

Горохов В.Г.

**Методологический
анализ
системотехники**

**Москва
Радио и связь
1982**

Глава 1. СТАТУС СИСТЕМОТЕХНИКИ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ	2
1.1. Определение предмета системотехники	2
1.2. Системные представления	11
Глава 2. СИСТЕМОТЕХНИКА — ОБЛАСТЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЗНАНИЯ	22
2.1. Основные типы системотехнического знания	22
2.2. Типы исследований в системотехнике	27
2.3. Целостное описание сложной системы и синтез системотехнических знаний	32
2.4. Имитационное моделирование сложных систем	39
Глава 3. СИСТЕМОТЕХНИКА — СФЕРА ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	44
3.1. Способы анализа деятельности	45
3.2. Этапы разработки системы	46
3.3. Фазы системотехнического цикла	52
3.4. Кооперация работ и специалистов. Способы организации системотехнических групп	60
Глава 4. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОТЕХНИКИ	69
4.1. Организация комплексного теоретического исследования в системотехнике	69
4.2. Проблема построения системотехнической теории	77
Список литературы	88

Глава 1. СТАТУС СИСТЕМОТЕХНИКИ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

1.1. Определение предмета системотехники

В настоящее время для ускорения внедрения научных достижений в производство требуется выработка нового научно-инженерного стиля работы, связанного с решением комплексных научно-технических проблем. Именно на решение этой задачи и направлено развитие системотехники как современной области научно-технической деятельности. Чтобы понять принципиальную новизну позиции современного инженера-системотехника необходимо обратиться к истории.

В эпоху античности и средние века не существовала инженерная деятельность в современном понимании, а скорее техническая деятельность, органически связанная с ремесленной организацией производства. Жесткая цеховая регламентация этой деятельности, слабая специализация ремесел внутри цехов, ограниченность рынков сбыта, отсутствие стимулов, заставляющих удешевлять и увеличивать выпуск изделий, незаинтересованность в развитии технической базы определяли тогда отношение к технике. Быстрое развитие государственности и торговли стимулировало совершенствование военного дела (прежде всего фортификации и артиллерии), строительство гидротехнических и архитектурных сооружений, изготовление различных машин. Для осуществления этих видов деятельности уже недостаточно было традиционных ремесленных навыков. Появляются инженеры, выросшие, как правило, из среды ученых, обратившихся к технике, и ремесленников-самоучек, приобщившихся к науке. Они «принадлежали к числу тех импровизированных инженеров, которые в те времена за отсутствием настоящих инженеров устанавливали водяные и ветряные мельницы, насосы и фонтаны, производили необходимые починки в механизмах и руководили их конструкцией. Эти лица знали арифметику, отчасти и механику, умели чертить проекты, вычислять скорость и силу механизмов» (* Кулишер И.М. История экономического быта Западной Европы. — Т. 2. — М., Л.: ОГИЗ, 192.6, с. 302.). Решая технические задачи, первые инженеры и изобретатели обратились за помощью к математике и механике, из которых они заимствовали знания и методы. Таким образом, инженерная деятельность связана с регулярным применением научных знаний и появлением мануфактурного и машинного производства.

Для инженера всякий объект, относительно которого решается техническая задача, с одной стороны, выступает как явление природы, подчиняющееся естественным законам, описанным в науке, а с другой — как орудие, механизм, машина, сооружение, которые необходимо построить. Поэтому инженер опирается и на науку и на практику. Если первоначально инженерная деятельность была ориентирована на прямое использование естественнонаучных знаний, то с конца XVIII в. положение меняется.

Во-первых, научная деятельность расчленяется. Помимо ученых-теоретиков и ученых-экспериментаторов появляются специалисты в области технических наук и прикладных исследований, задача которых — обслуживание инженерной деятельности. Об этом свидетельствует, в частности, большой интерес к техническим проблемам академий наук на первых порах их возникновения (XVII — XVIII вв.), который значительно уменьшился к концу XVIII в., что было связано с совершенствованием организации науки. Ввиду увеличения фронта исследований академии сконцентрировали свое внимание на решении фундаментальных научных проблем. Возникли новые формы организации научной деятельности в области техники — технические науки. Их появление было обусловлено прежде всего необходимостью специального обучения инженеров и возникновением высших технических школ (об этом см. подробнее [29]).

Во-вторых, происходит дифференциация самой инженерной деятельности — обособляются сначала изобретение и конструирование, а затем и инженерное проектирование. В сферу инженерной деятельности попадает также организация производства и даже операторская деятельность. Конструирование, проектирование, изобретение, организация производства, испытание, отладка и другие ее виды стали осуществляться различными специалистами. Появились и новые отрасли производства и инженерной деятельности — кроме машиностроения, уже достаточно развитого к этому времени, электротехника « радиотехника, а затем химическая технология. Глубокая дифференциация инженерной деятельности, в свою очередь, вызвала к жизни противоположный ей процесс — интеграцию. В середине XX в. уже ставится проблема объединения различных специалистов в один коллектив, решающий общую инженерную задачу.

