения (т. е. знание) не только с помощью чисто логических процедур. Ассоциация, интуиция, эмоциональное восприятие — все это вместе оказывается столь же необходимыми и столь же законным способом познания, как и чисто логические процедуры. Последние имеют лишь одно преимущество — они могут быть легко реализованы на ЭВМ. И пока только они. Машина не может «мыслить» неформально.

Поэтому мы полагаем, что дальнейшее совершенствование методов научного анализа в общественных и гуманитарных науках должно основываться не на стремлении к стопроцентной математизации этих дисциплин, а к естественному объединению таланта человека и возможностей ЭВМ, которая делает логические операции в миллионы раз быстрее человека и практически безошибочно. Задача нового инструментария — не заменить человеческое творчество, а облегчить его, снять с человека всю рутинную работу. Этот процесс уже происходит, и в

данной главе мы познакомимся с некоторыми его особенностями. Оценить перспективы такого синтеза, найти правильные пути его реализации — это сегодня одна из важнейших задач БОЛЬШОЙ НАУКИ. Реализация подобного альянса приведет, с нашей точки зрения, к появлению новых научных направлений, представляющих собой синтез гуманитарной и естественнонаучной «цивилизации».

Автор полагает весьма существенным тот факт, что сегодня уже достигнуты технические возможности такой переработки информации, которая позволяет создавать человеко-машинные комплексы. Именно они позволяют сегодня ставить на твердую основу проблему синтеза формализованных и не формализуемых методов мышления и анализа. Подчеркиваем: не формализуемых (а не формализованных), ибо кажется важным фиксировать невозможность (и, вероятно, ненужность) формализации на языке сегодняшней математики целого ряда явлений и процедур. Сравнительный анализ в археологии, принятие решений в сложной международной обстановке и многие другие примеры лишней раз подтверждают эту мысль.

Неформальный анализ всегда оставляет у математика известное чувство неудовлетворенности, а его выводы часто кажутся не абсолютно убедительными. В то же время в большинстве случаев математик не может предложить ничего другого.

Однако в физике он легко примиряется с подобным положением. Его убеждают факты и логика развития точного естествознания. В самом деле, в основе любого знания, любой модели, в конечном счете лежит опыт, изучение феномена. Именно он дает возможность построить систему аксиом, которую мы называем моделью. Эта система аксиом, позволяющая развить математический «формализм», — всегда продукт неформального анализа.

Значит, все то, для чего используется инструмент, созданный математиком, все без исключения, основывается на неформальном мышлении, неформальном анализе, на гипотезах.

Проверка «качества аксиом», качества исходного материала — снова опыт и только опыт.

Итак, неформальный анализ, должен признать математик, существует и будет существовать, как бы далеко ни продвинулся прогресс математики и техники переработки информации. Значит, дело состоит не в том, чтобы всякий раз найти ему замену. Математик с его инструментарием должен найти способы сделать этот неформальный анализ более эффективным и, если угодно, выводы более достоверными.

Важнейшим средством объединения формальных и неформальных методов анализа, по мнению автора, является имитационная система. Этот термин уже несколько раз употреблялся в предыдущих главах. Здесь мы постараемся раскрыть его содержание.

Однако кроме имитационных систем, существуют значительно более простые способы объединения формализованных и неформализуемых методов анализа. Один из них — это метод экспертиз. Он известен человеку с давних времен и призван реализовать естественное желание человека использовать в трудных ситуациях накопленный опыт (обобщенный человеческий опыт — коллективную мудрость). Экспертиза — оценка эксперта — может рассматриваться как результат некоторого опыта. Тогда вся процедура экспертизы превращается в совокупность многократно повторенных экспериментов, в которой прибором является человек-эксперт. Эта концепция открывает новые возможности использования экспертиз и дает новое понимание содержания неформальных процедур, основанных на экспертных оценках.

Создание ЭВМ вдохнуло новую жизнь в известный человеку с древнейших времен метод экспертиз. В настоящее время уже создано много рациональных процедур математической обработки исходного материала эвристического происхождения. Для иллюстрации состояния дел и тенденций развития этого направления человеческой деятельности мы познакомим читателя с некоторыми из них.

Сначала мы рассмотрим метод экспертиз, а затем перейдем к имитационным системам, рассматривая их как объединение деятельности эксперта (или экспертов) с формализованными моделями того типа, которые мы обсуждали в предыдущей главе. Специальный параграф мы посвятим обсуждению перспектив применения имитационных систем для изучения исторических процессов.

Простейшие экспертизы

Примерами традиционных процедур, использующих коллективный опыт, могут служить различные экспертизы, консилиумы, совещания и т. д. В зависимости от характера ситуаций эти процедуры могут значительно отличаться друг от друга. В одних случаях основным элементом подобных процедур является дискуссия, в других она может вообще не допускаться. Например, во время медицинского консилиума очень важно обсудить все доводы, и процесс диагностирования в медицине — это прежде всего процесс развития дискуссии. Другой пример «консилиума» описан Л. Н. Толстым в «Войне и мире» — совет в Филях. Каждый из генералов, приглашенных к Кутузову, сформулировал свою точку зрения — оценил ситуацию и предложил вариант решения. Главнокомандующий выслушал все мнения и сказал: «Быть по сему» — решение было принято «единогласно».

Порядок проведения подобных экспертиз и совещаний очень часто регламентируется традицией (т. е. в конечном счете снова опытом) и во многих отношениях представляет собой искусство. Однако постепенно и в эту область начинают проникать разнообразные математические методы обработки информации.

Вероятно, один из первых примеров применения «математических методов» дали виноделы. С незапамятных времен существует институт дегустаторов.

Простейший вопрос, который ставится перед дегустаторами: хорошее или плохое данное вино, отвечает ли оно тому требованию качества, которому должна удовлетворять данная марка вина?

Разумеется, на этот вопрос может ответить каждый из дегустаторов, но дегустаторы не имеют прибора более надежного, чем собственный вкус, и каждый из них может совершить некоторую ошибку. Опыт учит, что доверять в этой ситуации одному дегустатору более рискованно, чем коллективному мнению. Как теперь оценить это коллективное мнение? Вопросы, очевидно, не возникают, если все эксперты говорят «да» или все говорят «нет». Но как быть, если часть говорит «да», а другая часть говорит «нет», если, как говорят, мнения экспертов не вполне согласованы (ситуация типичная)?

Для оценки таких типичных случаев используются различные методы статистической обработки полученной информации. Простейший из них — это расчет средней оценки. Если больше половины дегустаторов говорит «да», вино считается кондиционным. В противном случае оно бракуется. Могут быть и другие способы отбраковки. Например, вино бракуется, если 40% экспертов скажут «нет» и т. д. Заметим, что в основе оценки результата экспертиз неизбежно лежит некоторая гипотеза — статистическая гипотеза, проверка которой представляет собой еще одну проблему. К этой мысли мы будем возвращаться не один раз.

Дальнейшее усложнение используемых процедур связано с введением «веса» отдельных экспертов. Веса экспертов могут быть введены самыми различными способами. Например, вес эксперта тем меньше, чем больше его мнение в среднем отклоняется от среднего значения оценки. Это обстоятельство изменяет определенным образом технику обработки данных экспертиз. Заметим, что одновременно здесь появляется еще одна гипотеза — гипотеза учета веса. Не только вычисление веса, но и его использование для обработки информации может быть произведено далеко не единственным способом.

Поскольку при многократном повторении экспертиз появляется возможность оценить качество эксперта и установить его вес, введение веса приводит к необходимости представления функционирования коллектива экспертов как некоторого динамического процесса.

Последнее обстоятельство особенно важно, оно позволяет ввести в процедуры построения экспертных оценок элементы обучения и самонастройки — по отношению к той гипотезе (критерию), который был принят и позволяет организовать обратную связь.

Простейшая возможность реализовать эту обратную связь состоит в том, чтобы поставить в соответствие вес эксперта (т. е. результат его профессиональной деятельности) и его материальное благополучие.

Экспертизы, о которых до сих пор шла речь, должны были дать один из двух ответов «да» или «нет». Разумеется, экспертизы такого рода возникают только в са-

мых простых случаях, и этим определяется область их применения *.

Следующий по сложности вопрос — это проблема ранжировки. Рассмотрим его на примере функционирования того же коллектива дегустаторов, поскольку практика обработки информации, которую они формируют, имеет наиболее старые традиции, а сам пример прост для пояснения.

Предположим, что имеется N сортов вина. Мы должны их расположить в порядке убывающего качества. Другими словами, мы каждому типу вина должны отвести определенное место в определенной последовательности **: 1, 2, 3 ...

Задача о ранжировании является чрезвычайно распространенной. К этому типу задач относятся все задачи, связанные с относительной оценкой каких-либо предметов или явлений, таких, например, как оценка популярности артиста, популярности произведений искусства и т. д. Задачи ранжирования очень важны в конкретных социальных исследованиях, и их правильное решение может иметь важные практические (и экономические) следствия. Пусть, например, решается проблема повышения эффективности работы какого-либо производственного коллектива. Производственники и социологи, проводящие обследования, называют некоторые количества факторов, некоторое количество мероприятий, которые приведут к желаемому результату. Проводить эти мероприятия в жизнь следует, видимо, в порядке их значимости. Естественно, что сначала начнут проводить то мероприятие, от которого ждут максимального эффекта. Затем, если его окажется недостаточно, реализуют следующее по значимости и т. д. Значит, прежде чем приступить к их реализации, необходимо изучаемые мероприятия ранжировать. Подобных примеров можно привести еще много.

* В последнее время делаются попытки дальнейшего усложнения подобных процедур. Они связаны со стремлением учесть рыночный спрос и представляют собой элементы адаптации «коллективного» вкуса дегустаторов к меняющейся ситуации, к изменению вкуса (или методы) потребителей.

** Может быть рассмотрена и более сложная задача, которая состоит в том, что мы должны каждому из сортов вина приписать определенный вес или стоимость относительно некоторого масштаба.

Вернемся снова к нашему примеру с коллективом дегустаторов. В результате опроса экспертов мы получим некоторую таблицу (матрицу), в котором M строк и N столбцов, где M — количество дегустаторов, N — количество разных сортов вин. Пусть эта матрица имеет вид, изображенный на таблице (здесь $N = 5$, $M = 7$). Число, стоящее на пересечении горизонтали номера i и вертикали номера j , означает балл, которым дегустатор номера j оценивает вино номера i .

$i \backslash j$	1	2	3	4	5
1	1	3	4	5	2
2	1	4	3	5	2
3	1	4	5	3	2
4	1	3	4	5	2
5	1	4	5	3	2
6	1	2	4	5	3
7	1	3	4	5	2
	7	23	29	31	15

Простейший способ обработки данных опроса состоит в том, чтобы просто сложить число баллов, как это сделано в таблице. Тогда вино № 4 получит максимальный балл 31, вино № 3 — 29, № 2 — 23, № 5 — 15. Вино наихудшего качества будет вино № 1, оно получило только 7 баллов.

Если два сорта вина получили одинаковые количества баллов, то либо им приписывается одинаковое качество, либо устраивается второй тур экспертизы.

Существуют и другие способы статистической обработки. За всеми подробностями мы отсылаем читателя к специальным руководствам по статистической обработке результатов эксперимента.

Рассмотрим еще один класс задач — задач на выявление основных признаков (параметров), определяющих течение какого-либо процесса. Собственно говоря, эта задача может быть рассмотрена как частный случай задачи о ранжировании. Однако в ней есть известная специфика, на которой следовало бы остановиться.

Предположим, что мы приступаем к исследованию некоторого процесса, происходящего в обществе. Мы зна-

ем, конечно, что в основе любого знания лежит опыт. Но прежде чем ставить собственные эксперименты, целесообразно использовать ту информацию, которая уже есть в распоряжении квалифицированных людей. Один из путей использования этой информации следующий.

Мы рассматриваем систему (объект) * сначала в ка-

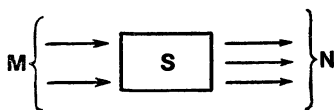


Рис. 1.

честве «черного ящика» (см. рис. 1), т. е. мы о нем пока ничего не знаем с точки зрения задачи исследования.

На объекте могут сказываться воздействия разного типа. Эти воздействия принадлежат к некоторому классу, который мы назовем множеством M . На воздействия система реагирует определенным образом. Реакции системы принадлежат также к некоторому классу, который мы назовем множеством N .

В результате изучения мы хотим научиться управлять этим процессом. Следовательно, главная задача, которая стоит перед исследователем, это найти связь между элементами этих множеств, т. е. научиться предсказывать реакции на воздействия, которыми мы можем в той или иной степени управлять. Но эта задача осложняется тем обстоятельством, что характер реакции зависит не только от воздействия, но и от того состояния, в котором находится объект. В самом деле, говоря, например, о социальном коллективе, стремясь оценить его поведение, надо принять во внимание много разных обстоятельств: возрастной состав, уровень квалификации, предыдущие воздействия, историю его формирования и т. д. Далее надо считаться с тем, что воздействия, которые мы можем оказать на коллектив, в свою очередь, будут изменять состояние объекта и т. д. Значит, прежде чем приступить к конструированию модели **,

* В данном примере объект — это люди, работающие в исследуемом промышленном районе.

** В данном случае под моделью мы понимаем совокупность связей вход — выход, т. е. воздействий и следствий в зависимости от состояния и изменения состояния вследствие воздействий.

мы должны условиться в том, какими параметрами можно охарактеризовать состояние объекта (вспомним гипотезу о конечной размерности фазового пространства).

Вот для решений этой задачи мы также можем привлечь метод экспертиз: именно лица, ранее занимавшиеся изучением объекта или имевшие к нему отношение, могут дать первоначальную информацию о характере основных определяющих параметрах объекта исследования.

Поставленная задача, учет которой необходим для успеха исследования, имеет одну особенность. Нам недостаточно перечислить параметры, определяющие состояния объекта, нам надо отобрать относительно небольшое число таких параметров. Если основных параметров окажется очень много, то модель будет чересчур сложной для эффективного исследования.

Наиболее простой способ выбора существенных параметров состоит в том, чтобы ранжировать эти параметры, приписав им определенные веса.

В ряде случаев такой подход оказывается вполне удовлетворительным. Например, в том случае, когда веса параметров существенно отличаются друг от друга.

Описанный прием не является единственно возможным. В литературе по обработке экспериментальных данных и математической теории распознавания этот вопрос подвергался подробному анализу.

Теперь, когда параметры, описывающие состояние объекта выбраны, исследователь может приступить к направленному поиску искомых зависимостей. При этом, конечно, могут вноситься коррективы в уже установленные факты, и может оказаться необходимым снова прибегнуть к услугам экспертов и т. д.

Этот направленный поиск искомых зависимостей, которые нам необходимы для управления процессом, также может проводиться с помощью экспертов, поскольку далеко не всегда удается поставить необходимый эксперимент. Но от лиц, организующих подобные экспертизы, требуется уже гораздо большее, нежели при простых экспертизах, описанием которых мы начали этот параграф. Эти лица должны уметь задавать необходимые вопросы.

Задачам о ранжировании присуща одна особенность, назовем ее дуальностью, или двойственностью. Продемонстрируем ее смысл на одном примере. Предположим, что мы решаем задачу сравнительной оценки музыкальных произведений различного жанра. Для этого мы собрали группу экспертов, состоящую, например, из 100 человек. Мы выяснили, что наибольшей популярностью пользуются народные песни, а наименее популярны симфонии. Но решив эту задачу, мы одновременно решили и еще одну не менее важную задачу. Предположим, что выборка экспертов достаточно представительна, мы можем теперь делать заключение о размере групп населения, которые предпочитают музыку того или другого жанра. Такая информация может быть использована для различных целей. Она полезна для составления программы радиовещания. Она может быть использована для организации направленного обучения и т. д.

Простейшие экспертизы, примеры которых были здесь продемонстрированы, могут рассматриваться как некоторый, многократно повторенный эксперимент, с той особенностью, что роль прибора здесь играет человек-эксперт. Несмотря на то, что эта «особенность экспериментального анализа» весьма существенна и ставит целый ряд специальных и трудных вопросов, она не мешает использовать весь тот опыт, который накоплен экспериментаторами (физиками, химиками, технологами) в области математических методов обработки экспериментов*.

Важнейшая проблема, которая встает перед лицами, организующими экспертизы, это получение согласованных мнений экспертов. В самом деле, если мнения экспертов по одному и тому же вопросу качественно различны, то можно ли на них полагаться? В постановке этой проблемы содержатся два разных вопроса.

* В задачу этой книги не входит подробное изложение технологии обработки экспериментальных данных. На эту тему написано много серьезных книг. В настоящее время разработана обширная теория обработки результатов и планирования эксперимента. Она основывается на методах последовательного анализа и проверки статистических гипотез — важнейшей области математической статистики.

Во-первых, каким образом убедиться, что мнения экспертов согласованы или нет. И вообще, что значит мнения согласованы, какова мера этого понятия?

Во-вторых, как надо организовывать процедуры экспертиз, чтобы гарантировать максимальную согласованность экспертов (или хотя бы не очень большую рас- согласованность)?

Первый вопрос относится к математическим спосо- бам обработки информации. Однако отсюда не следует, что его решение может быть единственно и вполне стро- го получено математическими методами. Вернемся снова к примеру о дегустации вин и с этой точки зрения рас- смотрим некоторые особенности таблицы (см. стр. 98). Первый сорт вина все дегустаторы сочли самым пло- хим. Здесь, по-видимому, можно признать, что мнения экспертов вполне согласованы.

Неплохо согласованы мнения экспертов и по пятому сорту вина, только один из экспертов отклонился от общей оценки «два» и то ненамного.

В качестве меры согласованности можно принять различные величины — выбор соответствующих харак- теристик — еще одна гипотеза. Например, можно при- нять в качестве подобной оценки величину среднего квадратичного отклонения σ . Тогда качество экспертизы сорта № 1 будет самым высоким: $\sigma_1 = 0$. На втором месте будет результат экспертизы сорта № 5 — $\sigma_5 = 0,34$... Оценки качества экспертизы № 3 и 4 почти одинаковы: $\sigma_3 = 0,7$, $\sigma_4 = 0,66$. Наибольшее расхожде- ние имеют эксперты в отношении сорта № 2. Здесь $\sigma_2 = 0,9$.

К оценке согласованности экспертов можно подхо- дить и с совершенно другой точки зрения.

Условимся соединять точку A с точкой B дугой, если определенный процент экспертов δ утверждают, что сорт A хуже сорта B , и ставить в этом случае на дуге стрел- ку в направлении от A к B . Если проделать подобную процедуру с результатами экспертизы, которые даны в таблице (см. стр. 98), и принять $\delta = 25\%$, то мы полу- чим график, изображенный на рис. 2.

На этом графике появились замкнутые циклы $2 - 3 - 4 - 2$ и $2 - 4 - 2$. Присутствие замкнутых цик- лов на графике показывает существование несогласо- ванности и характер этой несогласованности.

Заметим, что если бы оценку в 25% мы заменили оценкой 30%, то замкнутые циклы не появились бы. Значит, меру несогласованности мы можем мерить тем минимальным значением δ , который дает хотя бы один замкнутый цикл.

Таким образом, вместо величины σ в качестве меры рассогласования мы можем принять величину δ . Далее мы можем принять (это и есть содержание гипотезы об оценке), что экспертиза дает удовлетворительный (достаточно достоверный) результат, если, например, $\sigma \leq 0,9$ или $\delta \leq 25\%$.

Если критерий согласованности не выполнен, то необходимы повторные экспертизы либо с расширением

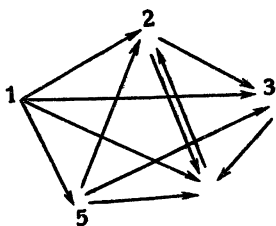


Рис. 2.

числа участников, либо с представлением экспертам дополнительной информации.

Выбрав ту или другую гипотезу оценки, мы должны принять определенные организационные меры, чтобы обеспечить достаточную достоверность результатов экспертиз. Эти меры сводятся к специальным требованиям, которые предъявляются к экспертам и к процедурам проведения экспертиз. Соответствующие правила и процедуры, конечно, во многом зависят от содержания конкретных экспертиз, но тем не менее может быть высказан целый ряд достаточно общих соображений.

В течение последних 15—20 лет метод экспертиз широко использовался в США для решения разнообразных политических, экономических, социальных и военных проблем. Специалистами США разработан целый ряд подходов. Наибольшую известность получил метод, названный «метод Дельфы», по имени древнегреческого города Дельфы, где, по преданию, находился известный дельфийский оракул.

Метод Дельфы был разработан сотрудниками Ренд-корпорейшн Хелмером и Гордоном для составления различных прогнозов, в частности для оценки вероятности свершения того или другого события. Заметим, что проблема оценки этой вероятности ничем существенно не отличается от тех задач, о которых мы только что говорили. Поэтому подобные экспертизы не требуют создания каких-либо новых методов обработки информации, а нуждаются лишь в достаточно совершенном инструменте, т. е. в достаточно хорошо отработанной процедуре работы с экспертами.

Метод Дельфы содержит серию рекомендаций, часть из которых вполне тривиальна. Например:

1. Экспертами могут быть только признанные специалисты в соответствующей области.

2. Так как каждый эксперт может ошибаться (он представляет собой тоже «черный ящик»), то только мнения достаточно большого числа экспертов могут удовлетворительно охарактеризовать исследуемый вопрос.

3. Вопросы, которые ставятся экспертам, должны быть относительно просты и поставлены настолько четко, чтобы исключить возможность неоднозначного толкования.

4. Для руководства экспертизами в составе планирующих органов должны быть созданы постоянно действующие группы организаторов экспертиз, ибо только хорошо продуманная система вопросов (для разработки которой необходимы квалифицированные специалисты) может оказаться успешной в более или менее сложной экспертизе.

Однако целый ряд положений метода Дельфы представляются новыми и оригинальным, хотя иногда и дискуссионными. Так, например, метод Дельфы совершенно исключает необходимость открытых дискуссий экспертов. Более того, он запрещает подобные дискуссии. Авторы этого метода считают, что при этом они практически исключают роль психологических, эмоциональных факторов, которые неизбежно проявляются во время открытой дискуссии.

Среди процедур метода Дельфы важное место занимают процедуры получения и анализа экспертами дополнительной информации, в частности, информации

(и обоснования) мнений других экспертов. Информация, в частности, может запрашиваться экспертами. Большое внимание уделяется повторным экспериментам, дополнительным вопросам и т. д. При этом особенно подчеркивается, что лица, организующие экспертизу, должны проявлять большой такт, чтобы в максимальной степени исключить влияние организаторов опроса на мнения экспертов.

Авторы метода Дельфы подчеркивают важность оценки согласованности и предлагают оценивать ее диапазоном квартилей. Этим термином называется интервал на числовой оси, куда попадают значения случайной величины, вероятность которых заключена между $1/4$ и $3/4$. Так как законы распределения всегда считаются нормальными, то задание квартиля эквивалентно заданию σ .