Одной из первых областей, в которой проявились эти процессы, была радиоэлектроника. После второй мировой войны ее связь со смежными отраслями техники стала более тесной. В создании радиоаппаратуры, кроме специалистов по радиоэлектронике, участвовали металлурги, химики, математики, физики. В то же время происходило дальнейшее отделение инженерных работ от вспомогательных, проектировщиков от конструкторов и технологов, а также развитие инженерных исследований в более тесной кооперации с учеными различных специальностей, занимающимися фундаментальными исследованиями. Для управления такими коллективами нужны были новые методы руководства и особые специалисты, его осуществляющие.

Системотехника возникла после второй мировой войны в результате усложнения процесса инженерного проектирования, необходимости его рациональной и научной организации.

На современном этапе научно-технической революции над созданием только проектов (даже без их практической реализации) коммуникационных, ирригационных, энергетических систем, градостроительных и производственных комплексов, автоматизированных систем управления (АСУ) отраслями промышленности, предприятиями и технологическими процессами трудится целая сеть институтов, сотни высококвалифицированных специалистов. Основное значение системотехники и заключается в повышении эффективности инженерного труда, который реализуется большими коллективами специалистов различного профиля. Во многих отраслях народного хозяйства появляются особые подразделения, обеспечивающие управление этими коллективами.

В ходе научно-технической революции не только произошло усложнение инженерной деятельности, но и ее объект стал принципиально иным. Объект системотехнической деятельности — сложная система (* Понятие «сложная система» (иногда «большая система») в настоящее время является общепринятым для обозначения объекта системотехники. Однако,

во-первых, системный подход предполагает рассмотрение любых объектов как сложных и в этом смысле система — всегда сложный объект. Во-вторых, сложной системой можно называть самые различные объекты исследования (организмы, социальные системы и т. д.), а не только объект системотехнической деятельности. Мы далее будем употреблять его как синоним понятий «сложный инженерный объект» и «инженерная система», подчеркивая тем самым, что это — объект именно инженерной, в частности системотехнической, деятельности (а не технической деятельности или какой-либо отдельной технической науки). Кроме того, для того чтобы отличить сложную систему как объект системного исследования и проектирования (системный объект) от ее системного представления, мы иногда будем употреблять для обозначения первого термин «инженерный объект» или «сложный инженерный объект», а второго — «система», «системное представление» (т. е. представление инженерного объекта как системы). В известном смысле такое различие соответствует общепринятым в современной методологии науки понятиям объекта и предмета исследования (в данном случае системного исследования).

Сложность объекта системотехники обусловлена, во-первых, переходом от простого объекта к составному и, во-вторых, от анализа его частей к анализу целого. Такой переход вызван в значительной степени все возрастающей специализацией и необходимостью координации разных видов инженерной деятельности, включенных в разработку сложной системы и направленных на создание единого проекта.

Сложность современных инженерных систем заключается не столько в увеличении числа, сколько в разнообразии и неоднородности компонентов, связей между ними.

Исторически объект системотехники первоначально рассматривался в узкотехническом аспекте — как машина. Правда, речь шла скорее не об одной машине, а о комплексе машин. Однако на современном этапе ее развития человеческие компоненты признаются решающими и даже ведущими. Сегодня уже проектируют не машины, а системы, которые включают машины и людей-операторов. Системотехника превращается в анализ сложных «человеко-машинных» систем. Иногда человеческие компоненты таких систем рассматривались односторонне, только с позиций машины. В этом случае производилось сравнение «характеристик» человека и машины, таких, как мощность, скорость, надежность при перегрузках и т. д. Человек как бы уподоблялся машине. Но очень скоро пришлось признать, что их «параметры» просто не сопоставимы. Деятельность человека нельзя оценивать в технических терминах, а машину рассматривать как «модель» человека. Современные электронно-вычислительные машины (ЭВМ), различные роботы, системы автоматического управления и т. д. включаются в человеческую деятельность, служат ее целям, замещают, но не копируют ее. Например, для внедрения АСУ необходима перестройка, реорганизация всей хозяйственной деятельности предприятия (введение новой системы отчетности, новых показателей, иного порядка прохождения заказа, расчета потребности в изделиях и оценки эффективности конечного продукта), а не автоматизация существующих рутинных процедур человеческой деятельности путем замены их машинами. Здесь открываются новые возможности и одновременно ограничения, обусловленные достигнутым уровнем развития техники. Кроме того, не все виды деятельности целесообразно автоматизировать, поскольку в некоторых случаях это ведет к отрицательным результатам.