Каких-либо аргументов в пользу подобного способа оценивать согласованность обнаружить не удалось (вероятно, их просто и нет, так как способ оценки согласованности всегда есть гипотеза), но тем не менее во всех инструкциях подчеркивается важность выбора предложенного показателя согласованности.

Величина квартиля задается заранее — это априорное требование к качеству экспертизы. Если после первого тура опросов величина квартиля оказывается большей, чем априорно заданная, то проводится второй тур опроса. Однако перед этим туром эксперты обязаны провести дополнительное изучение проблемы и имеют право запросить любую доступную организаторам информацию.

Естественно, что после дополнительного изучения вопроса и в том числе изучения несовпадающих суждений других экспертов мнения экспертов сближаются. Однако поскольку экспертам предлагалась проблема, содержащая неопределенность в своей постановке (в противном случае не было бы необходимости в экспертизах), то величина квартиля не могла сделаться равной нулю — мнения экспертов практически никогда не могут быть тождественными. Если при достаточно большом числе повторных опросов величина квартиля оказывается больше допустимой, то проблема должна считаться неразрешимой при сегодняшнем уровне наших знаний.

Метод Дельфы был разработан в Соединенных Штатах еще в середине 50-х годов. И до сих пор он продолжает изучаться и совершенствоваться. С методом Дельфы производились многочисленные эксперименты, причем экспертам предлагались главным образом различные проблемы военного характера. Может быть, именно поэтому результаты экспериментов долгое время считались секретными. Их публикация началась только с 1963 года.

Наибольший интерес представляет попытка использовать метод Дельфы для разного рода прогнозов. Особую известность здесь получил прогноз вероятного состояния мира на 1984, 2000 и 2100 годы.

Мы не будем описывать здесь всех деталей и результатов прогноза, остановимся только на главном. В первом туре опроса эксперты должны были перечислить основные события, изобретения и открытия, возможные в исследуемый период.

Во втором туре опроса эксперты должны были назвать год, до которого каждое из указанных событий должно было произойти с вероятностью, не меньшей 50%.

Далее следовала серия вопросов с целью создания нужной согласованности, причем те эксперты, которые были не согласны с мнением большинства, должны были изложить свою аргументацию (анонимно, дискуссии не допускались). В качестве оценки согласованности принимали интервал квартилей.

Приведем некоторые результаты этого эксперимента, относящиеся к 1984 году.

а) Население земного шара достигнет 4,3 млрд. человек.

б) С вероятностью 80—85% войны не будет.

в) Опреснение воды найдет применение в сельском хозяйстве.

г) Будет создана постоянная база на Луне.

д) Будет осуществлен эффективный контроль над рождаемостью и произойдет дальнейшее снижение темпов рождаемости и т. д.

Значительное место занимали также перспективы оценки научно-технических достижений. Приведем некоторые из них.

а) Вооруженные силы на Луне: математическое ожидание — никогда. Нижний квартиль — 1999 год.

б) Управление тяготением: математическое ожидание 2063 год. Нижний квартиль — 2030 год. Верхний квартиль — никогда.

в) Управляемая термоядерная реакция — математическое ожидание 1986 год, диапазон квартилей 1980—2000 годы.

г) Ограниченный контроль над погодой (для отдельных районов) математическое ожидание 1990 год, диапазон квартилей — 1987—2000 годы.

Проблемы обработки и организации экспертиз сейчас занимают значительное место в исследовательской деятельности специалистов разных стран. Быстро совершенствуется аппарат и растет понимание места и возможности подобных способов обработки информации. Можно думать, что простейшие экспертизы описанного типа в ближайшие годы найдут значительное применение для решения разнообразных общественных проблем. Я думаю, что главная роль экспертиз описанного типа — это решение конкретных задач, возникающих в повседневной практике хозяйственных организмов. Опыты прогнозирования, о которых шла речь, разумеется, любопытны, но трудно быть уверенными в их достоверности.

Особенно осторожно надо относиться к использованию методов простых экспертиз для прогнозов научно-технического прогресса. Чтобы ответ эксперта был достаточно надежен, эксперт действительно должен быть специалистом в тех задачах, которые ему предлагается решать. Грубо говоря, ему нужен прецедент. Вот почему проблема дегустации вин и оценка развития какой-нибудь новой области знания — вещи принципиально разные.

Известно очень много случаев принципиальных ошибок в оценке возможностей эволюции наук и техники. Одним из таких широко известных примеров было публичное заявление в 1945 году одного из крупнейших американских специалистов Вановера Буша о том, что создание ракеты с дальностью полета 3000 миль будет абсолютно невозможным в течение многих и многих лет.

Хорошо известны и примеры неоправданного оптимизма. В начале и середине 50-х годов многие выдающиеся специалисты-ядерщики утверждали, что управляемая термоядерная реакция — это дело ближайших лет. Сегодня не менее авторитетные специалисты утверждают, что проблема управления термоядерной реакцией не будет решена в XX веке.

В методах простых экспертиз еще есть один очень трудный вопрос — это проблема согласования мнений экспертов.

В основе метода экспертных оценок лежит, казалось бы, очевидная гипотеза: коллективное мнение достовернее индивидуального. Однако на деле эта гипотеза не столь уже очевидна. Точнее — далеко не всегда она имеет смысл. Конечно, очень часто так оно и есть — коллективному мнению дегустаторов, наверное, следует больше доверять, чем вкусу одного из них. Но сколько можно привести примеров, где эта гипотеза неверна в принципе! Вряд ли решения Ганнибала, Суворова или Наполеона могли бы быть улучшены, если бы их заменить решениями, сформированными по всем правилам метода Дельфы.

Еще более наглядные примеры нам дает история естествознания. Сожженный Джордано Бруно, отвергнутый Галилей — разве этого мало, чтобы с большой осторожностью отнестись к самым исходным принципам простых экспертиз?

Этими примерами мы не хотели бы вызвать у читателей негативного отношения к методу экспертиз. Надо просто знать, где и как его можно использовать. Надо, например, считаться с тем, что типичным является как раз такой случай, когда мнения экспертов расходятся. Это значит лишь только одно — существует неопределенность. И процедура принятия решения должна учитывать этот факт.

• Одновременно необходимо развивать и совершенствовать методы экспертиз, искать новые подходы.

В этой связи представляется весьма перспективной идея использования методов тестовой диагностики для обработки экспертиз. Эти методы развиваются проф. Ю. И. Журавлевым и его учениками. Очень схематично порядок организации обработки экспертных

оценок по методу Ю. И. Журавлева сводится к выполнению следующих этапов.

1. Составление «таблицы обучения», т. е. описания с помощью экспертов, разумеется, известных «похожих» или «близких» ситуаций.

2. Из заданного множества (типа) алгоритмов обработки информации выбирается тот, который на таблице обучения делает наименьшее число ошибок.

3. Использование выбранного алгоритма для решения новых задач обработки мнений экспертов (например, задач ранжирования).

Существенно новым элементом в схеме тестовой диагностики по сравнению с традиционными методами обработки экспертиз является принцип обучения, если угодно, предварительной настройки метода анализа на рассматриваемый класс задач.

Одновременно методы Ю. И. Журавлева принципиально могут быть использованы лишь в тех ситуациях, где в той или иной степени присутствуют прецедент.

То, о чем было уже рассказано, ни в коей мере не исчерпывает того, что за последние 15 лет было сделано в теории экспертиз.

В последние годы были разработаны подходы и принципы, позволяющие проводить значительно более сложные экспертизы. О некоторых из них будет идти речь ниже.

Комбинированные экспертизы. Идеи Г. С. Поспелова

До сих пор мы рассматривали процедуры простых экспертиз, которые имели своей целью получение ответа на один какой-либо вопрос: истинности или ложности гипотезы, ранжировки и т. д. Мы уже заметили, что все экспертизы, о которых шла речь, могут рассматриваться как частный случай обработки экспериментальных данных — результатов некоторого многократно повторенного эксперимента. Но результаты экспериментов имеет смысл обрабатывать, чтобы получить окончательный вывод, если основная масса экспериментов дает ответы, близкие по содержанию. Но если мы измеряем характеристику какого-либо процесса и в каждом новом опыте получаем результат, совсем не похожий на предыдущие,

если в результате такого измерения экспериментатор получает набор различных чисел — от самых больших отрицательных до самых больших положительных, то вряд ли он будет заниматься их обработкой. Вероятно, он скажет, что прибор не исправен и доверять результатам экспериментов нельзя.

С подобной ситуацией мы можем сталкиваться и в случае экспертиз. Не случайно главное, что требуется от эксперта, — это его компетентность. Он должен быть знатоком вопроса. С другой стороны, это значит, что и вопрос не должен быть очень сложным. Экспертизы имеют смысл лишь в тех случаях, когда есть знатоки изучаемого вопроса, когда есть эксперты. Но жизнь зачастую ставит перед человечеством вопросы, которые не имели прецедента, вопросы, в которых знатоков нет. Как же быть в подобных случаях? Может быть, метод экспертиз в таких ситуациях уже совсем не пригоден?

Дело, однако, обстоит далеко не так безнадежно, как это может показаться с первого раза.

Основная идея, позволяющая расширить область применения экспертиз, — это сведение сложной экспертизы к последовательности простых.

Сегодня уже существует много способов, позволяющих расчленить сложный вопрос на целый ряд более простых, расчленить с помощью экспертов или эксперта (это процедура неформальная). А затем с помощью других экспертов провести изучение более простых вопросов — провести простейшие экспертизы, после чего, обработав соответствующим образом результаты простейших экспертиз, получить достаточно обоснованное суждение об исходном вопросе.

По-видимому, впервые четкая идея о необходимости расчленения проблемы и представления процедуры сложной экспертизы как некоторой комбинации простейших экспертиз была высказана (во всяком случае у нас в стране) Г. С. Поспеловым.

В 1965—1966 годах в ВЦ АН СССР интенсивно обсуждался вопрос: можно ли найти принципы разумного (рационального) распределения бюджета на научные исследования поискового характера, возможно ли здесь избежать волюнтаризма и провести эту важнейшую область функционирования социалистического об-

щества в соответствии с его общими плановыми началами?

Стремительное расширение фронта научных исследований и увеличение доли национального дохода, которая выделяется на науку, делает очень важной обсуждаемую проблему. Естественное противоречие между эгоцентризмом ученого, которому его предмет исследования представляется самым важным направлением научной деятельности, и интересами общества, которое может выделить на развитие науки лишь ограниченные ресурсы, может быть разрешено только с привлечением коллективного разума и опыта.

Оценить количественно результаты (а следовательно, и перспективы) научно-исследовательских работ поискового характера чрезвычайно трудно. Вряд ли для подобных оценок возможна сколь-нибудь строгая формализация. Следовательно, здесь мы неизбежно приходим к необходимости применения экспертных процедур.

Вот мы и остановимся на рассмотрении одной частной проблемы — планировании средств на фундаментальные исследования в естественных науках. Мы рассмотрим один из возможных подходов к решению этой задачи. Его схема была предложена Г. С. Поспеловым в 1966 году.

Перечислить основные направления фундаментальных исследований в естественных науках относительно довольно просто. Поэтому может показаться, что рассматриваемая задача — это обычная задача о ранжировании. Так оно, собственно говоря, и есть. Если мы каждому из направлений фундаментальных исследований сможем приписать некоторый вес, а сумма общих расходов на фундаментальные исследования считается известной, то распределение бюджета сведется к простой арифметической акции — распределению заданного числа рублей в заданных отношениях.

Однако на самом деле все обстоит куда сложнее. Эта проблема содержит целый ряд трудностей принципиального характера, не позволяющих непосредственно использовать методику простых экспертиз. Прежде всего, может ли найтись серьезный ученый, который возьмет на себя смелость сравнивать значение, например, исследования устойчивости популяций в условиях повышенной радиации и проблему классификации элементарных

частиц? Даже сама постановка вопроса кажется неправомерной, ибо здесь абстрактная постановка вопроса: «что важнее?» — просто не имеет смысла. Чтобы вопрос обрел смысл, надо сказать еще: для чего важнее? Значит, для научной постановки обсуждаемой проблемы должны быть выставлены некоторые общие цели, которые ставятся перед научными исследованиями, должна быть сформулирована некоторая программа.

Процедура формирования такой программы, в свою очередь, представляется проблемой сложной, допускающей к тому же неоднозначное толкование. Этими вопросами мы будем заниматься ниже, главным образом в последней главе, посвященной общим вопросам программного метода. А пока предположим, что такая программа научно-технических достижений, некоторый перечень вполне конкретных целей нам задан. Эти цели могут быть разного содержания. Некоторые могут носить чисто научный характер. Например, к 2000 году должна быть произведена высадка на Марс, а в Курило-Камчатской впадине создана подводная лаборатория. Другие могут носить экономический характер, например, создание термоядерных электростанций или полная механизация тех или других технологических процессов.

Подчеркнем еще раз — здесь мы оставляем в стороне процесс выработки подобной программы. По существу, это также некоторая процедура, которая связывает общие политические цели страны с развитием ее научного потенциала; она также должна представлять объект специального изучения. В этой главе, которая преследует ограниченные цели ознакомления с идеями и техникой эвристического анализа, мы будем считать перечень научных целей заданным.

Обозначим этот перечень через α . α — это некоторое количество положительных величин — цифр $\alpha^{(1)}$, $\alpha^{(2)}$, $\alpha^{(3)}$, ..., $\alpha^{(n)}$, выражающих веса — относительное значение различных пунктов программы *.

* Таким образом, решение задачи распределения бюджета на фундаментальные исследования предполагает, что решена не просто задача составления перечня целей, но и задача их ранжирования, т. е., по существу, решение задачи такого же типа, как и рассматриваемая в этом параграфе.

Согласно методике Г. С. Поспелова, мы должны эти величины как-то нормировать. Будем, например, считать, что

$$\alpha^{(1)} + \alpha^{(2)} + \dots + \alpha^{(n_\alpha)} = 100.$$

Следующий и основной элемент методики Г. С. Поспелова состоит в последовательном расчленении проблем. В данной конкретной проблеме он предлагает следующую схему. Реализация программы α требует реализации некоторой программы опытно-конструкторских работ (ОКР) — эту программу мы будем называть программой (β). Реализация программы (β), в свою очередь, требует реализации некоторой программы прикладных исследований, назовем ее программой (γ). Наконец, возможность реализации некоторой программы прикладных исследований требует реализации программы фундаментальных исследований — программы (δ) *.

Итак, если программа (α) задана, то первый этап реализации методики Г. С. Поспелова состоит в назначении перечня опытно-конструкторских разработок. Группа экспертов назначает некоторый перечень $\beta^{(1)}, \beta^{(2)}, \beta^{(3)}, \dots, \beta^{(n_\beta)}$ опытно-конструкторских разработок, призванных обеспечить достижение целей. Однако теперь требовать от экспертов задания весов (компонент вектора β) вряд ли целесообразно, так как, по-видимому, невозможно непосредственно сопоставить значения разработки двигательной установки для космического корабля, отправляющегося на Марс, с разработкой универсальной радарной установки или с созданием следящих устройств, позволяющих осуществить сплошную механизацию тех или иных производственных процессов. Кроме того, целый ряд опытно-конструкторских разработок будет полезен одновременно для достижения нескольких научных целей. Поэтому перед экспертом

* Эта схема опирается на существующее в нашей стране разделение обязанностей между различными ведомствами. Опытные-конструкторские работы выполняются конструкторскими бюро и проектными институтами. Прикладные исследования проводятся отраслевыми научно-исследовательскими институтами, а фундаментальные исследования сосредоточены главным образом в институтах Академии наук СССР и академиях наук союзных республик. Следовательно, обсуждаемая задача, по существу, относится к проблеме формирования бюджетов Академии наук СССР и академий союзных республик.

ставится относительно простая задача построения таблицы-матрицы $A_{\beta}^{(\beta)}$ значимости опытно-конструкторских работ. Элемент $a_{ij}^{(\beta)}$ — это положительное число, показывающее относительное значение конструкторской разработки номера i для научно-технической цели номера j . Эти величины следует нормировать определенным образом. Например, можно снова принять

$$a_{i1}^{(\beta)} + a_{i2}^{(\beta)} + \dots + a_{in\alpha}^{(\beta)} = 100.$$

	$\alpha^{(1)}$	$\alpha^{(2)}$	$\alpha^{(3)}$		$\alpha^{(n\alpha)}$
$\beta^{(1)}$	$\begin{matrix} (\beta) \\ a_{11} \end{matrix}$	$\begin{matrix} (\beta) \\ a_{12} \end{matrix}$	$\begin{matrix} (\beta) \\ a_{13} \end{matrix}$		$\begin{matrix} (\beta) \\ a_{1n\alpha} \end{matrix}$
$\beta^{(2)}$	$\begin{matrix} (\beta) \\ a_{21} \end{matrix}$	$\begin{matrix} (\beta) \\ a_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} (\beta) \\ a_{23} \end{matrix}$		$\begin{matrix} (\beta) \\ a_{2n\alpha} \end{matrix}$
⋮					
$\beta^{(p)}$	$\begin{matrix} (\beta) \\ a_{p1} \end{matrix}$	$\begin{matrix} (\beta) \\ a_{p2} \end{matrix}$	$\begin{matrix} (\beta) \\ a_{p3} \end{matrix}$		$\begin{matrix} (\beta) \\ a_{pn\alpha} \end{matrix}$

Такая форма записи показывает, что каждая опытно-конструкторская работа существенна — она полезна для достижения хотя бы одной из целей списка α .

Предположим, например, что работа $\beta^{(1)}$ необходима для цели $\alpha^{(1)}$ и только для нее, тогда

$$a_{11}^{(\beta)} = 100; \quad a_{i1}^{(\beta)} = 0; \quad \text{для всех } i \neq 1.$$

Пусть работа $\beta^{(2)}$ нужна для цели $\alpha^{(2)}$ и только для нее. Тогда

$$a_{21}^{(\beta)} = 0; \quad a_{22}^{(\beta)} = 100; \quad a_{23}^{(\beta)} = 0 \quad \text{и т. д.}$$

Очевидно, что относительная значимость опытно-конструкторских разработок $\beta^{(1)}$ и $\beta^{(2)}$ будет в данном

случае определяться значениями работ $\alpha^{(1)}$ и $\alpha^{(2)}$. Вот почему в методике Г. С. Поспелова предполагается приписывать веса опытно-конструкторским работам по следующему правилу:

$$\beta^{(i)} = a_{i1}^{(\beta)} \alpha^{(1)} + a_{i2}^{(\beta)} \alpha^{(2)} + \dots + a_{in_\alpha}^{(\beta)} \alpha^{(n_\alpha)}.$$

Заметим, что решение задачи о назначении весов (рангов) опытно-конструкторских работ потребовало решения (правда, многократного для всех n_β работ) задачи о ранжировании, технология которой, как мы знаем из предыдущего параграфа, хорошо разработана.

Следующий шаг излагаемой методики состоит в том, чтобы определить перечень $\gamma = \{\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}, \dots, \gamma^{(n_\gamma)}\}$ работ прикладного характера.

Задача группы экспертов теперь состоит в указании этого перечня и составлении матрицы значимости A^γ прикладных исследований*.

Коль скоро матрица A^γ задана, мы можем, рассуждая аналогично предыдущему, определить относительное значение (вес каждой из работ $\gamma^{(i)}$):

$$\gamma^{(i)} = a_{i1}^{(\gamma)} \beta^{(1)} + a_{i2}^{(\gamma)} \beta^{(2)} + \dots + a_{in_\beta}^{(\gamma)} \beta^{(n_\beta)}.$$

Поскольку веса $\beta^{(i)}$ нами уже вычислены, то расчет весов (относительных значений) исследовательских работ прикладного характера сводится к простой арифметической процедуре.

После этого нам остается сделать один шаг. Следующая группа экспертов перечисляет возможные направления фундаментальных исследований, например $\delta^{(1)}$ — численные методы в теории турбулентных течений, $\delta^{(2)}$ — условия стабильности популяций в условиях повышенной радиации, $\delta^{(3)}$ — классификация элементарных частиц и т. д.

Далее, эта же группа экспертов (может быть, расширенная за счет привлечения специалистов из области прикладных исследований) составляет матрицу A^δ — матрицу значимости соответствующих фундаментальных исследований, необходимых для успешного завершения

* Группы экспертов, составляющие матрицы A^β и A^γ , в общем случае состоят из разных лиц, поскольку для решения указанных вопросов требуется различная квалификация и различная направленность научных интересов.

соответствующих прикладных исследований (элементы матрицы также нормировались условием

$$a_{i1}^{(i)} + a_{i2}^{(i)} + \dots + a_{in}^{(i)} = 100).$$

В результате мы получаем возможность определить веса фундаментальных исследований:

$$\delta^{(i)} = a_{i1}^{(i)}\gamma^{(1)} + a_{i2}^{(i)}\gamma^{(2)} + \dots + a_{in}^{(i)}\gamma^{(n)}.$$

Таким образом, если веса работ $\alpha^{(i)}$ нам известны, то, проводя последовательно простые вычисления, мы можем найти веса $\delta^{(i)}$. Другими словами, мы можем построить отображение множества научно-технических целей на множество фундаментальных исследований.

В результате описанной процедуры мы ранжируем значение отдельных фундаментальных исследований для реализации желаемой картины научно-технического прогресса. Теперь распределителю бюджета уже более или менее легко разделить средства, выделенные на фундаментальные исследования, он должен распределить их пропорционально весам компонент вектора δ .

Итак, препарировав исходную задачу, мы свели ее к некоторой цепочке простых экспертиз, решавших задачу о ранжировании — ранжирование списка фундаментальных направлений исследования свелось к простым арифметическим операциям.

Изложенная методика Г. С. Поспелова применима к анализу достаточно широкого класса сложных экспертиз типа ранжирования. В настоящее время она стала уже весьма популярной*.

Процедура распределения бюджета на фундаментальные исследования основывалась на предположении, что задан некоторый перечень научных и технических результатов α , которых мы хотим однажды достигнуть. Но этот перечень, как уже говорилось, является некоторым следствием общих целей (политических, экономических, социальных и т. д.) общества и страны. Это — общие,

* Примерно в те же годы, что и Г. С. Поспеловым (или несколько позже), М. И. Ситроном в США была разработана методика количественной оценки полезности отдельных научно-технических направлений для выполнения военных задач. Эта методика получила название КУЕСТ. Многие рассуждения Ситрона близки к тем, которые здесь приводятся.

генеральные цели. Если теперь эти цели перечислены, то вступает в действие механизм экспертных оценок.

Перечень научных целей α оказывается при этом производным, и первая из задач, которую должны решать эксперты, — это указать по возможности полный список научных и технических результатов, которые необходимы для реализации генеральных целей.

Одним словом, перед группой экспертов стоит та же задача — построить матрицу A^α , определяющую значение каждой из компонент вектора α в достижении генеральных целей. Следовательно, если генеральным целям (обозначим их через $w^{(i)}$) мы можем приписать веса, аналогичные тому, как мы ранее делали относительно компонент вектора α , то мы получим возможность получить веса компонент $\alpha^{(i)}$ по формуле

$$\alpha^{(i)} = a_{i1}^{(\alpha)} w^{(1)} + a_{i2}^{(\alpha)} w^{(2)} + \dots + a_{in_w}^{(\alpha)} w^{(n_w)}.$$

Поскольку в предыдущем пункте мы научились рассчитывать веса элементов $\delta^{(i)}$ по $\alpha^{(i)}$, то теперь мы можем рассчитать непосредственную связь между этими величинами и весами $w^{(i)}$.

Таким образом, кажется, что мы имеем возможность использовать методику, развитую в предыдущем пункте, для того, чтобы связать научно-техническую программу с генеральной программой.

Реализуя подобную процедуру, мы, однако, должны отдавать отчет, что никакой перечень научных целей в области естественных наук и технических проектов не может быть достаточным для обеспечения генеральных целей. Ее обеспечение требует решения целого ряда социальных проблем и, следовательно, проведения большого числа исследований в области социальных наук. Поэтому обсуждаемая система планирования должна охватить не только область естественных наук.

Как построить процедуры распределения ассигнований для развития социальных наук? В настоящее время еще не выдвинуто никаких общих принципов, позволяющих осуществлять процедуры, аналогичные тем, которые предлагаются для распределения бюджета на фундаментальные исследования в области естественных наук. Одна из больших трудностей, которую могут преодолеть только специалисты в области гуманитарных наук, — это

расчленив последовательность решаемых задач, связывающих общегосударственные цели с фундаментальными исследованиями в социальных науках.

Эта задача представляется очень важной. До сих пор в экономических моделях мы рассматриваем социальные факторы как некоторые данные характеристики системы и не умеем связывать производственные модели с социальными следствиями производственной деятельности. В то же время эта связь существует, и ее игнорирование приведет к нежелательным последствиям. Распространение описанных процедур на социальные исследования позволит в известной степени компенсировать наше неумение строить социальные динамические модели *.

В заключение расскажем коротко еще об одной задаче, представляющей не только методический интерес.

Зимой 1969/70 года в ВЦ АН СССР обсуждались принципы, которые могли быть положены в основу планирования создания и развития научно-исследовательских учреждений Академии наук СССР. Эта дискуссия возникла в связи с созданием Дальневосточного отделения Академии наук СССР.

Основной вопрос здесь был аналогичен тому, который мы только что рассматривали. Как построить схему анализа проблемы, в результате которого можно было бы сформулировать рекомендации о распределении средств, предназначенных на развитие нового научного центра? В этой проблеме бесспорным было только одно: при ее решении нельзя обойтись без использования экспертных процедур **.

* Задача, которую мы только что сформулировали, имеет одну важную особенность, автор хотел бы обратить на нее внимание читателей. Она принципиально не может быть разрешена неспециалистами в области общественных наук. Однако для ее решения необходимо владеть технологией экспертиз и элементами системного анализа.

Какая из альтернатив окажется реализованной, в конце концов не так уже существенно. Но поставленная задача должна быть решена в ближайшее время. Отсутствие понимания того, как следует проектировать научно обоснованную систему планирования развития общественных наук и социальных исследований, может существенно задержать создание той системы научного обеспечения принятых решений, которая постепенно формируется у нас в стране.

** Оговоримся заранее: проблема составления бюджета по схеме, которая предлагалась, так и не была воплощена в проект. По-

Но построение проекта этих процедур казалось достаточно дискуссионным.

Следуя общим принципам системного анализа, было естественным связать проблему использования средств с общими задачами развития Дальнего Востока. Для этого необходимо прежде всего назвать эти цели. Этот перечень мог бы, например, выглядеть так (перечень ш):

1. Развитие рыболовства.
2. Освоение тихоокеанского шельфа.
3. Подъем общей культуры.
4. Развитие сельского хозяйства в Приморье.
5. Обеспечение края зерном.
6. Высокая степень изученности геологических особенностей региона.
7. Совершенствование системы управления региона и т. д.

Кроме того, должны быть заданы веса этих целей.

Следующая экспертиза должна состоять в выработке списка конкретных мероприятий, реализация которых будет содействовать достижению поставленных целей. И, наконец, должен быть выработан список δ — научных направлений нового исследовательского центра.

В реализации этой схемы есть ряд трудностей, причем значительных. Однако автор не знает другой альтернативы в рамках системного анализа (распределение капитальных затрат с потолка вряд ли можно считать альтернативой).

Капитальные затраты на создание и оснащение научных учреждений начнут давать ощутимые результаты через одну-две пятилетки. Следовательно, никакими конкретными планами развития для решения интересующего нас вопроса мы не располагаем и располагать не можем. Вот почему при решении таких вопросов экспертиза может быть единственным способом получения информации. Однако именно потому, что нет конкретных планов, экспертиза целей должна делаться людьми, способными оценить эволюцию всех тех процессов, которые диктуют необходимость развития Дальневосточного региона как составной части страны. Таких специалистов надо, наверное, искать прежде всего в Москве, в цент-

этому здесь мы проводим просто некоторые мнения из числа тех, которые высказывались во время обсуждения.

ральных планирующих органах, в Совете по использованию производительных сил АН СССР и т. д.

Построение списка γ требует других экспертов. Это должны быть лица, способные руководить крупными проектами, поскольку составление списка γ — это и есть первая фаза проектирования. Среди них должны быть большие знатоки края, его особенностей. Это должен быть список реальных (в том смысле, что они могут быть реализованы) проектов. Например, совершенствование системы управления регионом, который одной-единственной ниткой транссибирской магистрали связан с остальной страной, требует очевидно, создания региональной АСУ (автоматизированной системы управления) и т. д.

Решение зерновой проблемы потребует создания в степных районах Биробиджана мощных зерновых совхозов и т. д.

Таким образом, решение вопроса о рациональной структуре Дальневосточного отделения Академии наук требовало, на наш взгляд, проведения комплексной экспертизы с участием широкого круга специалистов, работающих как на Дальнем Востоке, так и в Центре*.

Обе задачи составляют проблему построения научных программ и распределение средств по этим программам. Схема их решения несколько упрощена. Всегда, например, надо иметь некоторую подпрограмму чисто поискового характера. Говоря о региональных планах, нельзя избежать обсуждения подпрограммы общественных исследований, хотя они (непосредственно) и не связаны с хозяйственными задачами региона. В самом деле, чтобы обеспечить общий достаточно высокий уро-

* Проведение подобной комплексной экспертизы равноценно большой комплексной исследовательской работе. Результаты этой работы, разумеется, будут иметь более широкое значение, чем цель, ради которой она будет делаться, и окажутся очень полезными при разработке перспективных и текущих планов. В этой проблеме есть и ряд новых технических трудностей, отличающих ее от проблемы, рассмотренной в начале параграфа. Например, развитие общественных наук одновременно необходимо для реализации списка γ (создание АСУ) и непосредственно влияет на развитие общей культуры и т. д. Поэтому создание подобного проекта потребует не только разработки специальных процедур опроса экспертов, но и дальнейшего совершенствования методов обработки суждений и заключений экспертов.

вень исследований, необходимо иметь достаточно широкий фронт научных исследований. Можно привести и еще целый ряд подобных вопросов, обсуждение которых мы опустим.

Сложные экспертизы, а к ним относятся и все более или менее сложные прогнозы, связаны с некоторыми целенаправленными действиями. Сегодня, когда человек может целенаправленно использовать огромные энергетические мощности, прогноз превращается, как правило, в некоторый проект. Значение целенаправленных воздействий человека на характер развития научных, политических, экономических и других ситуаций требует развития специальных методов организации прогностической деятельности. Метод решающих матриц — это один из примеров создающейся ныне технологии.

В 60-х годах схема сложных прогнозов была предложена В. М. Глушковым. В США в те же годы была разработана аналогичная система ПЭТЭРН и др.

Изложенные методы организации экспертиз и обработки их результатов никак не исчерпывают всей проблемы. Автору хотелось лишь показать некоторые особенности эволюции этого направления человеческой деятельности. Первое — стремление рассматривать ответ эксперта как некоторый простой опыт. Такая точка зрения позволит использовать развитую технологию обработки экспериментальных данных, в том числе и разнообразные методы математической теории распознавания образов — дисциплины, которая в последние годы начала быстро развиваться. Методы, которые сейчас с успехом используются для диагностики в геологии, медицине и т. д., могут быть в той или иной мере перенесены и в технологию обработки данных экспертов.

Второе очень быстро прогрессирующее направление — организация сложных экспертиз, изучение приемов расчленения исходной сложной проблемы на отдельные частные вопросы. Метод решающих матриц Г. С. Поспелова — это далеко не единственный пример подобных рассуждений. И у нас и за рубежом непрерывно публикуются работы, содержащие новые идеи и сообщаются результаты удачно проведенных сложных экспертиз.

Метод экспертиз со всей остротой ставит проблему «прибора», в роли которого выступает сам человек.

Поэтому теория экспертиз, когда она будет создана, будет содержать целый ряд разделов, изучающих человека и его поведение в качестве эксперта.

В частности, очень важными являются проблемы обучения экспертов и создание специальных экспертных служб. Как показывает мировой опыт проведения экспертиз, надежность мнений экспертов быстро возрастает, когда эксперт непрерывно или достаточно часто участвует в экспертизах. Эксперту всегда нужны прецеденты (и в достаточном количестве). Надо всегда иметь в виду, что при организации сложных процедур мы неизбежно заставляем человека прогнозировать — предсказывать то или другое течение процесса и при отсутствии необходимого опыта результат предсказания может быть сколько угодно далек от истины и не будет зависеть ни от организации процедур, ни от методов обработки ответов. Если бы из виднейших физиков 30-х годов составили в свое время группу экспертов и попросили их нарисовать картину технического прогресса 60-х годов, то в этой картине наверняка не было бы атомной энергии, космических аппаратов и, конечно, вычислительных машин.

Вот почему, как ни любопытна и ни заманчива организация прогнозов, рассчитанных на многие десятилетия, их достоверность вряд ли может быть высокой. Человеку действительно трудно проследить наиболее вероятную ветвь процесса, разворачивающегося во времени.

Об имитационных системах

Можно указать, по-видимому, два истока этого нового направления в моделировании, которое родилось в 60-х годах накануне появления электронных вычислительных машин третьего поколения.

В предыдущей главе речь шла о математических моделях таких управляемых процессов, где существуют и известны конечные цели (одна или набор), где есть критерии, которые позволяют сравнивать между собой различные способы достижения этих целей. Когда мы говорим «существуют», это значит, что и цели и критерии могут быть записаны на языке математики.

Однако управляя политическими, экономическими и

социальными процессами или совершая внешнеполитические акции, мы, как правило, цели и критерии не можем записать на языке математики. Кроме того, если процесс достаточно протяжен во времени, то эти цели могут изменяться.

Только создав определенную «легенду», проведя анализ различных вариантов развития, мы получим необходимую информационную основу для выработки системы решений, для выработки политики.

Каким образом получить все сведения подобного рода? Как правило, в таких случаях обращаются к экспертам, к знатокам своего дела, к советникам.

Использование экспертиз, как мы это видели, весьма мощное средство исследования, особенно в тех случаях, когда уже есть прецеденты аналогичных ситуаций. Если прецедентов нет, то коллективный опыт экспертов при самых совершенных методах обработки экспертных оценок может оказаться недостаточным и степень достоверности результата невысокой.

Но есть и другой способ получения необходимой информации — способ моделирования ситуаций.

Сегодня теория операций уже в состоянии выступить в роли составителя моделей самого разного уровня — от частных до глобальных, представляющих собой совокупность соотношений, которые позволяют рассчитывать или качественно оценивать результат возможных решений.

Это модели имитационные. Они имитируют, «проигрывают» протекание процесса.

Некоторой аналогией имитационной модели может служить анализ отложенной шахматной партии экспертами, прибегающими к услугам ЭВМ.

Аналогия эта неполна в том смысле, что эксперты не могут вмешиваться в игру, в то время как имитационная модель для того и предназначена, чтобы получить необходимую информацию, опираясь на которую, можно направить протекание процесса в нужную сторону или, на худой конец, избежать некоторых нежелательных последствий.

Иными словами, имитационная модель служит средством анализа «конфликтной ситуации».

На основе многократно повторенного анализа этого конфликта при разных вариантах проведения сторон

можно составить представление и о наиболее вероятном исходе конфликта и своей способности влиять на его течение.

Результаты этого анализа будут значительно надежнее анализов обычных экспертиз, ибо рутинная работа, связанная с расчетами и проведением большого количества логических операций, будет реализована на ЭВМ, которая все это делает гораздо быстрее и лучше любого эксперта.

Модели, имитирующие развитие «конфликта», могут быть созданы и для анализа сложных ситуаций, возникающих в экономике крупной страны и международной торговле.

Чтобы отработать методику составления моделей подобного рода и способы их эксплуатации, в ВЦ АН СССР в 1967 году Ю. Н. Павловским и А. А. Петровым была построена «игрушечная» модель планеты. Эта планета двигалась в гипотетической галактике, имела цилиндрическую форму (что сокращало расчеты и уменьшало объем оперативной памяти) и на ней были только три страны *А*, *В* и *С*. Несмотря на условность подобной планеты, на ней разыгрывалась настоящая история, полная драм и трагедий.

Модель планеты представляла собой сложную комбинацию трех подмоделей. Была разработана также специальная операционная система, которая включала блоки моделей в работу в соответствии с формой, которую приняли взаимоотношения государств *А*, *В* и *С*.

Одна из подмоделей была экономической и рассчитывала развитие экономики каждой из трех стран с учетом размещения производственных фондов по территории, промышленного потенциала и вывоза капитала. В модель в качестве основных показателей, характеризующих страны, были введены: количество принадлежащих каждой из них капиталов, размещение капиталов по территории, эффективность капитала. Очень важным условием было то, что капитал, принадлежавший какой-то стране, мог находиться не только на ее территории, но и на территории соседних стран (вывоз капитала). При этом та страна, на территории которой находится чужой капитал, получает отчисления от прибыли с этого капитала, размер которых устанавливается путем договоров между соответствующими странами.

Продукция мирного сектора экономики идет на инвестиции в оба сектора, на потребление, на создание запасов и помощь другим странам. При расчете инвестиций учитываются временные лаги.

Управление экономикой страны заключается в распределении продукта мирного сектора на инвестиции как по секторам, так и по территории, на организацию запасов и помощь другим странам. Часть этих управлений находится в компетенции только одной страны, часть определяется в ходе переговоров между заинтересованными странами.

Модель допускает перемещения капитала по территории, включая территорию других стран, и производит конверсии промышленности, при этом необходимы специальные отчисления из инвестиционных фондов.

Несмотря на примитивность экономической модели, в ней заложен целый ряд элементов, которые до сих пор не находили отражения в традиционном экономическом моделировании (перевод капитала из отрасли в отрасль, перемещение по стране и между странами и т. д.).

Принципиально было нетрудно отказаться от рассмотрения двухсекторной модели, но это потребовало бы использования медленной внешней памяти, что существенно замедлило бы функционирование модели. К этим трудностям мы еще вернемся.

Мы довольно схематично изложили только одну из подмоделей. Вся модель очень сложна, и описать ее здесь нет возможности. Желаящие познакомиться со всеми ее деталями могут обратиться к работе авторов этой модели Ю. Н. Павловского и А. А. Петрова, опубликованной в ежегоднике «Исследование операций» за 1973 год, который выпускается ВЦ АН СССР.

Данная модель изучалась в различных условиях, но у нас, к сожалению, не было партнеров — историков, экономистов, социологов. «Игру» вели сами математики.

Был выбран некоторый темп принятия решений. В начальный момент эксперты, играющие за каждую из стран, имели в своем распоряжении полностью всю информацию. Решения эксперты принимали независимо и записанными на АЛГОЛЕ* передавали авторам мо-

* Модель проигрывалась на БЭСМ-6, где существовал только транслятор с языка АЛГОЛ, и поэтому языки моделирования не могли быть использованы.

дели. Эти решения вводились в машину, и проводился необходимый расчет по уравнениям модели. На планете возникало новое состояние, и эксперты имели возможность познакомиться с результатами своих решений.

Ознакомившись с новой ситуацией, эксперты принимали новое решение и т. д.

Правила игры допускали коалиции и соглашения между странами. Это касалось прежде всего перемещения капитала, но могли быть соглашения и другого рода.

Модель, о которой шла речь, разумеется, является игрушкой, но тем не менее она многому нас научила. Прежде всего стало ясно, что уже сегодня можно создать систему моделей для имитации реальных ситуаций для использования в самых различных целях.

Нетрудно отказаться от многих ограничений и перейти от планеты цилиндрической к сферической, значительно усложнить и приблизить к реальности экономические модели. Создание таких «реальных» имитационных моделей это не проблема высокой теории. Нужна затрата труда и довольно квалифицированного. Проблема создания такой системы моделей — проблема проектирования сложной вычислительной системы, создания сложного специального математического обеспечения.

Короче говоря, создание таких систем зависит больше от заказчика, нежели от исполнителя-математика.

Но создание имитационной системы это еще не все. Эксплуатация модели также представляет собой проблему и сложную проблему. Сейчас стало более или менее очевидно, что для действительно реальных имитационных систем необходимы ЭВМ третьего поколения. Машина БЭСМ-6 с ее миллионом операций в секунду оказалась малоприспособленной для эксплуатации подобных систем. И дело здесь еще не в быстродействии. Арифметические возможности этой ЭВМ достаточны, чтобы анализировать модель и значительно более сложную, чем описанную модель планеты. В машине БЭСМ-6 прежде всего не хватает памяти. Для более или менее реальных моделей машина должна располагать оперативной памятью порядка 100 000 слов, не менее, и обя-

зательно достаточно быстрыми носителями долговременной памяти большого объема, например, дисками.

Но и это не главное. Имитационная модель способна по-настоящему раскрыть свои возможности только тогда, когда достаточно высок темп общения: человек — машина — человек. Без специальной системы терминалов, обеспечивающей этот высокий уровень общения, имитационная система остается игрушкой, какими бы совершенствами в научном плане она ни обладала. Перфорирование программы, ввод ее, расшифровка многих метров ленты, заполненных цифрами, которая описывает ситуацию, и т. д. приводят к тому, что на один ход тратится иногда неделя и более. В идеале «противник» как минимум должен «играть» с пульта и иметь систему отображений и систему ввода типа «световое перо», обеспечивающих просмотр всего варианта за несколько часов. Надо при этом иметь в виду, что наличия такого оборудования, вообще говоря, тоже недостаточно. Потребуется организация и создание специального математического обеспечения, представляющего собой сложную операционную систему. И, конечно, язык типа АЛГОЛ, а тем более ФОРТРАН, для работы с имитационными системами плохо приспособлен.

Следующая проблема — проблема подготовки персонала. Работа с имитационными системами имеет много специфического и нового, с чем раньше вычислители не сталкивались. Это действительно человеко-машинная система. Обучение работе с языками требует времени. Кроме того, эксперту в зависимости от модели и задачи могут потребоваться разнообразные вспомогательные программы. Другими словами, принятие решений экспертом потребует еще вспомогательного математического обеспечения.

При выполнении этих условий, которые, кстати, далеко не обременительные, имитационные системы могут стать действительно могучим средством научного анализа и базой для принятия обоснованных политических, социальных и экономических решений.

Даже наша «игрушечная» модель игрушечной цилиндрической планеты уже была источником целого ряда интересных заключений.

Обнаружился, в частности, один удивительный факт. Несмотря на то, что эксперты могли, в принципе,

принимать любые решения и, следовательно, история нашей игрушечной планеты могла развиваться самым причудливым образом, на самом деле действия экспертов были значительно более обусловлены ситуацией, чем мы это думали ранее!

Использование имитационных систем позволяет наглядно увидеть роль фактора времени.

Шахматисты называют его потерей темпа. Решение, которое «игрок» не принял сегодня, завтра уже не может исправить положения, становится бессмысленным и даже вредным. Может быть, разумеется, и обратная картина.

Таким образом, предварительный анализ возможной ситуации с помощью имитационных моделей поможет нерешительным стать твердыми и решительными, а горячих и темпераментных сделает более рассудительными и осторожными. Это свойство имитационных моделей * не следует недооценивать!

Попытка объединения человека и машины и построения человеко-машинных систем имеет уже довольно длинную историю. Но имитационные системы, о которых речь идет в этой книге, появились совсем недавно и принципиально не могли появиться в период, который предшествовал появлению ЭВМ третьего поколения.

Небольшой экскурс в историю электронных вычислительных машин

Появление первых электронных вычислительных машин значительно расширило возможности человека изучать окружающий мир, предсказывать характер течения тех или иных процессов. Перед математиками открылись новые горизонты, возникли новые задачи, которые, в свою очередь, предъявили новые требования к технике и послужили стимулом к ее совершенствованию и развитию. Диалектическое единство двух сторон этого

* За границей больше используют термин «симуляция» или «симуляционная модель». В ВЦ АН СССР мы условились использовать термин «имитационная система». Этот термин, как нам кажется, лучше отражает существо дела, поскольку речь идет действительно о системе (системе моделей), которая описывает, имитирует протекание изучаемого процесса.

яркого явления современного научно-технического прогресса будет еще не однажды источником самого внимательного изучения.

Первая действительно функционировавшая и использовавшаяся в практических работах электронная вычислительная машина в Европе была создана в СССР в конце 40-х годов С. А. Лебедевым — машина МЭСМ. С начала 50-х годов появилась знаменитая серия БЭСМ, которой было суждено сыграть выдающуюся роль в развитии отечественной науки и техники.

Электронные и вычислительные машины 50-х годов принято сейчас называть машинами первого поколения. Это были громоздкие ламповые устройства, как правило, очень ненадежные. Инженер — специалист по электронике — был здесь, бесспорно, главной действующей фигурой. От него в огромной степени зависел успех эксплуатации ЭВМ, т. е. результаты, которые получал математик.

Эти машины обладали быстродействием порядка нескольких тысяч операций в секунду — работали примерно в 1000 раз быстрее человека.

Машины первого поколения предназначались и использовались главным образом для решения научных и инженерных задач. Они могли обработать незначительное количество исходной информации, необходимой для принятия решения. ЭВМ первого поколения имели, как правило, очень небольшую оперативную память (порядка нескольких тысяч слов — не более).

Это обстоятельство резко ограничивало возможности использования ЭВМ в экономике. Экономические задачи требуют, как правило, переработки огромных массивов информации. Поэтому в 50-х годах можно было говорить лишь о решении отдельных экономических задач, да и то носивших обычно иллюстративный характер.

Программа, по которой машина первого поколения проводила вычисления, писалась «на внутреннем языке машины». Переписка математических процедур решения — алгоритма, созданного математиком, — на машинный язык была нудной работой, не требующей высокой квалификации. Появилась целая армия «программистов» — лиц со средним специальным образованием. Опытный программист делал, с учетом поиска ошибок и отладки программы, 3—4 операции в день. Решение

«большой» по тогдашним масштабам задачи, требовавшей 1000 машинных команд, занимало по меньшей мере около года трудоемкой работы.