Сложность человеко-машинных систем возрастает с развитием вычислительной техники. Сегодня ЭВМ используются не просто как усилитель вычислительных способностей человека. Совершенствование программного обеспечения и периферийного оборудования, возможности межмашинного обмена информацией и создание единой системы ЭВМ позволяют говорить о новом стиле использования вычислительной техники в режиме диалога человека и машины. Таким образом, ЭВМ как бы включается в человеческую деятельность, существенно преобразуя ее, открывая для нее новые возможности. В этом и заключается сущность нового деятельностного подхода к человеко-машинным системам, рассматриваемым в системотехнике и как продукт, и как «заместитель» человеческой деятельности.

Специфика объектов системотехнической деятельности выражается также в том, что

при их проектировании необходимо учитывать окружающую среду, рассматриваемую как внешний элемент системы. Важно отметить, что окружающая среда включает в себя не только природу, но и экономическую, социальную и т. п. среду, в которой функционирует и на которую влияет современная техника. «Окружение включает состояние технологии, другие системы, с которыми должна быть согласована данная, экономические факторы и, наконец, потребности...» [91, с.23]. Охрана окружающей среды признается сегодня одним из важнейших факторов общественной жизни, производственной, научной и инженерной деятельности. В нашей стране изданы и издаются законы, в частности, об оценке деятельности предприятий и внедряемых проектов с точки зрения их влияния на окружающую среду.

Таким образом, объект системотехники представляет собой человеко-машинную систему, состоящую из разнородных элементов и связей, включая и окружающую среду. Увеличение разнородности элементов и связей стимулировало проведение и применение результатов исследований, которые раньше не включались в сферу инженерной деятельности. В системотехнике используется самый широкий спектр научных и технических знаний— от прикладных дисциплин до общественных наук. Этим системотехника также отличается от традиционной инженерной деятельности, которая ориентировалась, как правило, на какую-либо одну «базовую» техническую науку (например, теорию механизмов и машин или теоретическую радиотехнику). В системотехнике научные исследования используются не в полном объеме, а только в определенных разделах, имеющих для нее наиболее важное значение, с некоторой их модификацией применительно к решению системотехнических задач. Эти задачи в свою очередь стимулируют развитие особых разделов, разработку специфических проблем и получение в них новых знаний. Сами традиционные научные дисциплины в рамках системотехники приобретают новый способ существования и развития, испытывая воздействие инженерных требований. Это вполне закономерно, поскольку к решению системотехнических проблем привлекаются ведущие ученые самых различных научных дисциплин.

Объем знаний, используемых современным инженером, существенно увеличился. Сфера инженерной деятельности в системотехнике все более и более расширяется. В нее включается большая группа разнородных знаний, методик, предписаний. Разнородность теоретических методов, «необходимых для отображения данной сложной системы», выражает те трудности и ограничения в ее «адекватном отображении, с которыми мы сталкиваемся в данных условиях познания» [38, с. 219]. Существующие средства теоретического описания целостности оказываются неэффективными, и сложность выступает как стимул для поиска новых средств. Производится разработка нового знания, специально предназначенного для обслуживания системотехнической деятельности и описания сложной системы в целом.

Однако, хотя на первый взгляд главной задачей здесь является синтез разнородных знаний, теоретических представлений и методов, в основе такого синтеза лежит сложная задача координации, согласования, управления и организации различных деятельностей, направленных на решение определенной комплексной научно-технической проблемы. Поэтому объектом исследования системотехники будет уже не традиционный инженерный объект, хотя и достаточно сложный, а качественно новый «деятельностный» объект, который состоит из двух частей. Во-первых, объектом исследования и организации в системотехнике становится деятельность, направленная на создание и обеспечение функционирования сложного инженерного объекта, и, во-вторых, сам созданный объект не только включается в человеческую деятельность, удовлетворяя определенную потребность, но и замещает собой эту деятельность. Например, АСУ создается на основе реорганизации и оптимизации человеческой деятельности, отдельные части которой могут быть механизированы, т.е. алгоритмически описаны и включены в проект ее поэтапной автоматизации.

Что же такое системотехника? Она может быть рассмотрена и как техническая наука, и как отрасль техники, и как научно-техническая деятельность. В соответствии с этим в настоящее время существует множество определений системотехники. Многие авторы рассматривают ее как отрасль техники, планирование, проектирование, конструиро-

вание и эксплуатацию сложных систем (например, [114]). При этом подчеркивается направленность данной деятельности на систему в целом, а не на отдельные входящие в нее устройства. Системотехнику определяют и как техническую науку об общих закономерностях создания, совершенствования и использования технических систем, требующих системного подхода к задачам анализа и синтеза [51]. Ее проблемы являются комплексными и находятся на стыке научных и технических дисциплин. Она позволяет устранить разрыв между исследованием и проектированием, который существует при традиционных методах работы. Системотехника — это «широкая сфера, игнорирующая границы, которые разделяют различные академические дисциплины, которые отделяют исследование от инженерной работы...» [113, р. 113].

В множестве определений системотехники можно, однако, выделить общее. При этом необходимо учитывать, что системотехника многогранна и поэтому ее определение будет носить комплексный характер. Системотехника представляет собой:

1) *сферу деятельности*, выделившуюся из традиционной инженерной практики и направленную на организацию процесса создания, использования и развития сложных инженерных систем (т. е. стыковку проектных задач и кооперацию специалистов различных профилей, решающих эти задачи), обеспечение интеграции частей системы в единое целое;

2) *область знания*, комплексную научно-техническую дисциплину, объединяющую средства, методы, принципы анализа и организации инженерной деятельности; средства, методы, приемы и процедуры проектирования и исследования сложных инженерных систем; знания, средства и методы современных математических, технических, естественнонаучных и общественных дисциплин, используемых для исследования и проектирования сложных систем и организации инженерной деятельности;

3) *конкретно-методологическую позицию*, связанную с целостным рассмотрением инженерной системы, процесса ее исследования, проектирования, создания и развития, а также с использованием идей кибернетики и системного подхода.

Такое комплексное понимание системотехники и будет использоваться нами при ее анализе.

Термин «системотехника» (от англ. Systems Engineering) стал применяться сравнительно недавно — в начале 50-х годов [68, 91, 122], хотя первые шаги в этом направлении были сделаны еще в 30-х годах. В США они были связаны с корпорацией «Белловские телефонные лаборатории». В СССР это направление развивалось в исследованиях по комплексной автоматизации производства. Правда, данный период относится скорее к предыстории системотехники (подробнее см. предисловия Г.Н. Поварова к книгам [21, 91]).

Системотехника как особая область научно-технического знания и инженерной деятельности имеет более чем 30-летнюю историю, в которой можно выделить два основных периода. Первый — от последних лет второй мировой войны до 50-х годов — характеризуется интенсивным развитием системотехники как сферы инженерной деятельности. В это время создаются первые крупные системотехнические проекты (противовоздушной обороны, ирригационных систем и т.д.) и особые системотехнические группы, задачей которых является организация разработки этих проектов.

Во второй период — примерно с 1953 г. и до настоящего времени — происходит становление системотехники как области научно-технического знания. Выходят в свет статьи, справочники, монографии и учебники, количество которых постоянно растет.:

Эти работы, как правило, носят междисциплинарный характер — публикуются работы специалистов самых разных областей науки и техники. Каждый из них по-своему трактует содержание и смысл системотехники, однако всех их объединяет признание системного подхода ее общей методологической основой. В этих работах в той или иной мере затрагиваются методологические вопросы.

Второй период развития системотехники представляет особый интерес для методологического анализа. В нем можно условно выделить следующие этапы:

1953—1959 гг. — Публикуются первые статьи и проводятся первые обсуждения мето-

дов системотехники и ее статуса. Вводится сам термин «системотехника». Появляются первые курсы по этой дисциплине в вузах (в 1953 и 1959 гг.) [126, 129]. В 1957 г. выходит первая монография Г. Х. Гуда и Р. Э. Макола. В том же году в американском библиографическом издании «Engineering Index» вводится графа «Системотехника».

1960—1963 гг. — В 1960 г. появляется статья «Системотехника» в «Энциклопедии по науке и технике» (Encyclopedia Science and Technology. — N. Y.: McGraw-Hill, 1960, v. 13). Проведены три конференции по системотехнике (1960, 1961, 1962 гг) и изданы их материалы [112, 121, 124]. Выпущено пять монографий (в основном в 1962 г.). Объем литературы по методологическим вопросам системотехники увеличился в два раза по сравнению с первым этапом.

1964—1968 гг. — В 1965 г. выходит первый номер журнала, специально посвященного проблемам системотехники (* IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, 1965, № 1 (с 1971 г. переименован в «IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics»). С 1969 г. в Великобритании начинает издаваться «Journal of Systems Engineering». См. также отдельные статьи в «Journal of Engineering Education»). С 1966 г. читатели графы «Системотехника» в «Engineering Index» не просто отсылаются к другим разделам издания, но им предлагается список специальных работ с краткой аннотацией. Выпущено 10 монографий (в 1965, 1966 и 1967 гг.).

1969—1973 гг. — Появилось столько же публикаций по методологии системотехники, сколько за все предыдущие этапы вместе взятые. Проведены семинары и конференции в нашей стране. Специальные курсы по системотехнике читаются во многих вузах страны. В 1970 г. организована кафедра системотехники в Московском энергетическом институте (** О подготовке инженеров-системотехников в нашей стране см. статьи Г.Н. Поварова в [58] и Ф.Е. Темникова в [13]). В том же году в Ленинграде состоялся I Всесоюзный симпозиум по проблемам системотехники.