Таким образом, возможность решения сложных задач на ЭВМ первого поколения была ограничена и самой ЭВМ и трудностью подготовки задачи. Тем не менее именно в 50-е годы был решен ряд уникальных задач математической физики, в частности, ядерной физики, динамики газов, имевших огромное практическое значение. Именно в этот период был создан численный метод, позволивший воспроизвести в машине всевозможные процессы, возникающие при входе космического аппарата в земную атмосферу (обтекание с отошедшей ударной волной — А. А. Дородницын и О. М. Белоцерковский, 1957, и др.). Заметим, что эти и многие другие процессы, рассчитанные в те годы, принципиально не могли быть изучены экспериментально. Не будет преувеличением сказать, что человек никогда бы не шагнул в космос, если бы не ЭВМ первого поколения.

60-е годы — это эра машин второго поколения. Ламповым бронтозаврам приходят на смену компактные вычислительные устройства на полупроводниках. Транзисторные машины оказались не только более компактными — совсем иной стала их надежность. Машины стали работать практически непрерывно, без ошибок, требуя в сутки 10—15 минут на профилактический осмотр. Электронные боги — инженеры-эксплуатационники — постепенно теряют свое божественное положение и превращаются во вспомогательный персонал. Быстродействие машины также возросло. Классический представитель ЭВМ второго поколения — БЭСМ-6; ее быстродействие около 1 миллиона арифметических операций в секунду. Таким образом, лучшие представители ЭВМ второго поколения приблизительно во столько же раз мощнее ЭВМ первого поколения, во сколько раз БЭСМ-1 была мощнее опытного вычислителя.

Это, конечно, был существенный скачок — новое качество. Точно так же резко возрос объем оперативной памяти, достигнув в среднем десятков тысяч слов. Стали широко использоваться магнитные носители памяти — барабаны и магнитные ленты. В конце эры второго поколения появились диски. Все это определило значительное изменение состава потребителей. Постепенно

машины стали во все большей и большей степени использоваться для решения задач, возникающих в экономике и управлении народным хозяйством и коммерческой деятельности. Если в середине 50-х годов практически 100% ЭВМ применялись в научных исследованиях, то накануне появления ЭВМ третьего поколения, т. е. в конце 60-х годов, около 80% ЭВМ поставила себе на службу сфера экономики и управления.

Если создается новый и более дорогостоящий тип оборудования, то его установка оправдана тогда и только тогда, когда ему есть что делать, когда количество заказов и их сложность достаточно хорошо соответствует возможностям этого оборудования. Это почти аксиома. И в этом плане ЭВМ второго поколения поставили перед специалистами задачу, совершенно не тривиальную.

ЭВМ первого поколения могли перерабатывать задачи, программа которых имела максимум тысячи команд, а вот для ЭВМ второго поколения оказываются по силам задачи, программы которых содержат десятки (и даже сотни тысяч) команд. И если подобной сложности задачи не будут решаться, это значит, что капитал, вложенный в создание ЭВМ второго поколения, в значительной степени омертвлен.

Но можно себе представить, чего стоит подготовка программы в 100 000 команд, если опытный программист может отрабатывать 3—4 команды в день! Грубо говоря, подготовка задачи, эквивалентной предельным возможностям машины типа БЭСМ-6, требует при старой технологии 100 человеко-лет. Этим 100 годам подготовки будут отвечать только часы (а может быть, и минуты) работы самой машины. Какая армия программистов необходима для того, чтобы загрузить одну ЭВМ типа БЭСМ-6. А их тысячи!

В этой ситуации был один-единственный выход. Переложить часть труда по программированию на плечи машины. Это можно было сделать двумя путями.

Первый путь — усложнение внутреннего языка машины, т. е. логики машины, ее архитектуры. Он означает такое перераспределение обязанностей между программой и самим вычислительным комплексом, в результате которого целый ряд рутинных операций совершается в самой машине и не требует специальной программы.

Второй путь — разработка специальных упрощенных (так называемых алгоритмических) языков, которые позволяют писать программы не в кодах машины, а почти так же просто, как это делают математики, используя русский или английский или какой другой язык для описания структуры вычислительной процедуры. Но этот язык должна понимать машина. Последнее означает, что математик должен составить некоторую специальную универсальную программу, которая называется транслятором и которая переводит программу с алгоритмического языка на внутренний язык машины. Кроме того, второй путь предполагает создание большой библиотеки стандартных программ и специальной программы, управляющей их использованием.

Видимо, дальнейшее развитие вычислительной техники неизбежно приведет к реализации обоих путей. Они естественным образом дополняют друг друга.

К сожалению, разработкам новых принципов архитектуры ЭВМ до сих пор, на наш взгляд, не уделяется еще должного внимания. Эра машин второго поколения проходила под знаком создания математического обеспечения ЭВМ (*soft war* — мягкая машина, по терминологии американцев). Этим термином называется совокупность специальных математических программ, связанных с реализацией второго пути.

Создание математического обеспечения оказалось делом чрезвычайно трудоемким и дорогим. Сегодня стоимость «мягкой машины» превосходит стоимость самой электронной машины. Создание *soft war* для новой вычислительной системы — это тысячи человеко-лет квалифицированного труда математиков.

Итак, «мягкая» машина — буфер между математиком и собственно счетом. С его помощью машина сама составляет программы. Исчезает необходимость в огромной армии малоквалифицированных программистов, но появляется другая потребность в другой армии, не многим меньшей по количеству, в армии квалифицированных специалистов, способных создавать математическое обеспечение. Но однажды созданное, оно, конечно, позволяет математику уже очень просто обращаться с машиной. Математик (и даже не математик) легко сам составляет программы, на это уходят не годы, как ранее, а часы или в крайнем случае дни!

Один из языков, приспособленных для анализа больших информационных массивов, КОБОЛ, сводит процедуру написания программ к некоторому специальным образом упорядоченному использованию слов английского (а теперь и русского) языка — и все!

Но было бы ошибкой думать, что создание внутреннего *soft war* — это панацея от всех бед. Мягкая машина — система универсальных программ, приспособленных далеко не на все случаи жизни. Поэтому транслятор составляет программы, которые работают, как правило, значительно хуже, значительно медленнее ручных программ. В отдельных случаях (например, трансляторы с КОБОЛа) программы, составленные машиной, работают в десятки раз медленнее ручных. Это значит, что использование трансляторов понижает мощность ЭВМ, в отдельных случаях даже в десятки раз, причем снижение эффективности тем больше, чем более сложные задачи приходится решать. Стоимость математического обеспечения непрерывно растет, причем растет очень быстро.

Одновременно происходит и другой процесс — быстрое совершенствование технологии изготовления элементов ЭВМ и сборки самих ЭВМ. По оценке основных фирм, производящих ЭВМ, за десятилетие (1965—1975) стоимость элементов ЭВМ уменьшится приблизительно в 100 раз.

Этот экскурс потребовался, чтобы еще раз почеркнуть мысль: с одним совершенствованием математического обеспечения мы далеко не уйдем. Параллельно необходимо качественное совершенствование архитектуры ЭВМ. Это требование будет тем настоятельнее, чем более сложные задачи нам придется решать.

Итак, эра машин второго поколения привела к существеннейшим сдвигам в использовании ЭВМ и одновременно поставила целый ряд новых труднейших проблем. Но вот в конце 60-х годов мы начали вступать в эру машин третьего поколения. Думается, что истинная революция в применении ЭВМ начинается именно с этого этапа их развития.

Что такое машины третьего поколения? Инженер скажет: это машина на интегральных схемах, и он будет прав. Переход к интегральным схемам означает не только дальнейшее увеличение надежности, но и новый

прогресс «технологичности». Он позволяет организовать конвейерную сборку ЭВМ.

Но мы условились рассуждать с точки зрения потребителя. Для нас важны другие параметры.

Быстродействие здесь не носит характер качественного скачка. По-видимому, самые мощные системы третьего поколения будут только раз в 10 (может быть, 20) более быстродействующими, чем БЭСМ-6.

Память — вот здесь сдвиги уже значительно более ощутимы.

Широкое использование дисков позволяет практически неограниченно накапливать информацию, причем таким образом, чтобы получение любой справки было бы практически мгновенным (магнитная лента может быть хранителем огромной информации, но поиск необходимых сведений требует ее механической перемотки).

Эти новые технические средства открывают возможности, значение которых трудно переоценить.

Но и это не главное. Главное, что делает ЭВМ третьего поколения качественно отличной от того инструмента, к которому мы привыкли, и дает возможность создания совершенно новой технологии анализа исследований и управления, — это система периферических (терминальных) устройств, позволяющих реализовать эффективный диалог человек — машина. Набор средств, которые сегодня реально созданы или создаются, очень велик. Это разного типа телетайпы, позволяющие непосредственно вводить информацию в машину и способные работать в режиме диалога с ЭВМ, системы отображения, начиная от элементарного графопостроителя и кончая многоцветной картой, на которой с любой степени подробностью изображается, например, коммерческая ситуация международной торговли, которая изучается на имитационной модели.

Такого типа устройства чрезвычайно важны. Машины первого и второго поколений выдавали информацию в цифровом виде. Рулоны лент, заполненных цифрами, — даже опытному человеку нелегко представить себе, что за ними скрывается. Анализ метров и метров лент требовал времени и кропотливого труда, откладывая следующий акт диалога на многие дни и недели. Устройства отображения — это такая система вывода информации, которая позволяет человеку сразу увидеть характер

течения изучаемого или управляемого процесса и принять необходимое решение.

Очень важны не только системы вывода информации, но также и системы ее ввода, позволяющие практически мгновенно вмешаться в течение процесса.

Одним из таких новых технических средств является «световое перо». Предположим, что мы изучаем эволюцию некоторого экономического процесса и можем управлять инвестициями. На системе отображения (в простейшем случае на экране телевизора) мы видим, как изменяется, например, валовой выпуск или пропорции, видим в форме графика, нанесенного на временную шкалу. Мы хотим понять, как изменится течение этого процесса, если изменим политику инвестиций. Работая с ЭВМ второго поколения, мы должны были бы составить новую специальную программу. «Световое перо» нам позволяет сделать иначе. Мы рисуем на специальном экране разные варианты возможных распределений инвестиций, а система отображения нам каждый раз демонстрирует результат наших действий.

Итак, в машине содержится модель процесса — имитационная система (наличие большой памяти позволяет помещать в машину очень сложные модели), и машина третьего поколения позволяет легко задавать системе вопросы, конечно, определенного типа, и разрешает системе отвечать на них так, чтобы расшифровка ответа была бы достаточно элементарной и не сковывала бы возможностей диалога.

Эра машин второго поколения привела к появлению нового типа специалиста — специалиста в области проектирования математического обеспечения ЭВМ. Именно успех лиц, создающих мягкую машину, обеспечивал общий прогресс во внедрении и развитии вычислительной техники. В эру ЭВМ третьего поколения центр тяжести труда и ответственности будет постепенно переноситься на лиц, которых условно можно назвать пользователями, которые способны подготовить задачи, достойные новой техники. Проектирование и внедрение технологии имитации здесь будут играть, вероятно, ведущую роль.

Мы сейчас только вступаем в эру машин третьего поколения. Что будет дальше, какие будут ведущие тенденции в развитии вычислительной техники? Трудно

предсказывать на долгие годы. И тем не менее кое-что все-таки сегодня уже можно сказать.

На полное освоение ЭВМ второго поколения специалисты всех стран мира затратили 10—12 лет. Это значит, что только в конце этого периода ЭВМ второго поколения достигли своих предельных технических возможностей и, что для нас значительно важнее, на этих машинах стали решаться задачи, полностью использующие их возможности.

Переход к ЭВМ третьего поколения стал абсолютной необходимостью.

Видимо, 70-е годы будут полностью эрой ЭВМ третьего поколения. Разумеется, эти системы будут непрерывно совершенствоваться. В частности, будут непрерывно развиваться алгоритмические языки.

Алгоритмические языки превратились в самостоятельную, со своей внутренней логикой развития, научную дисциплину. Но естественно, что внешние потребности будут в значительной степени диктовать ее проблематику. Языки моделирования, прежде всего экономических социальных процессов, языки, принципиально облегчающие использование и создание имитационных моделей, займут ведущее положение в тематике этой дисциплины.

Однако главной особенностью того процесса, свидетелями которого мы уже являемся, будет дальнейшее исследование и поиск способов использования всех огромных возможностей, заключенных в машинах третьего поколения. По-настоящему их исчерпать (т. е. сделать в конечном счете «рентабельным» переход на новую технику) не так просто. И это задачи не только математиков. Для этой цели должны быть широко использованы усилия самых различных специалистов.

Проблема «понять, что можно сделать с помощью ЭВМ третьего поколения» в ближайшие годы будет, безусловно, ведущей. Откровенно говоря, она-то и заставила автора написать эту книгу.

Конечно, в это десятилетие уже начнутся разработки (они, по существу, уже начались) новых принципов, реализация которых знаменует приход ЭВМ четвертого поколения. Очевидно, в конце 70-х годов появятся первые полноценные системы четвертого поколения.

История развития ЭВМ в течение последних 15 лет

прошла под знаком стремления к простоте диалога человек — машина. Огромную роль здесь сыграл soft war. Хотя его возможности далеко еще не исчерпаны, однако быстрый рост трудоемкости проектирования математического обеспечения вместе со сложностью решаемых задач ставит естественный и видимый предел. Есть много аргументов в пользу того, что главное русло прогресса будет совершенствование самих машин, их архитектуры, если угодно, повышение их интеллигентности. Последнее означает, что внутренний язык машины будет качественно расширен. Сама машина четвертого поколения будет способна к операциям, которые сегодня являются объектом программирования.

Однако качественный скачок в упрощении диалога человек — машина сделан уже в ЭВМ третьего поколения. Именно этот скачок определит возможность новой технологии научного анализа и управления, о которых идет речь в этой книге. Поэтому дальнейшее обсуждение проблематики мы будем вести с позиций пользователя машиной третьего поколения.

Имитационные системы и проблемы проектирования

Одной из важнейших областей использования машин третьего поколения становится постепенно технология проектирования — проектирование технических комплексов, экономических объектов, социально-экономических комплексов, систем управления и т. д.

Научно-технический прогресс приводит к созданию все более и более сложных конструкций, на проектирование и создание которых уходят многие годы.

Предположим, что речь идет о создании сверхзвукового пассажирского самолета типа «Конкорд» или Ту-144, хотя все то, что здесь будет говориться, в равной степени относится к созданию новой ЭВМ, корабля и т. д. По оценке специалистов, от момента, когда возник замысел и конструктор получил задание, до момента, когда машина поступит на рынок, необходим срок около 10—12, а то и 15 лет — такова сложность конструкции и современная технология проектирования. Организация работ по созданию подобной конструкции не позволяет существенно сократить этот срок.

Но что означает 10—15 лет при современных темпах научно-технического прогресса? Идеи и понимание природы вещей, заложенные при рождении замысла, заведомо окажутся вчерашним днем, когда этот трансзвуковой лайнер выйдет на пассажирские линии. Постараемся понять, что 10—15 лет не являются данью плохой организованности, что они неизбежны. Конструкция объекта типа самолета Ту-144 действительно очень сложна, и у генерального конструктора, формирующего замысел, физически нет возможности иметь о ней целостное представление. Физиологические возможности человека позволяют иметь об этой конструкции только самое общее представление. Поэтому разработка отдельных частей, которые сами представляют собой сложнейшую конструкцию, требуют усилий коллективов квалифицированных конструкторов. Неизбежна «конструкторская иерархия».

Процесс проектирования — это, по существу, выбор варианта. Можно себе представить, какое количество вариантов необходимо проанализировать генеральному конструктору Ту-144, если каждый отдельный агрегат допускает десятки разных вариантов исполнения.

Так как каждый из многих сотен конструкторов, участвующих в проектировании, в свою очередь, должен анализировать многочисленные варианты и сопрягать их с разными вариантами других частей конструкции, то возникает удивительной сложности проблема увязки различных предложений и вариантов.

Значительное время отнимает также неизбежная экспериментальная проверка расчетов и оценок. На все это и уходят годы и годы!

Как бы тщательно ни велось проектирование, первый экземпляр конструкции оказывается, как правило, не вполне удачным. Он еще имеет множество дефектов. Начинаются чрезвычайно дорогостоящие летные испытания и доводка конструкции в процессе этих испытаний. На это тоже уходят годы.

И, наконец, последнее. За те 10—15 лет, которые прошли от начала работ над конструкцией до ее выхода на рынок, может качественно измениться общая конъюнктура, конструкция окажется не очень нужной. А ведь в ее создание вложены огромные суммы.

Такова реальность!

А дальше будет хуже. Следующие конструкции будут еще сложнее, их создание потребует ещё больше усилий и еще большего времени, если... если не изменить принципиально всю технологию проектирования, создания опытных экземпляров, испытаний, доводки и т. д., т. е. всего процесса ввода в строй новой технической системы.

Такая технология может быть создана на базе соответствующей имитационной модели. Эта модель должна представлять собой некоторую человеко-машинную систему, имитирующую функционирование бюро, которое проектирует изделия. В ее основе лежит система программ (моделей), описывающих все стандартные процедуры проектирования, если речь идет о самолете, то аэродинамический, прочностной, балансировочный и другие расчеты, анализ динамики самолета, его устойчивости и поведения на расчетных режимах, в критических ситуациях (взлет, посадка), расчет автопилота, оценка экономической эффективности и т. д.

Очень важной деталью такой имитационной системы является процедура работы с этой системой моделей. Поэтому фраза: такая система моделей имитирует функционирование конструкторского бюро — не совсем точна. Сам факт использования системы специальных программ, обращение к которым должно быть предельно упрощено, потребует значительной трансформации традиционной схемы функционирования конструкторского коллектива.

Одна из особенностей, с которой мы здесь столкнемся,— это резкое уменьшение роли эксперимента, точнее — экспериментальной доводки. Возьмем тот же пример — конструирование самолета. Вычислительные методы аэродинамики, термодинамики, теории прочности и других областей математической физики и инженерной науки настолько быстро прогрессируют, что во многих случаях результаты расчетов становятся значительно надежнее любого эксперимента, в том числе и аэродинамического. Аэродинамическая труба, с точки зрения «машинника»,— это некоторое вычислительное устройство, позволяющее достаточно быстро определить аэродинамические силы, действующие на тело, в нее помещенное. Эти вычислительные устройства, основанные на физическом моделировании, оказываются далеко не всегда лучше, точнее, надежнее, более быстрое дейст-

вующими других вычислительных устройств, основанных на математическом моделировании изучаемых явлений*.

Разумеется, глупо и вредно противопоставлять эти два важнейших способа получения информации. Методы физического и математического моделирования естественным образом дополняют друг друга. Но непрерывно происходит перераспределение обязанностей, при котором методам физического моделирования отводится ведущая роль в изучении фундаментальных физических закономерностей, на базе которых могут быть рассмотрены математические модели. Там же, где математическая модель уже существует, расчетные методы вместе с совершенствованием современной вычислительной техники приобретают, естественно, все большее и большее значение.

Но душой модели, имитирующей функционирование конструкторского бюро, является так называемая операционная система. Это — система программ, управляющая и реализующая систему процедур принятия решений, управляющая функционированием программ расчетов, организующая накопление информации о проектируемом объекте и ведущая непосредственное согласование и увязку отдельных элементов конструкции. Генеральный конструктор и его многочисленные помощники могут с помощью операционной системы обращаться к любым частям имитационной системы, ставить любые вопросы, которые возникают в процессе проектирования и анализировать многочисленные варианты, рождающиеся у конструкторов. С помощью такой системы общий анализ варианта конструкции может быть проведен в десятки, а может быть, и сотни раз быстрее, чем это делается традиционными способами.

Автоматизация проектирования — синоним метода использования имитационной модели — может во много раз сократить сроки проектирования. Это повлечет еще одно важное следствие: поскольку срок анализа одного варианта конструкции значительно сокращается, то кон-

* Заметим, кроме того, что многие явления, которые мы хотим изучить, просто невозпроизводимы в экспериментальных установках (пример — вход космического корабля в атмосферу, о котором мы уже говорили).

конструктор имеет возможность проанализировать значительно большее число вариантов, нежели это он может сделать «вручную», используя традиционные методы проектирования. Значит, предъявляя опытный образец к испытаниям, конструктор будет уверен, что он «доведен» значительно лучше, чем это он мог делать раньше. Значит, «автоматизация проектирования» позволяет сократить не только сроки самого проектирования, но также и сроки и стоимость летных испытаний и улучшить конструкцию.

Вот почему автоматизация проектирования сейчас находится в центре внимания специалистов многих стран и постепенно переходит в разряд важнейших проблем, связанных с использованием ЭВМ. Широкое распространение технологии проектирования, опирающееся на имитационные модели, существенно усилит общий промышленный потенциал страны.

Насколько нам известно, еще нигде (ни в одной стране) не создана функционирующая в полном объеме система автоматизированного проектирования, хотя работы в этой области уже ведутся.

«Машинные математики» сегодня уже достаточно хорошо понимают основные принципы автоматизации проектирования. Создание таких систем зависит сегодня не от математика, а от заказчика, именно от заказчика! Создание системы моделей, операционной системы, разработка процедур требует не только квалификации. Это кропотливая, очень трудоемкая работа, по объему сравнимая с проектированием крупной технической конструкции. Она требует денег, и больших, и, конечно, совершенную вычислительную технику. Подобная работа далеко выходит за рамки обычных поисковых работ, которые ведут ученые.

Однажды созданная, система, имитирующая функционирование конструкторского бюро, начнет самостоятельную жизнь. Созданная, например, для проектирования какого-то конкретного самолета, она затем может быть использована также и для проектирования других.

Создание систем автоматизации проектирования аналогично созданию нового технологического оборудования. Только в отличие от последнего эта система всегда должна быть «живой». Она всегда должна допускать возможность совершенствования и адаптации к новым

задачам, которые выдвигаются перед коллективом, для которого она была создана.

Эффективность работы системы автоматизации проектирования будет существенным образом зависеть от той вычислительной системы, на базе которой она будет функционировать. Очевидно, функционирование системы проектирования современного самолета возможно лишь на базе машин третьего поколения. Ее невозможно реализовать на базе БЭСМ-6 и даже нескольких БЭСМ-6, так как даже 10 БЭСМ-6 не эквивалент одной машины третьего поколения.

Система автоматизации проектирования — это человеко-машинная система, и, следовательно, она требует совершенных периферических устройств, которыми БЭСМ-6 не обладает, и без которых диалог человек — машина невозможен.

В нашей стране сейчас широко развернулись работы по созданию АСУ — автоматизированных систем управления. В течение ближайших лет должны быть созданы сотни автоматизированных систем, управляющих отдельными заводами и фабриками, комбинатами, отраслями. Поставлена проблема создания общегосударственной системы.

Создание автоматизированных систем сегодня находится в центре внимания ученых, инженеров, государственных деятелей. Им посвящаются многочисленные публикации.

Автоматизированные системы уже в ближайшие годы сделаются естественной, необходимой частью любого производства. Они будут проектироваться вместе с созданием технического проекта нового завода или фабрики, и проект АСУ будет неотъемлемой частью проекта завода. Проектирование завода, вероятно, будет начинаться с создания проекта АСУ.

Проектирование новых заводов в ближайшем будущем будет происходить, видимо, примерно по следующей схеме.

Первый шаг — создание имитационной модели самого завода. Трудно говорить сегодня об уровне детализации такой модели. Она будет существенно зависеть и от характера изучаемого завода и той машинной базы, которой будут располагать проектанты.

Но чтобы имитационная модель функционировала, необходимы эксперты, поскольку имитационная модель — это человеко-машинная система. Кроме того, нужна система процедур принятия решений, система формирования и использования информационных массивов, система программ для решения математических задач, возникающих по мере реализации процедур управления, нужна операционная система управления этой системой моделей, т. е. нужна модель автоматизированной системы управления.

Вот когда такая система моделей будет создана, возникнет возможность эффективного изучения будущего завода. Изучению могут быть подвергнуты все стороны его деятельности: прежде всего функционирование в нормальном режиме, варианты оборудования, организации поточных линий, различные стороны экономики завода и т. д. В процессе такого изучения будут непрерывно варьироваться параметры имитационной модели как самого завода, так и его АСУ. Другими словами, будет осуществлена взаимная настройка объекта и системы управления. Одновременно руководство завода или фирмы, для которой создается этот завод, будет подбирать его параметры, наиболее соответствующие задачам, которые он должен выполнять, и финансовым возможностям организации.

Значительное место в исследованиях, проводимых с помощью имитационной системы, должно занять изучение разного рода переходных режимов — необходимо предусмотреть поведение проектируемого организма при сбоях разного рода, например, при выходе из строя части оборудования или нарушении ритма поставок и сбыта, в условиях, когда происходит изменение номенклатуры производимых изделий, и т. д.

Первоначально роль экспертов при исследовании и отладке имитационной модели будут играть сами проектанты — математики и экономисты. Но ведь система управления делается для руководства завода. Поэтому желательно, чтобы окончательная доводка всей имитационной модели делалась теми людьми, которые будут руководить заводом. Можно думать, что как только имитационная модель начнет функционировать, должны быть назначены директор завода и его основные помощники — начальники служб.

После того как модель отлажена, можно переходить к заказу технического проекта. Эта работа будет носить уже только чисто технический характер — вся творческая работа, связанная с выбором параметров и схемы производства, уже завершена при проектировании и исследовании имитационной модели.

Подобная технология не только ускорит сроки проектирования. Она позволит проанализировать значительно большее число вариантов, нежели это возможно сделать обычными методами проектирования. Следовательно, можно ожидать, что с использованием имитационных моделей проектировщики смогут найти более совершенный вариант.

Существует понятие «лаг освоения» — это время, в течение которого построенный завод постепенно набирает свою мощность. Лаг освоения обходится весьма недешево. Совершенство отработки проекта приводит, естественно, к сокращению или практической ликвидации лага освоения. Спроектированный завод сразу начинает работать на полную мощность.

Поскольку в процессе проектирования была создана имитационная модель, естественно использовать ее и в дальнейшем. Она может быть включена в АСУ и играть очень важную роль при анализе нестандартных ситуаций, например, при неожиданном изменении плана.

Особый класс проблем составляют задачи проектирования и управления развивающимися системами — такими, например, являются крупные строительства. Особенно трудны проблемы управления комплексами, где совмещаются проблемы эксплуатации с проектированием и созданием новых мощностей. К их числу относятся любые проблемы, связанные с освоением регионов. Проблемы освоения Тихоокеанского шельфа, восстановление плодородия и создание системы эксплуатации Азовского моря, освоение нефтегазовых месторождений Тюмени — очень разные по своему техническому и экономическому содержанию, имеют тем не менее очень много общего. Это прежде всего создание именно комплексов, причем не просто технических или экономических, но и социальных. В самом деле здесь и проблема строительства жилых массивов, и проблема такой организации быта, которая свела бы к минимуму текучесть рабочей силы, обеспечила бы наиболее эффективные условия ее функ-

ционирования и т. д. Другими словами, во всех подобных проблемах мы сталкиваемся с задачей распределения исходных инвестиций на инвестиции в производство и в социальные мероприятия, которые обеспечили бы наиболее эффективное функционирование комплекса.

Далее, все перечисленные проекты — это проекты развивающихся систем. В них всегда присутствует стадия разведки — предварительного анализа.

Говоря о Тюменском нефтегазовом комплексе, мы имеем в виду, например, всю совокупность геологоразведочных работ. Эти работы непрерывно меняют наши знания об объекте управления. Наличие «разведывательной» части комплекса требует не только решения задач о наиболее рациональном финансировании этих разведывательных работ. Речь идет о непрерывном приспособлении, адаптации всей системы управления, всей структуры капиталовложений, технической политики и т. д. к изменяющимся условиям.

Разрабатываемые АСУ, ориентированные на управление предприятиями, которые функционируют в условиях, близких к стандартным, вряд ли будут пригодны для управления подобными развивающимися комплексами.

Имитационная модель кажется здесь единственной возможностью построения научной системы управления и проектирования всей совокупности работ — от разведки до переработки и транспортировки получаемого продукта. Система процедур принятия решения здесь будет носить характер синтеза обратной связи в управляемых системах, функционирующих в сложном, случайном образом изменяющемся информационном поле, а сама имитационная модель станет некоторой постоянной функционирующей службой.

Приведем в заключение еще один пример возможного использования имитационных моделей.

Практически во всех социалистических странах идет активное обсуждение рационального соотношения централизации и децентрализации управления. Некоторые положения сегодня уже достаточно ясны. При нынешнем уровне развития производительных сил и темпах технического прогресса, требующих непрерывного совершенствования технологии, крупных капиталовложений, существование мелких самостоятельных экономических

организмов заведомо нерентабельно. Вероятно, сегодня наиболее эффективной формой организации социалистической экономики будут крупные хозрасчетные объединения, подчас носящие и межрегиональный и межотраслевой характер. Принципиальная важность такого рода объединений, необходимость их дальнейшего развития зафиксированы в документах XXIV съезда КПСС.

Однако конкретная реализация этого тезиса требует решения разнообразных вопросов. Здесь нет универсальных рецептов. Структуры и принципы функционирования объединений в каждом случае будут специфическими. И эксперимент здесь мало чем может помочь. Остается, вероятно, единственный путь: «проиграть» предварительно все возможные варианты с помощью имитационных моделей.

Организация имитации процессов столь высокой сложности потребует создания сложных моделей, высокого уровня развития вычислительной техники и квалифицированного использования экспертных служб.

История и новые методы научного анализа

С точки зрения математика, который занимается проблемами моделирования процессов, происходящих в обществе, история в ряду общественных наук занимает совершенно исключительное положение, и наш интерес к ней непрерывно возрастает.

Имеет ли смысл обсуждать значение эксперимента в физике? Как бы ни были развиты дедуктивные методы, какого бы успеха ни добивались физики-теоретики, создавая формализованные модели, эксперимент (практика) всегда был и остается фундаментом и конечным судьей любых знаний.

Говоря об эксперименте, надо иметь в виду не только активный эксперимент, который ставит экспериментатор. Очень часто мы просто не можем воспроизвести процессы, которые нас интересуют. В этих случаях мы имеем дело с пассивным экспериментом, мы наблюдаем и накапливаем факты. Такой «пассивный эксперимент» всегда играл огромную роль в естественных науках. Наблюдения за движением небесных тел подготовили фактически эру великих открытий эпохи Возрождения.

В первой главе мы говорили о трудностях, с которыми сталкиваются при использовании экспериментальных методов исследования в общественных науках. Возможность активного эксперимента очень ограничена. Что же касается прямого наблюдения, регистрации и классификации фактов, то здесь возможности огромны и реализует их история. История — это кладезь фактов, к которому мы будем неизбежно обращаться, развивая ту или иную общую концепцию, на которых мы будем проверять работоспособность многих моделей.

Сегодня новые методы научного анализа практически еще почти не используются в истории. Основные усилия сейчас направляются в экономику, где результат их применения может быть оценен элементарно — в рублях. Однако разработка исторических проблем — и в этом нетрудно убедиться — имеет такой же прикладной смысл. Только, как это ни парадоксально звучит, история — это работа на будущее. Именно поэтому мы уверены, что уже ближайшие годы нам дадут примеры глубокого проникновения «машинных» методов в историю. Новые методы и подходы к изучению исторических процессов будут источниками информации, очень нужной не только историкам, но и экономистам, социологам, юристам — всем тем, кто изучает процессы, происходящие в человеческом обществе.

Словом, настала пора подумать об обогащении научного инструментария историка.

Историческая информация обильна, количество ее катастрофически растет, а историк — всего лишь человек.

Вот почему одна из задач математика состоит прежде всего в том, чтобы дать историку новые способы обработки информации, новые принципы подготовки фактов для их анализа.

Здесь предстоит большая совместная работа. Сначала надо приспособить уже существующие машинные методы, которые нашли апробацию в смежных науках, а затем понять перспективы, возможности и структуру системы специальных моделей исторических процессов.

Проблема использования машинных методов в истории сложна, чрезвычайно сложна! Она имеет много аспектов, и пройдет еще немало времени, прежде чем машинные методы станут естественным инструментом в

арсенале средств историка. Однако кое-что очевидно уже сегодня, и более или менее понятно, «с чего начать».

Одна из основных форм деятельности, отнимающая у историка львиную долю его времени,— это поиск необходимой информации. Думается, первое, что реально будет сделано и внедрено в практику, т. е. широко будет использоваться историками,— это разнообразные поисковые системы. Чтобы иметь функционирующие поисковые системы, необходима, конечно, немалая предварительная работа. Прежде всего для этого надо переписать на магнитные носители памяти, например, на диски, содержание всех книг и документов или в крайнем случае их подробное резюме. Эта работа не одного дня, не одного года, но она неизбежно должна начаться, и по мере создания фонда «магнитных библиотек» историки во все большей степени будут ей пользоваться.

«Магнитная библиотека» позволит совершенно по-новому организовать труд историка и полностью перестроить все архивное дело. У историка исчезнет необходимость просматривать тысячи документов, чтобы найти тот единственный, который ему нужен. Это за него сделает машина.

Конечно, формулирование вопроса потребует от историка определенных навыков, специальной квалификации и таланта: машине надо будет уметь задавать вопросы!

Характер труда историка качественно изменится и интенсифицируется в десятки раз. Ему не придется перелопачивать тонны малопродуктивной руды. Некоторые формы деятельности, например составление библиографических справок, всякого рода хроник и т. д., просто исчезнут. Часть из них можно поручить машине, а другие окажутся просто ненужными. Центр тяжести работы историка, не обремененного поисками факта, переместится в сторону его анализа. Освободившись от рутинного труда, историк станет иметь гораздо больше возможностей для творчества, для проявления своей индивидуальности.

В последние годы получили большое развитие разнообразные методы распознавания образов, основанные на теории тестов. Эти методы родились в 50-х годах в связи с диагностикой неисправностей релейно-контактных схем и ЭВМ (С. В. Яблонский). В последующие

годы они получили дальнейшее развитие и стали применяться во многих областях человеческой деятельности, например, в геологии для поиска редких полезных ископаемых (Ю. И. Журавлев), в медицине, географии и т. д. Очевидно, эти методы найдут широкое распространение во многих областях истории — для идентификации и датировки текстов, предметов искусства, предметов домашнего обихода и т. д.

Но область применения этих методов не будет ограничиваться только такими относительно простыми задачами.

Методы, о которых сейчас идет речь, приспособлены для отыскивания «существенных признаков» явлений. Эти существенные признаки можно трактовать как существенные причины, определяющие протекание тех или других процессов.

Эти методы представляют собой специальным образом организованный перебор возможных вариантов, перечень которых требует участия экспертов. Таким образом, использование методов диагностики в истории требует совместного участия математиков и историков. Успех диагностики в геологии зависел не только от математиков и, может быть, в первую очередь не от математиков, а от геологов, от качества того материала, математическую обработку которого проводили математики.

Уровень понимания того, как следует формировать информационные массивы и строить процедуры их обработки, достаточен сегодня, чтобы начинать конкретные исследования. Однако было бы большой ошибкой думать, что необходимые методы уже созданы. Пока можно говорить только о принципах их создания, говорить, на базе какой математической техники они могут быть созданы. Но чтобы добиться успеха, получить новые факты, предстоит большой совместный труд историков и специалистов по математической теории распознавания и организации экспертиз.

Если для изучаемого процесса удастся построить математическую модель (или имитационную систему), то возможности и глубина анализа становятся совершенно новыми.

В настоящее время получили уже значительное развитие модели, имитирующие экономические процессы и военные действия. Поэтому вполне реально начать

систематическое изучение с помощью имитационных моделей разнообразных экономических процессов и военных ситуаций прошлого.

Однако здесь мы сталкиваемся с одной сложностью. Модели должны быть достаточно обеспечены исходной информацией. По-видимому, для изучения античной эпохи или средних веков мы не можем рассчитывать на достаточно полную информацию. Поэтому имитационные модели окажутся более полезными для изучения новой и новейшей истории.

Возьмем, к примеру, развитие капитализма в XIX веке. Имитационные модели позволят изучить и детализировать роль различных факторов экономического, правового, военного характера, которые стимулировали или тормозили развитие капитализма.

Один из центральных теоретико-познавательных вопросов исторической науки состоит в том, чтобы понять границы субъективного — увидеть, что уже не зависит от личности, от его решений, а является объективной неизбежностью.

В решении подобной проблемы имитационные системы могут оказать неоценимую услугу историкам. Изучая предельные возможности экономики, решая некоторые задачи на максимум, варьируя систему правовых отношений и налоговую политику, мы можем обнаружить скрытые закономерности, которые объективно существуют, но которые мы не видим под спудом противоречивых фактов.

Очень важно выбрать конкретный объект исследования.

Одним из таких объектов изучения могла бы быть вторая половина XIX века в России: от момента освобождения крестьян до отстранения Витте.

Для военных историков может представить большой интерес анализ разнообразных военных операций и целых войн. Модели, которые здесь придется изучать, относительно простоты, если говорить о XVIII или XIX веках.

Но, вероятно, наибольший интерес будут представлять военно-экономические модели, имитирующие целые отрезки истории.

Имея в своем распоряжении полноценную вычислительную систему третьего поколения, можно, например,

поставить задачу составления имитационной модели всей наполеоновской эпохи. С точки зрения математика, такая работа вполне возможна, поскольку вся эта эпоха великолепно изучена, мы знаем и все те решения, которые принимались, и все следствия этих решений.

Возникает вопрос: а зачем это нужно? Разумеется, не для того, чтобы поправлять историю. Это занятие оставим писателям-фантастам.

Практическая целесообразность имитационных моделей в извлечении урока для настоящего и будущего. История, как нам кажется, более всего подходит для роли своеобразного экспериментального полигона. Здесь эксперимент ни в какой мере не может что-либо изменить в судьбе исторического деятеля или народа в целом, зато может вскрыть ускользнувшие от внимания историков детали, возможности, причины и следствия, которые могут оказаться весьма поучительными.

Впрочем, возможно, что сами историки захотят использовать математические методы для решения иных задач и изберут для моделирования другие темы и ситуации. Но в том, что современная технология научного анализа в скором времени завоюет определенные позиции и в исторической науке — вряд ли приходится сомневаться.

Некоторые проблемы и трудности

Итак, мы видим, что, несмотря на логические несовершенства, на существование целого ряда трудностей, метод полностью формализованных и имитационных моделей уже начинает широко использоваться при изучении и управлении общественными процессами, и перспективы его удивительны. Этот метод развивается самостоятельно и давно уже не является простым переносом физических методов анализа в сферу общественных дисциплин. Сегодня он уже представляет собой довольно гибкий инструмент исследований, и его возможности, вероятно, значительно превосходят степень их понимания, а тем более его практического использования.

Расширение области применения методов моделирования сулит значительные результаты не только теоретического, но и прикладного характера. Однако, как мы

видели, существует целый ряд процессов, весьма важных при формировании решений, в том числе государственных, возможность изучения которых с помощью формализованных моделей представляется весьма проблематичной.

Дальнейшее продвижение в этой области потребует значительно более тесного контакта специалистов-общественников и математиков, организации их совместной работы. Характер организации этой работы, выбор вопросов и очередность их рассмотрения требует специального обсуждения. Прежде всего хотелось бы, чтобы специалисты-общественники стремились не столько к тому, чтобы овладеть элементами математического аппарата (для этого существуют математики), сколько к тому, чтобы понять место формализуемых методов анализа, представить себе программу исследований в виде определенной системы, в которой важное место занимает исследование фундаментальных вопросов.

До сих пор экономисты, использующие математические модели, сосредоточивают, например, свои усилия лишь на решении конкретных задач планирования, а центральные вопросы политэкономии социализма, понимание которых действительно откроет кладовую неиспользуемых возможностей и позволит качественно изменить коэффициент полезного действия нашего экономического организма, изучаются по-прежнему только традиционными методами. В то же время математики сами по себе с подобными проблемами вряд ли могут справиться, а сложность возникающих проблем исключает надежду на серьезный успех их анализа традиционными методами политэкономии.

К числу таких фундаментальных проблем, от решения которых существенным образом зависит успех использования электронной вычислительной техники в науках об обществе и управления обществом, значительное место занимают модели поведения.

Процесс управления человеческим коллективом, совершающим определенную деятельность, сводится не только к решению задач планирования. Обычно имеют дело со сложной системой воздействий, экономического и неэкономического типа. Приказы, законы, системы экономических и неэкономических поощрений, вложение средств в развитие культуры и т. д. — все это преследует

те или другие цели, которые сводятся в конечном счете к интенсификации функционирования коллектива и общества в целом.

Понятие «интенсификация» здесь, конечно, не носит утилитарный, чисто экономический смысл. Построение программы развития общества предполагает достижение не только экономических, но и политических, моральных, идеологических целей, достижение определенного эстетического комфорта и т. д. Но реализация подобных программ так же, как и чисто экономических, требует определенных «воздействий» на общество.

Создавая те или другие управляющие воздействия, мы должны знать отклик, реакцию объекта — иначе акт управления лишается всякого смысла. В простых задачах физики и техники эта реакция определяется теоретически или экспериментально, если нет хорошей (надежной) теоретической модели.

Однако и в технике традиционная схема не всегда оказывается достаточной. Уже сегодня мы сталкиваемся со столь сложными техническими системами, что экспериментирование с ними крайне затруднено. К числу таких систем относится, например, система глобального лоцирования воздушного пространства со всей обработкой информации и всей системой каналов связи, включая самолеты, находящиеся в воздухе. В условиях систем такого масштаба приобретает огромное значение умение построить интересующие нас характеристики системы по информации о поведении подсистем, над которыми могут быть произведены те или другие эксперименты.

Та же проблема возникает при исследовании процедур управления человеческим коллективом. Эксперименты с коллективом, даже достаточно малым, — вещь чрезвычайно деликатная. Поэтому при построении модели поведения коллектива мы должны опираться прежде всего на информацию о поведении отдельных его членов.

Работа здесь, по существу, еще не начата. Исследование упирается в почти полную неизученность целого ряда глубоких социальных и психологических проблем, которые не способен решить математик и не способен самостоятельно поставить социолог или психолог, поскольку специалист в области конкретных социальных исследований, как правило, не представляет себе своего места в таком сверхконкретном деле, как проектирование

систем обработки информации и автоматизации процедур принятия решений.

В предыдущих главах мы говорили о месте и сложности разнообразных проблем прогнозирования. Техника прогнозирования уже сделала свои шаги. Прогнозы экономического роста, прогнозы технического прогресса и демографии (на небольшие отрезки времени) уже сегодня достаточно широко используются. Однако далеко не все стороны деятельности человеческого общества в такой же степени могут быть предсказаны.

Выше мы говорили о моделях поведения человеческого коллектива. Но эта модель не может быть статической. Происходит непрерывное, все ускоряющееся развитие производительных сил. Изменение материальных условий существования общества приводит к непрерывной эволюции свойств управляемого объекта — человеческого общества. В «доброе старое время» характерный масштаб изменений материальных условий существования человеческого общества был существенно больше человеческой жизни. Изменение технологической обеспеченности человеческого существования позволяло обществу довольно легко адаптироваться, не создавая крупных противоречий с естественными консерватизмом (неизбежным для стабильности существования) человеческого мышления. Разумеется, революционные катаклизмы намного ускоряли эволюцию человеческих представлений. Но в периоды между революционными потрясениями эволюция шла относительно медленно.

Сейчас все эволюционные процессы ускорены во много раз, и вряд ли можно серьезно говорить о возможности возвращения общества к прежним темпам своего развития. Вся история человеческого общества отвергает подобную мысль. Значит, мы будем жить в тех условиях, когда характерный масштаб изменения структуры технологий и уровня производительных сил будет сравним или меньше жизни одного поколения. Это обстоятельство приводит сразу к целому ряду следствий, учет которых необходим при проектировании системы научного обеспечения процедур принятия решений.

К. Маркс в свое время писал: «Царство свободы начинается в действительности лишь там, где прекращается работа, диктуемая нуждой и внешней целесообразностью, следовательно, по природе вещей оно лежит по

ту сторону сферы собственно материального производства» (К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 25, ч. II, стр. 386—387).

На протяжении всей истории нужда была постоянным спутником большинства людей. Их жизнь была наполнена заботой о еде, одежде, крыше над головой, и на это тратились физические и интеллектуальные силы. Что же мешало людям давным-давно избавиться от нужды? Утописты отвечали на этот вопрос упрощенно, полагая, что все дело только в социальном неравенстве, и оставляя без внимания еще одну причину — исторически обусловленный низкий уровень развития производительных сил, прежде всего орудий труда. Первобытное общество не знало такого социального неравенства, которое появилось позже и которое действительно превратилось в главную причину страдания массы людей, но именно тогда, в условиях дикости и полудикости, человек больше всего был поглощен заботой о том, чтобы выжить.

Вот когда общество достигнет такого уровня развития производительных сил (и такой производительности труда), при котором на создание продукта, необходимого для существования и воспроизводства рода человеческого, будет тратиться незначительная часть времени, физических и духовных сил, труд людей освободится от диктата «внешней целесообразности».

Уже сейчас человечество располагает реальными возможностями для достижения своей мечты о «царстве свободы». Мешает, как говорил В. И. Ленин, капитализм, накопивший огромные богатства и ставший рабом этих богатств.

Высокий уровень развития производительных сил и особенно колоссальные потенциальные возможности их дальнейшего роста убедительно подчеркивают антигуманистическую сущность современного капитализма. Она проявляется не только в том, что капитализм использует производительные силы в своих эгоистических интересах, что львиная доля национальных богатств расходуется на гонку вооружений, что все изощреннее становятся формы и методы погони за сверхприбылью и т. д., но и в том, что он развращает человека, навязывает ему потребительскую идеологию. На Западе все больше и больше мыслящих людей начинают понимать это.