С 1974 г. по настоящее время. — Характеризуется более детальной разработкой отдельных средств и методов системотехники, ее проникновением в смежные области (например, медицинская системотехника). Осуществляется дальнейшая разработка теоретических основ системотехники, прежде всего в плане так называемого структурного анализа сложных систем [49]. Именно в этот период формируется зона дисциплинарных хрестоматий, учебных пособий и научно-популярных изданий (академического типа). Достаточно отметить, что с 1974 г. только в Советском Союзе опубликовано более 30 монографий по системотехнике, из них больше половины учебников. Таким образом, можно считать, что постепенно завершается формирование системотехники как особой самостоятельной научно-технической дисциплины.

Рассмотрение этапов становления системотехники показывает, что она является развивающейся областью. Свидетельством этого является постоянный рост (**** См. библиографические издания «Cumulative Index Books, Engineering Index», «Applied Science and Technology Index», а также каталоги Всесоюзной Государственной библиотеки им. Ленина, Центральной политехнической библиотеки и Государственной публичной научно-технической библиотеки СССР) числа публикаций по системотехнике, а также элементарная статистика, показывающая расширение круга ученых, исследующих различные аспекты данной проблематики. Если в работе I Всесоюзного симпозиума по проблемам системотехники (1970 г.) участвовало 200 человек из пяти городов Советского Союза и было представлено всего 30 докладов, то в работе IV Всесоюзного симпозиума (январь 1978 г.) — уже 500 ученых из 7 республик и 26 городов и прослушано 180 докладов и сообщений [10, 66].

Все вышеприведенные данные позволяют сделать вывод, что на современном этапе развития системотехника уже переросла рамки не только отдельного исследовательского направления, но и области исследования. Системотехника сегодня обладает всеми параметрами научной дисциплины: имеет особую профессиональную организацию (лаборатории, отделы, кафедры, научно-исследовательские институты, ученые советы и т. д.), налаженную систему научной коммуникации (выпуск специального журнала, наличие учебника и моно-

графий, проведение регулярных семинаров, конференций и т.д.), собственную систему подготовки кадров (курсы и кафедры в высших учебных заведениях). Научная дисциплина должна иметь, кроме того, четко выраженный теоретический уровень и специально приспособленный математический аппарат. В составе образующего ее научного сообщества должны быть исследователи, занимающиеся развитием самой этой дисциплины (т. е. финансируется не только прикладной результат, но и вклад в развитие дисциплины) [45].

Однако системотехника представляет собой научную дисциплину особого типа. Прежде всего, она является одной из научно-технических дисциплин, которые возникли и функционируют на стыке научной и инженерной деятельности, обеспечивая эффективную их взаимосвязь. Особенность финансирования и организации управления в этих дисциплинах заключается в том, что они осуществляются не только в академических, но и в отраслевых институтах, в них используется как бюджетная, так и договорная форма финансирования. В сферу научно-технической дисциплины вовлечены в большей или меньшей степени академические институты и проблемные лаборатории, отраслевые НИИ и отраслевые лаборатории вузов, научно-исследовательские лабораторий промышленных предприятий, конструкторских бюро и объединений. При этом не все работы выполняются по заказам, часть научных исследований проводится инициативно за счет Других тем. В то же время имеют место специально финансируемые исследования, направленные на развитие Дисциплины, система подготовки кадров, периодические издания и т.д.

В научно-технических дисциплинах помимо публикаций и конференций важную роль играют научно-технические отчеты, патенты, изобретения, методические рекомендации, участие в проектных работах, рабочие совещания и т.д.

Системотехника, кроме того, в отличие от классических научно-технических дисциплин (например, радиотехники и прикладной механики или электротехники) формируется «неклассическим» способом: в ней нет ориентации на базовую естественнонаучную дисциплину как образец проведения научного исследования. Как правило, сначала имеет место достаточно общий конкретно-методологический подход с «универсальной» сферой применения, которая постепенно специализируется относительно определенной проблемной области (комплексной научно-технической проблемы). Исходным в данном случае является широкое научное движение, результатом которого может быть появление новой научной дисциплины. Особенность неклассического пути заключается в том, что для решения комплексных научно-технических проблем привлекаются в принципе любые научные дисциплины, теории, знания и методы (а не только базовая теория), которые в перспективе синтезируются на общей конкретно-методологической основе в единую теоретическую систему научно-технической дисциплины. Они, конечно, соответствующим образом перерабатываются и переосмысливаются. Наконец, разрабатываются новые специфические методы и теоретические средства исследования, позволяющие наиболее эффективно решать стоящие перед данной научно-технической дисциплиной задачи. Именно такой дисциплиной и является системотехника.

Для того чтобы лучше понять значение системотехники и ее отличие от традиционной инженерной и научной деятельности, необходимо перечислить те задачи, которые ею решаются:

подготовка информации для принятия руководством научно обоснованных решений по управлению процессом создания сложной системы;

формулировка общей программы разработок как основы для взаимной увязки проектов отдельных подсистем;

стыковка проектных задач и координация специалистов, решающих эти задачи, обеспечение интеграции системы в единое целое;

обеспечение в процессе разработки сложной системы наилучшего использования ресурсов при одновременном достижении проектных целей возможно более эффективным способом;

согласование планов частных проектов с общим направлением работы, выявление су-

ществующих и прогнозирование будущих потребностей;

внедрение в практику проектирования последних научных и инженерных достижений.

Подготовка информации для принятия руководством решений в процессе проектирования сложной системы не является сегодня такой тривиальной задачей, как это может казаться на первый взгляд. Напротив, для ее решения необходимо проводить особые исследования, ориентируясь на достаточно широкую предметную область и имея в виду все возможные (настоящие и будущие) проекты данной системы. При этом выбор даже общего направления работ оказывается не таким уж простым. В каком направлении вести разработки, какие проектные решения предпочесть в ходе ее—решение этих и других натальной научной подготовки, поскольку от их решения может зависеть успех проектирования. Исправление принятого на ранних стадиях решения требует гораздо больших затрат, чем содержание системотехнических служб.

Отсюда вытекает задача формулировки общей программы разработок, основывающейся на прогнозе развития системы. Именно для решения этой задачи необходима информация о возможных будущих ситуациях, ресурсах, научно-технических открытиях и изобретениях, которые могут коренным образом преобразовать систему и протекающие в ней процессы, а также информация о возможных будущих изменениях социальных ценностей, которые могут оказать существенное влияние на систему и трансформацию целей. Такая общая программа разработки необходима, кроме того для взаимной увязки проектов отдельных подсистем в процессе создания сложной системы. Она позволяет подготовить мощный «задел» для разработки этих проектов.

Необходимость в системотехнике впервые появилась тогда, когда выяснилось, что отдельные, даже хорошо работающие компоненты, соединенные вместе, необязательно составляют хорошо функционирующую систему. В сложной системе часто оказывается, что, даже если отдельные компоненты удовлетворяют всем необходимым требованиям, система как целое не будет работать. Для иллюстрации этой ситуации чаще всего приводят пример проектирования самолета или ракеты специалистами разного профиля. Если рассматривать данную систему с точки зрения специалиста по двигателям, то, например, для электронного оборудования в ней совсем не останется места. Проектировщик фюзеляжа будет заботиться только об оптимальной конфигурации самолета, пренебрегая, скажем, удобством расположения радиолокационных антенн. Специалист по электронике «нашпигует» его всевозможными устройствами, не заботясь о предельной массе и конфигурации самолета. Инженер-психолог потребует массу удобств для летчика, совершенно не считаясь с затратами. Плановик сведет до минимума затраты... И самолет никогда не поднимется в воздух. Для того чтобы увязать различные частные оптимумы, цели и критерии отдельных специалистов, участвующих в создании сложной системы, и нужен особый «специалист» — инженер-системотехник.

На практике, конечно, стыковка отдельных проектных задач и координация специалистов, решающих эти задачи, может быть решена и «кустарным» способом — волевым решением руководителя проекта. Однако для сложных систем эти решения должны быть серьезно обоснованы. Дать такое обоснование сам руководитель не может, так как один человек не в состоянии одинаково хорошо разбираться во всех вопросах. Для управления процессом создания системы необходим постоянный «диагностический» анализ, который позволяет выявить резервы, узкие места, подготовить решения с целью устранения выявленных недостатков. А для этого каждый руководитель достаточно крупного проекта вынужден опираться на особый научно-координационный совет—бригаду экспертов-системотехников, которая должна помочь ему достичь согласия по всей программе работ, включающей разные проекты, на основе периодической оценки всех частных проектов, на какой бы стадии выполнения они ни находились.

Каким же должен быть инженер-системотехник? Какими знаниями и какой подготовкой он должен обладать?

Прежде всего, поскольку одной из задач системотехники является координация всех

работ, начиная от исследования и кончая эксплуатацией сложной системы, идеальный инженер-системотехник должен сочетать в себе талант ученого с искусством конструктора и деловыми качествами администратора. Он должен уметь объединить различных специалистов для совместной работы. А для этого ему необходимо разбираться во многих специальных вопросах, хотя бы настолько, чтобы уметь задавать вопросы специалистам, понять их точки зрения. Если имеющихся знаний у него недостаточно, то системотехник должен в короткое время изучить предмет и ориентироваться в нем так же, как специалисты. Однако, в отличие от узких специалистов, занятых деталями, он отвечает за общую постановку проблемы и обобщенную оценку результатов работы и в этом смысле является универсалистом (иначе, генералистом от лат. *generalis* или же дженералистом от англ. *general* — «общий»), в то же время он не должен быть дилетантом.