Социализм отвергает потребление как самоцель, коммунистическая партия неуклонное повышение жизненного уровня трудящихся считает одним из важнейших условий расцвета личности, гармонически сочетающей в себе духовное богатство, моральную чистоту и физическое совершенство.

Отсюда вытекает задача более глубокого изучения структуры потребностей и тенденций ее развития.

Замыкание экономических программ неизбежно происходит через программы социального развития. Здесь просматривается четкая обратная связь: удачная программа социальных мероприятий приводит к повышению эффективности народохозяйственного организма. Увеличение темпов роста национального продукта позволяет, в свою очередь, эффективнее реализовать социальные программы и т. д. Социальные программы стоят денег, это такие же капитальные затраты, как строительство новых производственных мощностей, причем по мере насыщения общества элементарными продуктами потребления, социальные программы будут, вероятно, занимать все большую и большую часть бюджета развитых социалистических стран. Таким образом, специалист, изучающий и рассчитывающий программу развития промышленности, должен рассматривать проблему в комплексе — он должен оценивать возможные альтернативы программ общественного развития. Но эти программы должны формулировать специалисты-общественники. Если здесь будут альтернативы, то математики и специалисты по управлению смогут оценить их реализуемость.

Еще одна из моделей поведения, которая пока еще отсутствует, но без которой, вероятно, будет очень трудно построить рациональную автоматизированную систему управления, — это модель поведения управленческого аппарата.

Вторая техническая революция привела не только к огромному росту промышленной продукции. Более важно то, что резко усложнились технологии, ускорились процессы замены номенклатуры выпускаемых изделий и качественно усложнились разнообразные производственные связи. Управление промышленными комплексами и отдельными предприятиями настолько услож-

нилось, что потребовало многократного увеличения управленческого аппарата *. Уже сегодня количество управленческого персонала сравнимо с количеством рабочих, непосредственно стоящих у станка. Вместе с дальнейшей автоматизацией производственных процессов процент «белых воротничков» в промышленном производстве будет, вероятно, увеличиваться, и в развитых странах он в скором времени станет больше 50.

Это обстоятельство имеет разнообразные следствия. В капиталистических странах оно приводит, например, к значительным социальным сдвигам, поскольку меняется сама структура наемного рабочего труда. Определенная деформация социальной структуры общества происходит в связи с техническим прогрессом и в социалистических странах. Эти процессы, разумеется, требуют внимательного и детального анализа, поскольку их игнорирование может дать искаженную оценку ситуации.

Но здесь мы хотим остановиться на следствиях другого характера.

Часто путают автоматизацию производственных процессов с автоматизацией управления. Это совершенно разные вещи. Автоматизация производственных процессов направлена на более производительное выполнение старой работы. Поэтому она необходимо приводит к уменьшению объема человеческого труда — к уменьшению численности рабочих.

Автоматизация управления имеет своей целью научиться решать новые задачи, которые старая технология решать не способна в принципе. Она имеет целью минимально снизить риск ошибочных решений. Огромная концентрация ресурсов и капитала, которая возникла в наше время, делает эту проблему невероятно актуальной. Каждый небольшой просчет чреват глубочайшими последствиями.

Таким образом, рост управленческого аппарата связан с ростом числа и сложности задач. Усложнились прежде всего традиционные задачи планирования и

* Заметим, что рост управленческого аппарата — это объективный процесс, вызванный ростом производительных сил и промышленного производства. Он неизбежен при сохранении старой технологии обработки информации и старых процедурах принятия решений. Замедлить рост управленческого аппарата можно только усовершенствованием технологии обработки информации и процедур принятия решений.

управления. Разнообразные расчеты балансового (бухгалтерского) типа очень сильно разрослись в объеме, число необходимых арифметических операций для их реализации возросло за послевоенные годы в сотни и в отдельных случаях в тысячи раз. Следовательно, чтобы сохранить качество таких расчетов на прежнем уровне, надо либо многократно увеличивать число счетных работников, либо вводить автоматизацию. Далее — во много раз возросли планируемые ресурсы, поэтому если раньше ошибки планирования было легко исправить, то теперь всякого рода просчеты в планировании почти катастрофичны.

Одновременно появилось и много новых задач. Создание пассажирского сверхзвукового лайнера типа Ту-144 или крупного энергетического объекта типа Усть-Илимской ГЭС занимает доброе десятилетие. Ассигнуя сотни миллионов или даже миллиарды рублей для создания и реализации подобного технического проекта, надо быть уверенным, убежденным в целесообразности подобных проектов. Для этого мало сделать экономическое обоснование с позиций сегодняшнего дня. При наших темпах изменения условий жизни человека на Земле очень важно оценить значение функционирования подобного энергетического комплекса в тех условиях, когда он войдет в строй.

Таких задач, которые раньше никогда в системе управления не решались, можно назвать еще много.

Таким образом, управленческий аппарат растет не только количественно. Увеличивается и его роль в жизни общества *. Это обстоятельство вызывает к жизни еще одну проблему управления — управления аппаратом управления.

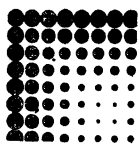
Многими уже замечена одна особенность учреждений, наполненных «белыми воротничками»: эти учреждения начинают жить как бы в некоем вакууме в отрыве от тех целей, ради которых они были созданы. Это обстоятельство удачно отображено в знаменитом «законе Паркинсона».

* Заметим, что за последние 25—30 лет возникло много организаций управленческого типа (как национальных, так и международных), не связанных непосредственно с производством. Их задача — организация обмена информацией, объединение усилий, прогностика и т. д.

Автору этой работы в 1968 году пришлось провести во Франции несколько недель и иметь дело с ЮНЕСКО. Это было как раз то время, когда страна была охвачена всеобщей забастовкой. В стране были закрыты университеты и заводы. В Париже не работал городской транспорт, и в течение более чем месяца ЮНЕСКО была отрезана от всего мира. Но она функционировала как ни в чем не бывало. Количество формируемых документов, совещаний и т. д. нисколько не уменьшилось. Каждый из членов многочисленного коллектива, входя в здание, забывал, что на работу надо ходить пешком, что почта и телеграф не дадут никакой информации и т. д. Организм жил своей собственной жизнью. Конечно, долго так не могло продолжаться. Но на два месяца хватило внутренних стимулов.

Понять содержание такой жизни, ее мотивы — очень важно для решения совершенно конкретных вопросов, таких, например, как создание рациональной иерархии, структуры информационных потоков, системы поощрений и штрафов для наилучшего выполнения тех задач, в интересах которых был создан управленческий организм.

ПРОГРАММНЫЙ МЕТОД — ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ НАРОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ



Программный метод в последние годы был не только предметом многочисленных исследований экономистов, математиков, но начал во все большей степени оказывать влияние на конкретную деятельность специалистов в области планирования и управления, стал включаться в курсы учебных заведений. Этот метод формирует научную концепцию исследования многих комплексных социально-экономических проблем, требующих решения в рамках централизованной социалистической экономики. Он является выражением системного подхода к этим проблемам и дает основу для построения научно обоснованных оценок процедур планирования и управления в народном хозяйстве и пути их совершенствования.

Здесь мы попытаемся наметить связь программного метода с общеметодологическими проблемами, обсудить возможную схему процедур планирования и управления с помощью программного метода, а также место и значение формальных (или формализуемых) схем при решении комплексных проблем, требующих программного подхода.

Возникновение программного метода

Термин «программный метод» все чаще и чаще появляется на страницах журналов и книг, посвященных управлению и планированию в нашей стране. Часто этот термин воспринимается как новое направление экономической мысли, рожденное успехами в использовании электронной вычислительной техники в планировании и

управлении, а иногда даже как нечто привнесенное в нашу страну извне. В действительности программный метод не является изобретением последних лет. Идеи программного планирования родились у нас в стране, когда молодая Советская Республика победоносно закончила гражданскую войну и приступила к восстановлению разрушенного народного хозяйства.

В 1920 году наша партия поставила генеральную цель — восстановление народного хозяйства после военной разрухи и создание возможностей его дальнейшего интенсивного развития. Чтобы найти реальные конструктивные пути решения этой генеральной проблемы огромного политического значения, воплотить ее в перечень конкретных народнохозяйственных мероприятий, в конкретную программу использования ресурсов, была привлечена группа виднейших специалистов, таких, как Кржижановский, Винтер и многие другие. В результате длительной совместной работы политических руководителей и ученых была сформулирована основная концепция: чтобы поднять нашу промышленность, чтобы обеспечить ее интенсивное развитие в будущем, необходимо в первую очередь создать современную энергетическую базу — так родился план ГОЭЛРО, первая народнохозяйственная программа первого социалистического государства.

Партия поставила общую политическую цель. Эксперты — условимся называть этим термином специалистов и всех лиц, занимавшихся разработкой программы, — предложили ряд крупных мероприятий, требовавших использования материальных и людских ресурсов страны, необходимых для достижения общих целей, поставленных партией. Подчеркиваем: необходимых, но не достаточных. Программа ГОЭЛРО, как и любая народнохозяйственная программа, не была эквивалентна программным задачам партии. Программа ГОЭЛРО должна была лишь в наибольшей степени содействовать их достижению.

Без реализации этой программы было невозможно построение основ социализма.

Программа ГОЭЛРО в том виде, в каком она была принята, была не единственной альтернативой. Переписка В. И. Ленина с Кржижановским и другими членами комиссии, готовившими проект, показывает, насколько

внимательным и всесторонним (теперь бы мы сказали — системным) был анализ различных вариантов, которые предлагали специалисты. В. И. Ленин всегда требовал глубокого обоснования предлагаемых вариантов решений и сравнения эффективности этих вариантов по разным показателям, причем всестороннему анализу подвергались прежде всего исходные идеи проекта. Так, например, в одном из писем он просит поручить К. А. Кругу, известному в то время специалисту в области электротехники, дать обоснование самой идее, лежащей в основе проекта, сравнить возможные пути развития промышленности на традиционной базе с перспективой ее развития на базе создания крупных районных электроцентралей. В конечном итоге, как мы знаем, был выбран путь развития промышленности на принципиально новой по тем временам технической основе всеобщей электрификации.

В дальнейшем наша страна знала еще целый ряд крупных программ общегосударственного значения. Таким образом, метод программ является традиционным методом управления в социалистическом обществе. Однако программы принимались, как правило, лишь в исключительных случаях, когда возникала необходимость быстрого развития отдельных отраслей промышленности или сельского хозяйства.

В последние годы целым рядом научных коллективов изучается возможность превращения метода формирования и реализации программ в естественную норму функционирования социалистического государства. Переход на программный метод требует решения многочисленных проблем теоретического и прикладного характера, требует существенного изменения структуры и методов работы плановых органов.

Одно дело — формирование и выполнение отдельной программы. Совсем иные проблемы возникают, когда программы охватывают все сферы функционирования народного хозяйства.

По существу, речь идет о том, чтобы спроектировать некоторый механизм, сформировать систему процедур, позволяющую:

а) во-первых, вырабатывать программу, т. е. систему целей и задач — конкретных мероприятий, требующих создания и использования материальных ресурсов, ме-

роприятий, реализация которых необходима для достижения генеральных политических целей;

б) во-вторых, построить систему планирования, обеспечивающую реализацию программ,— построить такую систему, которая позволила бы связать через программы конкретное планирование с общими политическими задачами. Это планирование качественно отличается от системы планирования «от достигнутых показателей». Здесь планирование происходит от конечных целей (а следовательно, от конечного продукта);

в) в-третьих, построить такую систему функционирования экономического механизма, которая наилучшим образом обеспечивала бы выполнение плана.

Таким образом, использование программ как основы планирования и управления народным хозяйством — не просто составление методов расчета. Это прежде всего создание новой организационной системы, создание ее принципов и научных основ.

Проблемы проектирования организационной структуры управления

Проблемы проектирования механизмов управления и функционирования социалистического народнохозяйственного организма и всей организационной структуры в целом находятся сейчас в центре внимания научной общественности Советского Союза и других социалистических стран. Исследования в этой области тесно связаны с тем непрерывным процессом совершенствования системы управления, который происходит в нашей стране. Исследования в области программного метода делают все вопросы, связанные с проблемами экономических механизмов, особенно актуальными. Возникает настоятельная необходимость увязать практику совершенствования экономических механизмов с общеметодологической основой управления социалистическим народнохозяйственным организмом, с развитием и внедрением программного метода.

Стихийность, определявшая и определяющая спонтанное, нерегулируемое развитие капиталистического общества, имеет в условиях социализма единственную

альтернативу — планомерное развитие, направленное на постепенное превращение социалистического общества в коммунистическое.

Реализация этого основополагающего принципа требует существования развитой специальной, отвечающей общественному характеру собственности системы механизмов управления и функционирования народнохозяйственного организма социалистического государства, организующих развитие общества, его материальную и духовную жизнь и подготовляющих переход к коммунизму.

Вопросы, возникающие при проектировании этих механизмов, требуют серьезного и глубокого научного анализа и решения новых актуальных проблем экономики и научного коммунизма. Их систематическое изучение идет особенно интенсивно в последние годы. Подняты и активно обсуждаются различные, часто очень трудные проблемы, не имеющие прецедента в истории науки.

Перед проектируемыми механизмами поставлены разнообразные и сложные требования. Прежде всего они должны обеспечить высокую производительность труда, ибо, как говорил В. И. Ленин, победит то общество, тот политический строй, который обеспечит наиболее высокую общественную производительность труда.

Проектируемые механизмы управления призваны обеспечить быстрое целенаправленное использование больших ресурсов, не допускать их распыления, так как уровень развития производительных сил и темпы научно-технического прогресса требуют невиданной ранее концентрации средств производства, и одновременно в максимальной степени поставить на службу общества личные творческие качества индивидуума, его активность и инициативу. Наконец, эти механизмы должны быть действительно механизмами, т. е. функционировать и развиваться вместе с развитием производительных сил, адаптироваться к изменениям в жизни общества — обладать достаточно развитой системой обратных связей и свойствами приспособления.

Таким образом, структура организационной системы управления народнохозяйственным планом должна, очевидно, удовлетворять следующей формуле:

централизация → программа → децентрализация

Высокая централизация на уровне выработки программ и планирования, которая обеспечит формирование системы целей, отвечающих общим задачам развития социалистического общества, должна сочетаться с децентрализацией на этапе реализации программы.

Как же решить эту задачу практически? Каковы должны быть меры централизации и децентрализации прав и ответственности? Какова должна быть сама организационная структура?

Это и есть главные вопросы научного анализа.

Программный метод и оптимальное планирование

В последние 20 лет широкое распространение нашли термины «оптимальный план», «оптимальное планирование». Идеи оптимизации чрезвычайно плодотворны. Сегодня нельзя представить дальнейшего совершенствования системы управления без их использования. Внедрение идей оптимизации во многом обязано работам замечательных советских экономистов и математиков Немчинова, Новожилова, Канторовича и их учеников.

Часто высказывалось опасение, не нанесет ли программный метод ущерб дальнейшему развитию методов оптимального планирования.

Я думаю, для таких опасений нет никаких оснований: программный метод планирования ни в коем случае не противопоставляется оптимальному планированию, а включает в себя его идеи и все богатство созданных методов.

Одно из основных понятий теории управления — это понятие цели управления. Строго говоря, само понятие оптимального управления не имеет смысла, если нет цели управления. Проще всего пояснить термин «цель управления» на примере транспортной задачи. Предположим, что имеется некоторое количество магазинов, которые заказывают товары на базе, и существует организация, которая должна доставить эти грузы. Цель управления здесь ясна — удовлетворить заявки магазинов. Но реализовать доставку грузов, т. е. достичь цели управления, можно очень многими способами: можно по-разному спланировать маршруты автомашин, перевозящих грузы.

В тех случаях, когда достижение цели управления может быть реализовано многими способами, возникает необходимость сравнивать различные способы достижения цели — устанавливать, какой из них лучше, а какой хуже. Возникает понятие качества управления (критерия, целевой функции). Следовательно, если есть цель управления и есть критерий, то задача сводится к отысканию такого способа управления (такого плана), который был бы оптимальным. Эта точка зрения получила большую популярность, и специальные (да и не специальные) статьи запестрели словами «оптимальный план», «оптимальное планирование» и т. д.

Так возникла «идеология» оптимальности, которая пришла вместе с ЭВМ в экономику, была очень важным и прогрессивным этапом ее развития. Практическое значение экономико-математических исследований трудно переоценить. По существу, сегодня они являются той базой, на которой строится математическое обеспечение создающихся автоматизированных систем управления. Реализация принципа оптимальности имеет два этапа. Этап формирования целей и критерия и этап составления плана, оптимального по данному критерию. В разных задачах значение и трудности реализации этих этапов могут быть весьма различны.

В задаче планирования перевозок критерий сформулировать просто. Управление, т. е. план поездок автомашин, будет, очевидно, тем лучше, чем меньшее расстояние проедут автомашины, доставляющие груз. Таким образом, задача оптимального планирования перевозок выглядит следующим образом: надо так определить маршруты всем автомашинам, чтобы выполнение заявок магазинов потребовало бы минимального количества километров пробега автомашин.

Теория оптимального планирования разработала эффективные методы планирования и всех необходимых для этого математических расчетов в тех случаях, когда цель управления и критерии нам точно известны. Но, к сожалению, так бывает далеко не всегда.

Оказывается, что не только критерий, но и цель управления в конкретных ситуациях определить довольно трудно. Практически никогда нельзя одним числом, одним критерием оценить функционирование предприятия, объединения или отрасли. Обычно критериев бы-

вает много, и они часто противоречат друг другу. Например, себестоимость и качество, объем по валу и разнообразие номенклатуры и т. д. Даже такой простой вопрос — перевыполнение плана: хорошо это или плохо? — не может быть решен в рамках данного предприятия. В одном случае это хорошо, а в другом может привести лишь к омертвлению капитала.

Исходная позиция оптимизационной концепции в чем-то похожа на концепцию Архимеда — дайте мне критерий — и будет оптимальный план! Вот тут-то и кроется главная трудность. Архимеду было трудно найти точку опоры. Но, наверное, еще труднее находить подходящий критерий.

Человек, не искушенный в проблемах, связанных с принятием решений, всегда с недоумением задает вопрос: неужели действительно так трудно понять, что такое хорошо, а что такое плохо, и оценить сделанную работу или план? Оказывается, что да, очень трудно. Более того, если окажется легко оценить качество принятого решения, то значит и задача была простой.

Мы только что обсуждали одну из самых простых экономических задач — транспортную и пришли к выводу: вот здесь уже все действительно просто. Но даже и в этой задаче есть «подводные камни». В 1960—1961 годах ВЦ АН СССР участвовал во внедрении экономико-математических методов в работу строительных организаций Москвы. В частности, решались задачи организации перевозок строительных материалов. Была выделена для эксперимента одна из автобаз, которая каждую пятницу сдавала в ВЦ АН СССР заявки. Стандартная программа выдавала в субботу решение задачи в форме накладных для каждой из автомашин базы. После одного квартала подобной работы наша автобаза оказалась в глубоком прорыве! Что же произошло? А вот что. Математики отобрали тот план выполнения заявок, который им казался наилучшим и который обеспечивал минимальный километраж пробега автомашин при условии обязательного выполнения заявок строительных организаций. Однако организация, которой подчинялась база, оценивала ее работу по количеству тонна-километров, экономии бензина и многим другим показателям, в которые, однако, не входил показатель, характеризующий цель управления — выполнение заявок.

Количество тонн наша автобаза перевезла ровно столько, сколько было необходимо, чтобы выполнить заявки, и больше того, что перевозилось раньше. Но так экономно обошлась с километрами, что план, т. е. количество тонна-километров, оказался невыполненным.

Причина нашего расхождения с организацией, которая оценивала работу автобаз, как уже было сказано, состояла в том, что в оценку работы автобазы формально не входила степень выполнения заявок, мы же требовали, чтобы основное ограничение — цель управления (выполнение заявок), ради которой и создана эта организация, — было бы неукоснительно выполнено. Если бы мы не включили это ограничение в алгоритм, то результат был бы совершенно абсурдным: каждая автомашина должна была сделать только одну поездку и со всем своим грузом щебня или кирпича кружить без остановки целый день по Москве.

Здесь, в этом эпизоде, «подводный камень» было довольно легко устранить: достаточно было объяснить вышестоящей организации (тресту, который управлял автобазами), что в ее же интересах изменить систему показателей, по которым оценивается работа отдельных баз.

Но очень часто мы оказываемся в иной ситуации, когда однозначная оценка деятельности действительно оказывается очень трудной, а подчас даже и невозможной.

Рассмотрим любое предприятие. Его деятельность оценивается многими показателями: вал, качество, номенклатура, себестоимость, рентабельность и т. д. и т. п. Мы уже обратили внимание читателя, что оптимизация по многим из этих требований противоречит друг другу. Стремление достичь максимального валового продукта противоречит стремлению добиться максимального качества. Улучшение качества, требующее дополнительных средств, вкладываемых в покупку более качественного исходного материала, в более совершенную технологию, приводят неизбежно к повышению себестоимости, к уменьшению рентабельности и т. д. Как здесь сформировать критерий качества — единственный показатель, без которого любые экономико-математические методы будут в лучшем случае бессмысленными упражнениями?

Ответ на этот вопрос не только сложен, но и в известном смысле пессимистичен; отправляясь только от той

информации, которая связана с данным предприятием, ответить на этот вопрос нельзя. Нельзя часто ответить и на более простые вопросы. Например, заводу швейных машин определен план в 10 000 машин в год. Хорошо или плохо перевыполнить план и выпустить 12 000 швейных машин? Хорошо, если емкость рынка велика и люди купят эти 12 000 швейных машин. А если рынок уже заполнен, то 2000 «лишних» швейных машин окажутся на складе, а труд и материалы, затраченные на их создание, будут фактически выброшены на ветер.

Может быть и другая ситуация. Выпускаются, скажем, телевизоры. На них расходуются дефицитная электроника, нужная для производства других, более важных товаров. Значит, перевыполнение плана производства телевизоров может привести к невыполнению плана производства оборудования, более важного для народного хозяйства. Предприятие не располагает подобной информацией и, следовательно, самостоятельно не может правильно сформулировать собственные цели.

Стало быть, ответ на вопрос о целях и критериях требует экзогенной информации — информации о системе следующего, более высокого уровня. Надо знать состояние дела на других заводах, во всей отрасли, знать емкость рынка и т. д.

Мы можем превратить задачу составления плана завода в задачу математического программирования лишь тогда, когда нам сообщается некоторая дополнительная информация, например, если задать предприятию уровень себестоимости, рентабельности и структуру выпускаемого ассортимента. В этих условиях задача составления плана может быть сведена к такому распределению заводских ресурсов, которое максимизирует суммарную валовую продукцию. А это уже задача, которая решается с помощью экономико-математических методов. Но можно поставить задачу и по-другому — максимизировать прибыль при заданном вале, себестоимости и т. д., и мы получим совсем другой план.

Таким образом, решить вопрос о критерии можно только в том случае, если мы выйдем за рамки данного завода, будем знать потребности отрасли, региона или объединения, т. е. будем знать целевую функцию следующей ступени промышленной иерархии.

Проводя подобный анализ и поднимаясь по ступеням иерархической лестницы от предприятия к объединению, от объединения к главку, от главка к отрасли и т. д., мы дойдем до уровня страны. Мы можем построить систему оптимального планирования в масштабах страны в том и только в том случае, если нам будет известен критерий, целевая функция для всего народнохозяйственного организма.

Какой бы совершенной ни была математическая теория составления плана, неправильный выбор целей может зачеркнуть все успехи.

Поэтому центральной проблемой, без решения которой бессмысленно говорить о создании, а тем более внедрении системы оптимального планирования, является проблема целей и критерия. Не трудности создания эффективных математических методов, даже не отсутствие нормативной базы, а отсутствие стройной системы процедур для выработки целей и критериев — вот что в первую очередь препятствует успешной реализации идей оптимальности. На решение этой проблемы и должны были быть, на наш взгляд, сфокусированы усилия специалистов.

Все перечисленные трудности, которые стоят на пути создания системы оптимального планирования, были поняты советскими специалистами уже в начале 60-х годов. Вот тогда и появился термин «программное планирование» *.

Многие из занимавшихся экономико-математическими методами постарались вдуматься в тот естественный ход вещей, который имел место на протяжении всех лет существования Советского государства, и опереться на его опыт.

Программный метод исходит из конкретной ситуации, которая сложилась в данный момент и определяется целями, которые общество ставит перед собой. Общая цель наша ясна — строительство коммунизма. Но ее достижение требует решения многих и многих проблем и времени. Поэтому возникает необходимость формиро-

* По-видимому, первый в начале 60-х годов слова «программное планирование» произнес Ю. П. Иванилов. Несмотря на то, что за последующие 10 лет исходные идеи обросли целым лесом моделей и алгоритмов, смысл термина «программное планирование» практически не изменился.

вать промежуточные цели и задачи. Эти цели и задачи формируются в директивах партийных съездов по развитию народного хозяйства с учетом конкретной политической ситуации, с учетом условий научно-технического прогресса, с учетом условий социального развития и т. д.

Для достижения этих целей (условимся называть их Генеральными Целями) необходимо решение разнообразных народнохозяйственных проблем, требующих создания и затрат ресурсов страны. Такой перечень проблем, выполнение которых необходимо для достижения Генеральных Целей, мы и называем Генеральной Программой, или Общей Программой, а отдельные ее составляющие мы называем частными программами или просто программами.

Частные программы решают различные задачи и, следовательно, могут иметь совершенно различный характер. Приведем некоторые примеры.

1. Достижение заданного уровня потребления.

2. Достижение заданного уровня обороноспособности страны.

3. Программа социального развития.

4. Крупные научные программы, в том числе программа освоения космоса, изучение океанских глубин и т. д.

5. Программа освоения того или другого региона, например Дальнего Востока или среднеазиатских пустынь.

6. Программа охраны окружающей среды и т. д.

Достижение Генеральных Целей может быть осуществлено с помощью различных программ. Поэтому составление программы — это не формальная процедура. Она требует совместной деятельности лиц, ответственных за достижение Генеральных Целей, и экспертов самого высокого ранга. Вспомним, что в формировании программы ГОЭЛРО, помимо группы ведущих ученых, непосредственное личное участие принимал В. И. Ленин.

Мы можем говорить, что Генеральная Программа сформулирована (или сформирована), если дан не только перечень мероприятий, но и некоторый проект ее реализации, т. е. определено количество конечного продукта, необходимого для ее реализации. Если Генеральная Программа сформирована, возникает твердая база для использования идей оптимального планирования,

поскольку формирование критериев теперь уже возможно.

Эти критерии могут быть сформулированы по-разному, в зависимости от характера информации, сообщаемой плановым органам инстанцией, формирующей программу. Предположим, что плановым органам сообщаются программы и минимально необходимый уровень их выполнения, т. е. минимально необходимое количество конечного продукта x_i^* . Тогда естественным критерием будет

$$I = \min_i \frac{x_i}{x_i^*}, \quad (!)$$

где x_i — фактический выпуск продукта номера i . Плановые органы будут стремиться построить план так, чтобы максимизировать этот показатель.

Если этап планирования осуществляется с помощью линейных моделей, то критерий (!) позволяет построить систему оптимального планирования на базе линейного программирования, а следовательно, использовать в полном объеме теорию Канторовича — Купманса (К — К-теория).

Таким образом, программный метод преодолевает главную трудность, стоящую на пути внедрения методов оптимального планирования, — он дает методику формирования критерия для народного хозяйства в целом.

Система планирования на базе программного метода существенно отличается от планирования на основе достигнутых показателей. И сами эти показатели теряют свою силу. При такой схеме планирования, когда в основу кладутся общие цели, исчезают традиционные вопросы: на сколько надо увеличить производство, например, нефти? 150 млн. тонн стали — это много или мало? Надо или не надо наращивать производство сырой меди и до каких пределов? И т. д. Программное планирование — это всегда планирование от конечного продукта, а не от достигнутых показателей предыдущего года. В программном планировании принципиально не существует разрыва между планированием производства и планированием снабжения. Баланс: по одежке протягивай ножки, как мы увидим, — это одна из главных особенностей программного метода планирования и управления.

Программный метод и децентрализация

Довольно широко распространено мнение, что программный метод требует полной централизации процедур принятия решений, что этот метод дает схему последовательного формирования директив. Эта точка зрения, на мой взгляд, глубоко ошибочна. Конечно, Генеральная Программа является выражением целей всего общества. Но она ставит лишь вехи, т. е. определяет общее течение экономического процесса. Она не может принципиально, да это, наверное, и не нужно, охватить все детали и частности производственной деятельности людей.

Возрастающая вместе с научно-техническим прогрессом сложность управления народнохозяйственным организмом страны, необходимость максимального использования конкретной информации, творческих способностей и потребностей отдельных людей делает необходимым широкое использование экономических механизмов в управлении. Это обстоятельство подчеркивается во многих партийных документах последних лет и прежде всего в решениях XXIV съезда КПСС и последующих постановлениях ЦК КПСС по совершенствованию всей хозяйственной деятельности. Целый ряд мероприятий, проводимых в нашей стране, в том числе создание хозяйственных объединений, являются проявлением этой объективной необходимости.

Когда говорят об экономических механизмах, то имеют в виду широкий комплекс процедур, обеспечивающих эффективное функционирование экономики страны и ее отдельных звеньев. Это в основном система поощрений (и штрафов) за результаты производственной деятельности. Но система материального стимулирования — лишь один из рычагов экономического механизма. Существует (и это объективный факт) определенный уровень рыночных отношений, прежде всего в сфере распределения потребительских товаров. Значит, необходимо изучать спрос и стремиться его удовлетворить. Следовательно, эти рыночные отношения также должны изучаться и быть включены в общий механизм. Но в отличие от стихийно складывающегося рыночного механизма капиталистического общества, рыночный механизм централизованного социалистического

государства содержит возможность управлять этими отношениями, воздействовать на них.

В предыдущем параграфе приводился пример трудностей, которые возникают с проблемой перевыполнения плана. Программы, разумеется, не могут предусмотреть решение всех подобных вопросов, и они должны решаться в рамках экономических механизмов. Предположим, что в процессе производства вскрыты новые резервы, например, за счет научно-технического прогресса, которые позволяют произвести данному предприятию больше продукции, чем это было запланировано. Если на нее существует спрос (со стороны отдельных граждан или предприятий) и если это дополнительное производство не помешает выполнению плана другими предприятиями, то, разумеется, дополнительная продукция должна быть произведена. Экономические механизмы могут быть сконструированы так, чтобы подобные вопросы решались автоматически.

Экономические механизмы неизбежно требуют определенного уровня децентрализации. Но эффективность этих механизмов и степень децентрализации определяются прежде всего их способностью обеспечить выполнение программы. Эту мысль можно пояснить на примере космического аппарата, который должен осуществить стыковку с орбитальной станцией. Математики заранее рассчитывают его траекторию, моменты включения двигателей, отделения ступеней. Траектория и вся система команд называется программой. Но реальность значительно сложнее расчетной схемы. Много обстоятельств, которые нельзя заранее учесть в принципе, могут изменить траекторию аппарата и не вывести его к цели. Поэтому космический аппарат снабжен сложнейшей системой механизмов стабилизации, навигационным оборудованием, вычислительной машиной и многим другим — и все это для того, чтобы обеспечить выполнение программы и вывести аппарат в заданный момент времени в заданную точку пространства для его стыковки с орбитальной станцией.

Конечно, связи отдельных экономических механизмов и Генеральной Программы значительно более сложны и опосредованы, чем это имеет место при управлении космической ракетой. Но в конечном счете именно способность реализовать программу и является критерием

оценки качества механизмов управления экономическим организмом.

Программный принцип выступает как единое начало для анализа всего комплекса проблем управления централизованной социалистической экономикой.

Четыре этапа программного метода

Общую систему процедур программного метода планирования и управления естественно разбить на четыре этапа:

1. Прогноз.
2. Формирование программы.
3. Собственно планирование.
4. Реализация программ.

Все это, разумеется, весьма условно, так как этапы тесно связаны между собой, тем не менее такой подход вполне оправдан. Прежде всего эти этапы отличаются друг от друга используемыми методами, структурой и уровнем детализаций моделей. Наконец, их исполнение находится в компетенции различных органов.

Прогноз составляется силами научных организаций, и его основная задача состоит в подготовке необходимой информационной базы для следующего этапа.

Формирование (и утверждение) программ происходит уже на другом уровне — на уровне принятия политических решений. Специалисты и исследователи здесь могут исполнять только роль консультантов и помощников.

Подчеркнем еще раз, что на этом этапе принимается программа, т. е. утверждаются директивы, которые лягут в дальнейшем в основу государственного плана.

Этап планирования, т. е. составление Государственного Плана, — это компетенция еще одного общественного института. Во всех социалистических странах подобные институты существуют. Это государственные плановые органы.

Этап реализации программ осуществляется всеми организациями государства, для которых план является законом, эта деятельность организуется с помощью определенного механизма, который непрерывно совершенствуется.

Теперь перейдем к описанию каждого из этих этапов.

Прогноз. Задачи этого этапа разнообразны и сложны. Их, по-видимому, целесообразно разделить на два класса. Первая группа задач относится к анализу «внешней информации», факторов экзогенных по отношению к изучаемому народнохозяйственному организму. Это прежде всего изучение тенденций развития международных отношений, международной торговли и рынка, перспективы технического прогресса, структуры и перспективы развития или истощения запасов полезных ископаемых, эволюции биосферы, перспектив развития отдельных регионов и т. д. Информация о всех этих факторах необходима для формирования целей, а следовательно, возможных вариантов Генеральной Программы. Весьма важным элементом прогностической деятельности должно быть, вероятно, изучение наших реальных возможностей воздействовать на эволюцию прогнозируемых факторов, управлять ими.

По существу, подобные прогностические исследования уже проводятся целым рядом научных организаций. Они могут быть связаны с разработкой программы, тем самым превратиться в систему.

Другая группа вопросов связана с изучением возможностей самого экономического организма.

В последние 10 лет получили широкое распространение прогнозы, основанные на экспертных оценках. Это, безусловно, очень важный инструмент познания. Кажется, однако, что иногда переоценивают достоверность информации, полученной с их помощью. Метод экспертных оценок действительно надежен лишь тогда, когда эксперты имеют «прецедент», т. е. когда речь идет о вещах, действительно хорошо известных эксперту. Такая ситуация бывает, как правило, лишь тогда, когда вопросы, которые ставятся эксперту, достаточно просты. С усложнением вопроса степень неопределенности и недостоверности оценок быстро возрастает. К тому же, как мы уже говорили, в методе экспертиз предполагается, что коллективное мнение более достоверно, нежели мнение отдельного эксперта, хотя можно привести много примеров, показывающих ограниченность этой гипотезы.

Вот почему автор полагает, что в прогностической деятельности должны значительно шире, чем это делается в настоящее время, использоваться математические модели. Объединяя математические модели, описывающие развитие прогнозируемого процесса с экспертными оценками отдельных параметров, мы получаем уже значительно более надежный инструмент прогнозирования, нежели чистые экспертизы. Конечно, не всегда это удается сделать, не всегда возможно построить достаточно надежную математическую модель. Но если такие модели могут быть построены, то они и должны сделаться фундаментом прогностической деятельности. Именно так и обстоит дело, когда идет речь о прогнозировании возможного характера эволюции изучаемой экономической системы.

Прогноз эволюции экономики — это не план. Здесь мы имеем дело с достаточно высоким уровнем агрегирования. Это важное обстоятельство значительно упрощает анализ и структуру используемых моделей.

Далее, план — это некоторая единственная траектория. Прогноз — это изучение возможностей. Следовательно, прогноз — некоторый пучок траекторий. Если пользоваться терминологией теории управления, то задача прогноза состоит в построении множества достижимости. Эта точка зрения на задачу прогноза сразу дает указание о структуре этого документа: прогноз — это документ, фиксирующий возможную степень достижения тех или иных целей в зависимости от способа наших действий.

В предыдущих параграфах мы уже говорили, что в схеме программного метода мы имеем дело только с конечным продуктом.

Обозначим через $I_1, I_2, \dots, I_n$ характеристики конечного продукта. Это могут быть объемы его производства в определенные годы, или общие интегральные характеристики. Это может быть и объем мощностей, производящих этот продукт. Нас будут интересовать максимально возможные значения этих критериев. Заметим сразу, что нельзя делать прогноз только по какому-либо одному критерию, не учитывая значения других. Поэтому прогноз неизбежно должен включать в себя решение серии оптимизационных задач типа изопе-

риметрических. Существуют и другие эффективные способы построения множеств достижимости.

Мы не будем обсуждать этот вопрос. Он заслуживает быть объектом специальных публикаций. Прогноз действительно будет успешным, если в пространстве критериев нам удастся построить некую область (рис. 3).

Каждая точка P может быть реализована при соответствующем выборе управлений (структуре инвестиции, маневре запасами, структуре выпуска и потребления и т. д.). Эту область естественно назвать множеством экономических возможностей. В самом деле, если окажется, что обсуждаемая программа обладает характеристиками (в терминах критериев $I_1, I_2, \dots, I_n$), которые определяют точку в этом множестве, то экономические возможности страны допускают ее реализацию.

Построение этого множества — важнейший этап развития программного метода.

Этому множеству в пространстве критериев соответствует множество в пространстве альтернативных вариантов генеральных программ, которые естественно назвать множеством возможных альтернатив.

Дальнейшие процедуры прогноза имеют своей целью предельно сузить это множество. Изучая другие, теперь уже не экономические критерии, мы должны отсеять все те альтернативы, которые им не удовлетворяют.

Я думаю, что процедура службы прогнозов должна реализовать некоторый алгоритм, аналогичный методу последовательного анализа вариантов.

Мы уже говорили об этом, но все же есть смысл еще раз подчеркнуть, что выделить этап прогноза, сделать его совершенно независимым от этапа выбора программы, конечно, нельзя. Структура критериев, характер информации, которую этап прогноза должен подготовить, существенным образом зависит от характера программ.

Выработка и описание программ. Следующий этап реализации программного метода — формирование и описание программ.

В отличие от первого этапа этот этап опирается на богатейший исторический опыт, накопленный партией в процессе строительства социализма. XXIV съезд КПСС, как известно, выдвинул задачу дальнейшего развития этого опыта.

«Центральное звено, сердцевина руководства народным хозяйством в условиях социализма, — говорится в Отчетном докладе ЦК КПСС, — это планирование. Наша страна имеет крупные достижения в этой области и вправе гордиться ими. Но стоять на месте нельзя, надо продолжать интенсивно работать над совершенствованием как теории, так и практики народнохозяйственного планирования. Задачей первостепенного значения становится дальнейшее повышение его научного уровня. Назрела необходимость совершенствования методов планирования. Оно должно опираться на более точное изучение общественных потребностей, на научные прогнозы наших экономических возможностей, на всесторонний анализ и оцен-

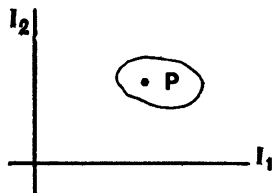


Рис. 3.

ку различных вариантов решений, их непосредственных и долгосрочных последствий» (Материалы XXIV съезда КПСС. М., Политиздат, 1972, стр. 66—67).

Ранее мы привели возможный перечень программ, который показывает, насколько широким должен быть круг специалистов и насколько разным может быть содержание программ.

Формирование каждой из них требует своей системы процедур, своих специфических методов анализа. Рассмотрим некоторые из этих программ.

1. Достижение заданного уровня потребления. Здесь прежде всего надо понять, как охарактеризовать заданный уровень потребления. Согласно А. Г. Аганбегяну, для этого целесообразнее всего задать структуру спроса, вектор d , компоненты которого нормированы условием

$$\sum_i d_i = 1.$$

и скаляр λ — уровень потребления.

Компоненты вектора должны быть предметом глубокого и тщательного социологического анализа. Разработка такой программы потребует использования не только традиционных способов исследования спроса. Речь идет о динамике потребностей. Приходится считаться с тем, что часто спрос не может быть полностью удовлетворен. Следовательно, при формировании такой программы надо учесть возможность изменения структуры потребления, его уровня, а также возможные последствия этого. Задача научного обеспечения программного метода состоит в подготовке таких данных, которые, помимо прочего, давали бы возможность предвидеть связь эволюции потребностей с научно-техническим прогрессом.

Именно здесь формирование программы достижения заданного уровня потребления должно опираться на ту прогностическую деятельность, о которой говорится в Отчетном докладе ЦК КПСС XXIV съезду партии.

Существует широко распространенное мнение, что для решения проблемы построения программы потребления достаточно создания института общественного мнения или выборочного контроля потребностей, который может быть реализован статистическими органами. Думаю, что сегодня этого уже недостаточно. Система институтов общественного мнения была бы, наверное, идеальна в условиях застывшего общества, возможности и потребности которого меняются крайне медленно.

В конце же XX века, когда каждый год богат новыми открытиями и новыми знаниями, очень важно предвидеть, каким образом эти новые знания и новая технология могут сделаться источником новых благ, как они деформируют потребности граждан.

Появился, например, новый тип технологии синтеза материалов, которые ранее не употреблялись. Необходимо предвидеть возможность использования этой технологии для создания новых видов потребительских товаров.

Проблема предвидений спроса на товары, которые могут появиться в связи с научно-техническим прогрессом, сейчас широко обсуждаются. Сошлемся на высказывание В. М. Глушкова о том, что

для того, чтобы предвидеть, как новые научные открытия и идеи могут деформировать потребности граждан, недостаточно одного института типа общественного мнения, необходима специальная служба, специальные группы экспертов — ученых, инженеров и социологов. Автор разделяет это мнение.

Проблема структуры потребностей очень сложна. Более того, она имеет, на наш взгляд, и довольно серьезный философский аспект. Да, наша цель — наилучшим образом удовлетворить потребности человека. Но все ли потребности должны удовлетворяться? Какие из них более и менее важные? Что должно удовлетворяться в первую очередь? Ответа на эти вопросы нельзя получить ни с помощью рынка, ни с помощью института общественного мнения. Здесь нужны комплексные исследования проблем человека, его интересов и потребностей, динамики их развития, нужна, если хотите, некоторая «доктрина».

2. Программы социального развития, медицинского обеспечения, образования и другие подобные программы имеют много различных аспектов. По существу, эти программы непрерывно составляются, и в стране уже существуют механизмы их проектирования и анализа. Однако при разработке этих программ далеко не всегда принимается во внимание их взаимная зависимость.

Изучение программ социального развития упирается в один важный момент, который не может быть охвачен методами точного моделирования. Здесь очень важно понять структуру обратной связи: как влияет, например, тот или другой вариант программы на общее поступательное движение общества. Конечно, в чисто теоретическом плане такие вопросы уже давно изучаются. Но сейчас настало время придать им определенное практическое звучание, связав эти исследования с разработкой процедур программного метода. Последнее означает, что надо четко понимать требования, которые предъявляет к программам общественного развития система Генеральных Целей.

Автор, например, убежден в исключительной роли программ образования и считает, что программа «Учитель» (точнее — «Образование») с ростом производительных сил, усложнением всех условий жизни общества станет занимать центральное место в Генеральной Программе.

3. Программа подготовки специалистов. Эта программа очень близка к тем, о которых только что шла речь. Но она имеет одну важную особенность. Эта программа должна решить проблему обеспечения страны кадрами, обладающими высшим (или среднетехническим) образованием. Лица, которые в 1974 году поступают в вузы, окончат их в 1979/80 учебном году. Еще несколько лет необходимо для их «ввода в строй». Короче говоря, только в 1982 году большинство из них сделается полноценными специалистами. Следовательно, их отдача лежит уже за пределами не только текущего, но и ближайшего пятилетнего плана. Таким образом, чтобы служба заказа специалистов могла обеспечить их подготовку в нужном количестве и нужной номенклатуре специальностей, она должна опираться на систему моделей развития страны и быть тесно связанной с прогнозирующими службами.

4. Энергетические программы. Они занимают совершенно особое место в структуре программного метода. Подчеркнем еще раз,

программное планирование — это планирование от конечных целей, от конечного продукта. Следовательно, количество стали, меди, хлопка и т. д. (т. е. любого промежуточного продукта), которое необходимо произвести, есть следствие расчета программ, т. е. определяется, а не задается.

Однако среди подобных промежуточных продуктов есть один исключительный — это энергия. Конечно, часть энергии используется населением как конечный продукт, но доля потребления электричества для бытовых нужд ничтожна. Поэтому электроэнергия, подобно железной руде, также выступает в качестве промежуточного продукта. Тем не менее она занимает совершенно особое место в развитии страны. Прежде всего энергетическая база является основой всей национальной экономики. И еще одно — создание энергетических комплексов требует многих лет, существенно больше, чем любой среднесрочный план. Более того, на создание энергетических комплексов большой мощности (многие миллионы киловатт) требуется время такого же порядка, как и на реализацию других общегосударственных программ. Другими словами, создание мощной энергетики — это принципиально работа на будущее. Поэтому современные аналогии с ГОЭЛРО необходимы.

Предположим теперь, что эксперты с их службами, их системами моделей и информационной базой сформулировали некоторую серию программ. Однако на этом формирование программ отнюдь не может считаться законченным. Более того, составление перечня программ — это только первый шаг формирования окончательного документа.

В самом деле, ведь все программы для своей реализации будут требовать ресурсов. А все ресурсы находятся в одном котле. Таким образом, центральной проблемой является проблема согласования программ, т. е. распределение ресурсов по программам.

Очень важно изучение внутренних связей между программами. Форсирование или выполнение одной из программ может содействовать реализации других программ и наоборот.