Как же достичь столь удачного соотношения личностных качеств, чтобы стать системотехником? Большинство пособий по системотехнике рекомендует «непрерывно работать над расширением кругозора». Но вряд ли возможно в наше время обычному человеку стать таким своего рода энциклопедистом XX в., да еще опытным и талантливым инженером. Одинаково глубоко разбираться в инженерной психологии, кибернетике, социологии, экономике и технике не под силу даже гениальным. А где же взять тысячи инженеров-системотехников, близких к этому идеалу? Выход из данной ситуации может быть только один — специально готовить универсалов.

Мнение о том, что инженерами-системотехниками становятся только в процессе работы, сегодня уже устарело. Во многих советских и зарубежных вузах не только читаются специальные курсы по системотехнике, но и созданы кафедры. Вот примерный перечень дисциплин, включенных в институтские программы по системотехнике в США (перечислим только некоторые наиболее характерные): общая теория систем, линейная алгебра и матрицы, топология, теория комплексного переменного, интегральные преобразования, векторное исчисление, дифференциальные уравнения, математическая логика, теория графов, теория цепей, теория надежности, математическая статистика, теория вероятностей, линейное, нелинейное и динамическое программирование, теория регулирования, теория информации, кибернетика, методы моделирования и оптимизации, методология проектирования систем, применение инженерных моделей, проектирование, анализ и синтез цепей, вычислительная техника, биологические и социально-экономические, экологические и информационно-вычислительные системы, прогнозирование, исследование операций и т.д. [129] (данный список в принципе соответствует программе отечественных вузов [83]). Даже из этого неполного перечня видно, насколько широка подготовка инженера-системотехника. Однако главное, чем он должен владеть, — умение применять все полученные знания для решения двух основных системотехнических задач: обеспечения интеграции частей сложной системы в единое целое и управления процессом создания этой системы. Для эффективного решения данных задач ему необходимо иметь: целостное представление о проектируемой системе, которое достигается с помощью имитационного моделирования, и системное представление системотехнического цикла. А для этого он должен обладать знаниями о всех блоках системы и о различных типах систем, отвлекаясь от их материальной формы. Такие знания зафиксированы в системном подходе. Поэтому в данной области инженер-системотехник должен быть специалистом, а многими другими дисциплинами овладеть в той мере, насколько это необходимо для его дальнейшей работы.

Системные исследования в настоящее время получили широкое распространение в различных областях науки и техники. Они стали предметом анализа в литературе, где обсуждаются, например, статус системных представлений в науке и технике, их специфика, отношение к другим методам исследования, а также классификация сфер современных системных исследований. В самом общем виде можно выделить три основные сферы системных исследований: системный подход (или метод), общую теорию систем и конкретные системные концепции. В системном подходе выражаются основные методологические аспекты системных исследований. При рассмотрении общей теории систем мы придерживаемся

трактовки ее как системной метатеории по отношению к конкретным системным концепциям (*Классификация схем системных исследований и трактовка общей теории систем как системной метатеории рассмотрены в [73]). Существуют, конечно, и другие подходы к трактовке общей теории систем (см. [5, 76, 85, 87]). Однако для нас этот вопрос не имеет решающего значения. Важно подчеркнуть, что трактовка общей теории систем как универсальной концепции (в широком смысле этого слова) неоднократно подвергалась обстоятельной критике. Методологические принципы системного подхода неразрывно связаны с принципом системности материалистической диалектики (эта связь специально анализируется в работах А. Н. Аверьянова, В. Г. Афанасьева, Д. М. Гвишиани, В. П. Кузьмина и др.), но относятся к уровню общенаучной методологии (об этом см. подробнее [3, 88]). Конкретные системные концепции включают различные специальные теории систем, системные модели и разработки научных и технических дисциплин. Методологический анализ данных концепций необходим для выявления процедур определения объектов как систем и способов их специфически системного представления. К таким системным концепциям относятся и системотехнические.

Системные представления и понятия, используемые в системотехнике, — результат выделения характеристик, для всех или по крайней мере для определенных типов сложных систем. Кроме того, в системотехнике используются и конкретизируются принципы, понятия и методы системных исследований в целом, например представления о самоорганизации, целостности, уровнях анализа. На основе системных идей в системотехнике выработаны собственные методы анализа и проектирования инженерной деятельности. Значительную роль в этих методах играют понятия системы, подсистемы, окружающей среды, классификация основных свойств и процессов в системах, классификация систем и т.д. Поэтому прежде всего необходим методологический анализ самого системного подхода, который позволит выявить «чистые» методы и средства системного исследования, т.е. такие, которые относятся не к исследованию отдельных частных систем, а к любым подобным исследованиям или к достаточно широким классам.