Для решения подобных задач необходимо прежде всего описание программы. По существу, каждая программа является некоторым проектом и сама представляет собой некоторую последовательность работ, выполнение которых необходимо производить в определенном порядке. Опыт ВЦ АН СССР показывает, что для этой цели удобно использовать язык теории графов. Описание программы с помощью графа удобно для определения общего объема необходимых ресурсов. С его помощью легко формулируются простейшие задачи диспетчеризации, которые позволяют наглядно представить себе процесс реализации программ во времени. Видимо, комплекс алгоритмов для решения подобных задач будет важным элементом математического обеспечения процедур формирования программ. Надо заметить, что значительная часть этого математического обеспечения уже создана.

Мы можем говорить, что вариант Генеральной Программы (альтернатива) сформирован, если имеется не только перечень ее составляющих частных программ, но и дано описание Программы с временными оценками ее выполнения и требуемых ресурсов.

Если мы имеем описание Генеральной Программы, то это значит, что мы знаем необходимое количество конечного продукта, который

должен быть произведен. Следовательно, мы можем ответить на вопрос о ее реализуемости, проверить, принадлежит ли она множеству допустимых альтернатив. Если Генеральная Программа не удовлетворяет этим требованиям, то ее следует пересмотреть. Наступает пора новой итерации. Генеральная Программа должна быть изменена так, чтобы общий объем необходимого ресурса был уменьшен или по-иному распределен во времени.

Предположим теперь обратное. Пусть изучаемый вариант Генеральной Программы принадлежит этому множеству. Однако прежде чем ее превращать в закон и переходить к конкретному планированию, видимо, необходимо подвергнуть ее более детальному анализу.

И здесь возникает одна из важнейших задач математического обеспечения программного метода — задача о директивном сроке. Этим термином мы будем называть то минимальное время, в течение которого предлагаемая альтернатива может быть полностью реализована. Для решения этой задачи целесообразно использовать более детализированные многоотраслевые математические модели, нежели те, которые использовались для предыдущих оценок.

Здесь могут возникнуть две различные ситуации.

Предположим, что сформированная Генеральная Программа, отвечающая Генеральным Целям, требует очень большого директивного срока, что нежелательно. Но в то же время, поскольку выполнение всех подпрограмм питается из одного источника, ресурсы страны не позволяют выполнить Программу в целом быстрее директивного срока. Значит, единственный выход — сократить Генеральную Программу.

Наоборот, если окажется, что она может быть реализована за срок, меньший, чем это предполагалось заранее, то допустимо ее расширение. Одним словом, требование реалистичности Программы неизбежно требует серии итераций, которые могут быть с успехом реализованы с помощью динамических моделей специального вида. Такие модели уже существуют (например, модели Аганбегяна — Шатилова, Петрова — Иванилова и др.).

Кстати говоря, с помощью подобных моделей могут быть решены и многие другие важные задачи, возникающие перед экспертами при формировании программ.

Динамические модели позволяют, например, ответить и на такие вопросы: какие экономические пропорции в данных конкретных условиях данной страны обеспечивают максимальный темп роста? каков этот темп роста и каков минимальный срок перестройки экономики данной страны, необходимый для того, чтобы в стране были созданы оптимальные пропорции? как эти пропорции будут меняться с ростом производительных сил и т. д.

Содержание итераций, в результате которых вырабатывается Программа, можно пояснить теперь следующим образом. Эксперты по отдельным программам (лица, ответственные за отдельные программы), предлагают программы и расчет ресурса, необходимый для их выполнения. Далее решаются задачи грубой оценки объема требуемых ресурсов и задачи о директивном сроке, а затем другие эксперты (лица, отвечающие за Генеральную Программу) принимают решение о сокращении или расширении отдельных программ (а может быть, и о замене исходного списка программ). После этого происходит новый расчет директивного срока и т. д.

Конечно, изложенная схема дает лишь очень грубое представление о содержании всех процедур формирования и увязки программ. Тем не менее она, по-видимому, качественно правильно отражает неизбежную последовательность процедур.

Таким образом, система итераций, приводящих к выработке Программы, — это некоторый человеко-машинный диалог, поскольку большой объем рутинных расчетов с помощью моделей объединяется с неформальным экспертным анализом и принятием решений. Следовательно, формирование программы требует создания специальной имитационной системы.

Этот вывод имеет целый ряд следствий практического характера. Система формирования программ будет работать достаточно эффективно только в том случае, когда все процедуры дискуссии будут четко регламентированы, когда в распоряжении экспертов будет достаточно развитое математическое обеспечение, когда вся информационная база будет специальным образом подготовлена. *

Формирование народнохозяйственных программ призвано максимально содействовать достижению тех целей, которые на данный период развития страны ставит партия. Однако отделить назначение целей от формирования программ, видимо, очень трудно.

Цели выбираются реалистичные, достижимые. Это значит, должны быть реалистичны и обеспечивающие их народнохозяйственные программы.

Поэтому механизм, который будет создан для формирования программ, естественно использовать также и для анализа, который необходим при назначении Генеральных Целей.

Это будет тем более возможно (и необходимо), что механизм выработки программ неизбежно будет содержать целый ряд вспомогательных имитационных систем, которые можно использовать для анализа и прогнозирования ситуаций (имитационная модель международных отношений, международной торговли и др.) и оценки реальности, т. е. достижимости выдвигаемых целей **.

Планирование. В результате процедур формирования программ будут выработаны системы показателей, если угодно, контрольные цифры. После этого уже может идти речь о конкретном планировании. Как ни сложны эти процедуры, они носят в значительной степени технический характер. Кроме того, они могут быть значительно упрощены, если в полной мере использовать возможности экономи-

* В частности, очень удобно описание такой программы, как программы потребления, в форме, предложенной А. А. Аганбегяном. Если социологические исследования позволяют определить пропорции, то вся совокупность возможных программ потребления может быть охарактеризована одним параметром — уровнем потребления. Если бы и другие программы можно было представить в подобном виде, то все итерационные процедуры были бы крайне упрощены.

** Нам бы не хотелось, чтобы у читателя создалось представление об авторе как о «неоправданном оптимисте». Автор отдает себе отчет о всех сложностях, которые связаны с созданием подобных механизмов. И эти сложности не только в математике и главным образом не в математике. Тем не менее автор уверен, что все, о чем здесь говорится, в принципе реализуемо.

ческих механизмов, т. е. децентрализации принятия конкретных решений.

Планирование осуществляют органы государства, которые на основе Программы (документа, имеющего силу закона) формируют конкретный план (тоже закон). Центральная задача планирования — это наложение плана на мощности, распределение плановых заданий следующему уровню иерархии — отраслям, объединениям. Конечно, в какой-то степени эта задача уже решалась на предыдущем этапе. Но проблема формирования программ (и их согласование) решается с помощью довольно агрегированных характеристик. Детальное планирование требует других моделей. Система моделей на этапе планирования гораздо богаче. В связи с этим возникает вопрос, не может ли план оказаться в противоречии с Программой? Конечно, план не тождествен Программе. Он является ее дальнейшим развитием, конкретизацией. В процессе планирования могут быть вскрыты новые резервы и, наоборот, обнаружены узкие места. Поэтому плановый срок выполнения Программы будет неизбежно несколько отличаться от директивного. На этапе формирования Программы происходит сравнение и сопоставление многих альтернатив, но в довольно агрегированной форме. Этап планирования — это анализ и детальная разработка уже утвержденной Генеральной Программы. Утвержденная Программа является, конечно, некоторым наброском плана, если угодно, его конспектом.

Сегодня алгоритмы планирования уже достаточно разработаны, и мы ограничиваемся лишь несколькими замечаниями.

В одном из предыдущих параграфов обсуждался вопрос о месте оптимизации в программном методе. В процессе формирования Программы определяются необходимые количества конечного продукта $x_i(T)$. На их основе должен быть построен критерий. Видимо, критерии, которые будут положены в основу системы оптимального планирования, должны быть аналогичны критерию

$$I = \min_i \frac{x_i(T)}{\hat{x}_i(T)} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (I)$$

где T — конечный срок планирования. Задача оптимального планирования будет состоять в таком выборе управляющих воздействий, которые доставляют этому критерию максимальное значение.

В пользу выбора критерия вида (I) можно привести два важных аргумента. Критерий в форме (I) дает возможность обеспечить наилучшее выполнение всех программ, если не существует предпочтительных, но может быть легко модифицирован, если программы ранжированы. Второй аргумент носит чисто технический характер, и мы уже о нем говорили. Повышением размерности

$$\frac{x_i}{\hat{x}_i} - x_{n+1} > 0$$

мы сводим задачу максимизации I к нахождению максимума линейной функции

$$I^* = x_{n+1}(T).$$

Поскольку в задачах планирования обычно пользуются линейными моделями, то выбор критерия в форме (1) дает возможность использовать хорошо разработанный аппарат линейного программирования.

Конечно, практическая реализация численной схемы и в этом случае будет достаточно сложна. Основной трудностью является высокая размерность задачи*.

Поэтому мы должны искать способы упрощения тех вычислительных процедур, которые неизбежны, если решать задачу «в лоб».

Сегодня уже предложено много разнообразных путей упрощения задачи оптимального планирования. Обращаем внимание только на две возможности.

1. Возможность резкого изменения объемов выпуска конечного продукта за срок порядка пяти лет не так уже велика (другое дело, изменение характера его использования!). Экономика плохо переносит «большие скачки». Поэтому, используя итерационные методы, мы всегда можем иметь хорошее первое приближение — план выпуска предыдущего пятилетия.

2. Широкое использование экономических механизмов управления приведет неизбежно к созданию иерархии в планировании, а это может значительно упростить процедуры планирования, оставив за верхним уровнем (уровень Госплана) планирование в достаточно агрегированных характеристиках.

Планирование от достигнутых показателей может также рассматриваться как вариант программного планирования, когда Генеральная Программа сводится к максимизации темпа роста валового продукта. И на базе этой Генеральной Программы также может быть создана система оптимального планирования. Но при этом остается неясным один вопрос: в какой мере оптимизация валового национального продукта обеспечивает достижение Генеральных Целей.

Реализация программ. Реализация программ осуществляется с помощью хорошо развитой системы экономических механизмов.

Конкретная реализация этого принципа означает решение целого ряда трудных не только организационных, но и научных проблем. Роль научного анализа здесь огромна. Изучение структуры системы управления, выбор оптимального соотношения прав и ответственности отдельных звеньев и уровней производственной иерархии, разработка методов проектирования новых организационных структур и совершенствование уже существующих — это все и есть объект научного анализа. Здесь наука призвана сказать свое веское слово.

В настоящее время практически единственным инструментом исследования является эксперимент. Однако как ни важно эмпирическое начало в любом исследовании, его всегда недостаточно, тем более в экономике. Эксперимент не только затрагивает судьбы людей, не только всегда является весьма дорогостоящим. Самое главное — его результаты нельзя абсолютизировать. Удачный результат

* В процессе формирования программ определяются некоторые промежуточные сроки. Поэтому плановыми показателями будут не только величины $x_i(T)$, но $x_i(T_j)$, где (T_j) — некоторые промежуточные моменты времени.

щекинского эксперимента вовсе не означает, что принципы работы этого комбината универсальны. В другой отрасли, в другом районе страны переход на новую систему может уже не дать того эффекта, который получили щекинцы.

Вот почему наряду с экспериментами необходима интенсивная научная деятельность, призванная в частности, предсказать возможный исход эксперимента, дать рекомендации по его совершенствованию.

Сегодня уже начались интенсивные поиски путей теоретического исследования и методов проектирования организационных производственных структур. Эти работы, очевидно, следует вести в сочетании с развитием программного метода, поскольку их задача — гармоническое завершение всего грандиозного здания системы программного управления и планирования, которое сейчас создается усилиями многочисленных коллективов.

Теперь несколько замечаний о принципах, которые, по мнению автора, могли бы лечь в основу теории проектирования экономических механизмов.

Если речь идет об управлении небольшим предприятием, то вся информация, необходимая для принятия решения, легко может быть своевременно обработана руководством предприятия, что обеспечивает надлежащее качество управления. Если предприятие более крупное, например, трест совхозов, разбросанных на значительной территории, то дело обстоит несколько иначе. Объем информации и требования к срокам ее переработки уже не позволяют во всех случаях обеспечить ее качественную подготовку централизованным способом. Решение будет приниматься либо по запоздалой информации, либо вовсе без ее учета, т. е. с большим уровнем неопределенности знаний руководства треста о ситуации «на местах». Следовательно, риск ошибочных решений при полностью централизованном управлении в данном случае оказывается большим. В подобной ситуации придется, видимо, часть прав по принятию решений передать нижним звеньям. Например, многие вопросы решать не в тресте, а непосредственно в совхозах, где легче и точнее можно учесть разнобразную информацию, необходимую для принятия решений, такую, например, как погодные условия или состояние посевов.

Таким образом, управление в сложной системе, когда принимаемые решения требуют качественной и своевременной подготовки большого количества информации, приводит к необходимости разделения системы на отдельные звенья, которым делегируется часть прав и обязанностей по принятию решений и их реализации, т. е. к известной децентрализации управления, к созданию в системе иерархической структуры принятия решений.

Но, получив часть прав по принятию решений, элемент системы превращается в относительно самостоятельный организм. Отсюда возникает известное противоречие между частью и целым. У части (у подсистемы) образуются свои интересы, которые могут не совпадать в общем случае с интересами Центра, т. е. руководством системы. Эта особенность сложных социально-экономических организаций может быть преодолена специальной системой мероприятий, учитывающих целевую функцию подсистем, т. е. системой стимулов и санкций.

Обращаем еще раз внимание читателя на то, что факт появления

и существования самостоятельных интересов у подсистем является объективным. Он не зависит ни от специалистов, проектирующих управляющую структуру, ни от руководства, которое управляет этими подсистемами.

Структура интересов подсистем, если угодно, — это параметр системы, ее свойство. Она является, в свою очередь, функцией социальной организации коллектива, традиций, уровня культуры, характера потребностей и т. д. Изучение целевых функций коллективов — самостоятельная сложная проблема. Знание их может быть использовано в интересах всей системы. Оно определит правильную систему воздействий на эти интересы, т. е. систему мер поощрений (не только экономических) и мер наказания (правовых норм), обеспечивающих хорошее функционирование данного экономического организма.

Таким образом, информационный подход к проблемам децентрализации принятия решений и проектирования иерархической системы управления позволяет представить эту проблему, состоящей из двух крупных задач.

А. Как построить рациональную схему иерархии в организационной системе, если интересы, т. е. поведение подсистем, известны.

В. Определить интересы и поведение подсистем.

Сегодня содержание задачи А уже довольно хорошо понято специалистами в области теории управления. В частности, уже достаточно очевидно факт существования некоторой оптимальной меры децентрализации и централизации. Он зависит от многих причин. Во-первых, это структура целей, которые возникают у подсистем. Далее, уровень неопределенности, который зависит, в частности, от технических средств сбора, передачи и обработки информации. Сегодня мы понимаем, во всяком случае в принципе, как находить рациональную (а иногда и оптимальную) меру централизации и децентрализации. Уже получен целый ряд качественных оценок.

Большие усилия сегодня направляются на изучение способов управления, которые определяют функционирование экономических механизмов. В частности, сейчас подробно изучается оптимальная структура штрафов и поощрений. В экономических механизмах есть еще один очень важный управляющий фактор — допустимая мера активности отдельных звеньев. Его изучение устанавливает связь между экономическими процессами и правовыми нормами. Известные успехи есть и в части создания аппарата исследования. Нам кажется, что здесь должны сыграть решающую роль имитационные системы. Моделирование производственной и управленческой деятельности позволяет анализировать разнообразные варианты организационных структур, сравнить их и находить наилучшую. Таким образом, прежде чем проводить натурный эксперимент, мы можем с помощью имитационной системы выделить наиболее перспективный вариант организации и уровня прав и ответственности, а затем экспериментировать с меньшим риском.

Другими словами, сегодня уже есть значительный задел для создания теории проектирования экономических механизмов и организационных систем управления.

Но вся эта теория может сделаться эффективным средством решения практических задач лишь в том случае, если будет изучена задача В. Однако задача В — проблема поведения подсистем (т. е.

их интересов, которые определяют принимаемые ими решения), изучена гораздо хуже. Тем не менее и здесь уже существует известное понимание предмета. Предварительное изучение показывает, что на разных уровнях иерархии характер интересов совершенно разный. Действия крупных управленческих организаций, например объединений, в значительной степени мотивированы соображением престижа, и их поведение, по-видимому, весьма хорошо описывается функцио-налами вида (1), иными словами, их поведение, вероятно, хорошо

описывается стремлением максимизировать функционал $\min_i \frac{x_i}{x_i}$,

где x_i — плановые показатели.

На уровне производственных организаций значительно большую роль играют материальные факторы: объем фонда поощрения, фонд социального развития и т. д.

Резюмируя, можно сказать, что сегодня наука способна изучать разнообразные проблемы иерархической подчиненности и, в частности, находить рациональную меру централизации о структуре поощрений и штрафов и т. д. Другими словами, сегодня существует реальная возможность эффективного использования научных методов для проектирования экономических механизмов управления. Поэтому общая схема программного метода включает в себя создание системы экономических механизмов, которые будут способны наилучшим образом выполнять Программу.

Итак, научные методы позволяют сегодня возвести прочный фундамент той практической деятельности, которая ведется в нашей стране по созданию крупных, наделенных большими правами, производственных объединений.

Л. И. Брежнев в Отчетном докладе на XXIV съезде КПСС отметил большую роль, которую призваны сыграть в экономике СССР крупные объединения.

В развитие этого положения в марте 1973 г. ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли постановление «О некоторых мероприятиях по дальнейшему совершенствованию управления промышленностью», в котором обязали министерства и ведомства СССР и Советы Министров союзных республик обеспечить «дальнейшее совершенствование организации управления промышленностью путем укрупнения предприятий, создания производственных объединений (комбинатов), всесоюзных и республиканских промышленных объединений...».

Все эти крупные объединения, которые тем или иным способом управляются Центром, и станут организациями, реализующими Генеральную Программу. Плановые органы определяют систему показателей, а система экономических механизмов проектируется так, чтобы объ-

единения были предельно заинтересованы в их выполнении.

Эффективное функционирование всей системы механизмов и служб нуждается в развитой информационной системе.

Очевидно, что информационная система должна быть единой для всей страны, т. е. общегосударственной службой, хотя и построенной по иерархическому принципу. Не должно быть «ведомственной информации».

Полная централизация информационной службы во все не предполагает полной централизации управления. Просто информация должна быть доступна всем ведомствам и предприятиям. Требование ее единства вытекает из совсем иных соображений — из независимости информационной службы от отдельных ведомств. Только тогда ее информация будет действительно объективна и сможет в равной степени служить всем звеньям социалистического народнохозяйственного организма.

Создание информационной службы ставит перед учеными ряд трудных проблем. Дело в том, что характер информации, требования к ее обработке и форме выдачи существенно зависят от структуры процедур принятия решений. Это значит, что проектирование информационной системы нельзя отрывать от проектирования самих механизмов управления. Комплексность этой проблемы требует привлечения широкого круга специалистов различного профиля, решения большого количества научно-исследовательских работ.

Создание информационной системы общегосударственного масштаба потребует создания мощной технической базы, системы вычислительных центров, оснащенных современной вычислительной техникой, — создания мощной системы связи, «информационных банков» и т. д. Эти проблемы представляются вполне разрешимыми как с технической, так и с научной точки зрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Более полувека назад в мире возникло первое социалистическое государство, а сегодня значительная часть планеты занята странами, в которых господствует социалистическая форма собственности. Вместе с Великой Октябрьской революцией возникла качественно новая формация с качественно иными принципами распределения общественного продукта, с иными законами своего развития. На протяжении тысячелетий складывались механизмы, определяющие формы существования классового общества. Эти механизмы формировались в результате жестокой классовой борьбы, в результате стихийного процесса. Борьба стихийных сил внутри классово-антагонистического общества не только исключала возможность какой-либо концентрации общечеловеческих усилий, но и отнимала у человечества львиную долю возможностей его прогресса.

Такая возможность реализуется только при социализме. На основе общественно-социалистической собственности вступает в действие закон планомерного развития, позволяющий направлять движение всех звеньев общественного организма в едином направлении, целенаправленно использовать необходимые материальные, финансовые и трудовые ресурсы для решения генеральных задач, стоящих перед обществом. Задача, как указал XXIV съезд КПСС, теперь состоит в том, чтобы всесторонне совершенствовать управление и повышать его научный уровень.

Программный метод дает некоторую, весьма общую систему взглядов на принципы и структурную реализа-

цию процессов управления экономическим организмом в условиях социализма. Он охватывает все стороны процесса народнохозяйственного управления от первоначальных прогнозов до реализации программ. И это единство концепции очень важно для практического использования программного подхода.

Поиски форм управления, в наибольшей степени соответствующие социалистическому способу производства, являются сегодня важнейшим направлением научной мысли. Подчеркиваю: именно научной мысли. Здесь очень опасны всевозможные скоропалительные решения, не получившие надлежащего научного обоснования, глубина и смелость научного анализа должна сочетаться с осторожностью в практической деятельности. Невероятная концентрация ресурсов и энергетических возможностей, которые благодаря техническому прогрессу возрастают лавинообразно, делают каждый неверный шаг чрезвычайно рискованным. Вот почему поиски форм управления и структуры механизмов реализации и перехода на программный метод требуют в первую очередь очень широкой программы научных исследований. Всестороннее изучение процессов, происходящих в социалистическом обществе, выявление управляющих факторов, модельное изучение социально-экономических механизмов открывают список тех проблем, которые должны составить фундамент научного обоснования принимаемых решений.

СОДЕРЖАНИЕ

	Предисловие	3
	Глава I	
Несколько вопросов, относящихся к теории познания		10
	Глава II	
Некоторые примеры формализованных моделей		43
	Глава III	
Неформальные процедуры. Имитационные системы		92
	Глава IV	
Программный метод — эффективное средство управления народным хозяйством		160
	Заключение	189

Моисеев Никита Николаевич

МАТЕМАТИК ЗАДАЕТ ВОПРОСЫ
(Приглашение к диалогу)

Редактор **Н. Яснопольский**
Художн. редактор **В. Н. Конюхов**
Техн. редактор **М. Т. Столярова**
Корректор **И. Л. Казеко**

А 11098. Индекс заказа 47704. Сдано в набор 6.III. 1974 г. Подписано к печати 10.IX. 1974 г. Формат бумаги $84 \times 108^{1/32}$. Бумага типографская № 1. Бум. л. 3,0. Печ. л. 6,0. Усл.-печ. л. 10,08. Уч.-изд. л. 10,50. Тираж 50 000 экз. Издательство «Знание». 101835 Москва, Центр, проезд Серова, д. 3/4. Заказ 1112. Цена 35 коп.

Отпечатано с матриц Головного предприятия на Киевской книжной фабрике республиканского производственного объединения «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР, г. Киев, ул. Воровского, 24.

35 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО "ЗНАНИЕ" МОСКВА 1974

AVC
305C