1.2. Системные представления

В конкретных системных концепциях, в том числе и системотехнических, прежде всего дается обобщенное определение системы. Однако оно не всегда соответствует «оперативному» представлению системы, которое реально в них используется. Например, У. Гослинг [116] определяет систему как «ансамбль простых частей», тем не менее его концепция построена на более узком операциональном представлении системы, как «поточной», т.е. преобразующей по некоторым параметрам поток вещества, энергии или информации. Все же даже общее определение системы в конкретных системных концепциях является выражением свойств специфических объектов исследования. А. Уилсон и М. Уилсон [86] отмечают, что понятие «система» употребляется ими в двух различных смыслах: как упорядоченное целостное устройство, состоящее из взаимодействующих элементов, и как совокупность элементов, необходимых для выполнения определенной операции (* «Операция — действие для достижения конкретной цели» 186, с. 13).). Первое представление соответствует системотехнической задаче построения сложных систем из относительно простых, второе — проблеме описания и расчленения на части системотехнической деятельности. Построение понятия системы, обладающей чертами, присущими всем (или многим) сложным инженерным объектам, имеет важное значение для системотехники.

Для решения этой проблемы нами построено несколько различных системных представлений. Выделяя их, мы основываемся на возможности различного представления систем. Система, с одной стороны, может быть описана динамически как процесс, а с другой — статически, с точки зрения либо внешних, либо внутренних характеристик. Кроме того, внутреннее строение системы может быть представлено в виде функциональных зависимо-

стей и в виде структуры, реализующей эти зависимости.

Будем выделять пять основных системных представлений: процессуальное, функциональное, макроскопическое, иерархическое и микроскопическое. В процессуальном плане система рассматривается динамически как процесс, остальные системные представления отражают ее статический аспект. В макроскопическом представлении описываются внешние характеристики системы, в функциональном, иерархическом и микроскопическом — внутренние. Функциональное и микроскопическое представления фиксируют функциональный и структурный аспекты — системы соответственно, а иерархическое — способ разбиения ее и в том и другом аспекте.

Необходимо иметь в виду, что названные системные представления тесно связаны между собой, и поэтому некоторые понятия могут встречаться в описании различных представлений. Кроме того, эти пять представлений существуют только как идеальные типы. В реальном описании любого системного представления в той или иной мере используются другие системные представления.

При описании каждого системного представления мы будем исходить из интуитивного понимания системы и затем на основе такого понимания вводить совокупность системных понятий, связанных с ним. В своем анализе мы не претендуем на то, что совокупность рассматриваемых системных понятий является полной. Для удобства ведения понятий выберем следующую последовательность рассмотрения системных представлений: микроскопическое, функциональное, макроскопическое, иерархическое, процессуальное. Данный порядок не соответствует реальной процедуре системного исследования, а является только схемой описания различных представлений системы.

Микроскопическое представление системы основано на интуитивном понимании ее как совокупности взаимосвязанных элементов, неразложимых, далее «кирпичиков». Центральным понятием микроскопического системного представления является понятие элемента. Конечно, в общем виде элемент лишь относительно неделим, однако для данной системы он является абсолютно неделимым. Элементы также могут, быть рассмотрены как системы, но это будут системы другого типа, чем исследуемая. Кроме того, система понимается как совокупность разнородных элементов, которые могут отличаться по принципу действия, техническому исполнению и ряду других характеристик. Система сводится к ансамблю простых частей. Иногда такое представление становится превалирующим над остальными. Системотехника, однако, ориентирована не столько на создание самих элементов (они могут быть взяты из технического каталога), сколько на операции над ними, составление из них целостной системы. Например, У.Гослинг [116] утверждает, что для создания инженерных систем необходимо знать множество процедурных правил и перечень (или каталог) системных элементов. Системотехника должна обеспечить проектировщика первым, а второе он найдет в литературе по той или иной отрасли.

Элементы обладают связями, которые объединяют их в целостную систему. Элементы могут существовать только в «связанном» виде — между элементами обязательно устанавливаются связи. Например, в электрической цепи, если по ней не течет ток, нет электрических связей, следовательно, нет и элементов; когда цепь подключена к источнику электрической энергии, в ней образуются реальные электрические связи, и можно говорить о существовании элементов, которые они связывают. Понятие связи, с нашей точки зрения, относится к содержательным характеристикам системы. Связи и элементы описывают ее «морфологию». Элементы в системе обязательно взаимодействуют, в результате одни свойства (переменные) изменяются, другие остаются неизменными (константы). Важнейшую роль в системных исследованиях играет поиск системообразующих связей, благодаря которым все элементы системы оказываются связанными воедино.

Следует различать прямые и косвенные внутренние связи элементов системы одного уровня иерархии [73]. Прямые связи характеризуются «явным» взаимодействием элементов. Однако в системе могут быть элементы, не имеющие прямой связи (на уровне элементов), но имеющие косвенную связь — через систему как целое. Например, если четыре металлических

шарика соединены между собой пружинами только последовательно, то шарики, расположенные друг против друга, косвенно связаны. Они не соединены пружинами, но при попытке «вынуть» один из таких шариков последний «потянет» за собой и все остальные: они связаны через систему в целом, т.е. через всю совокупность пружинных связей, образующих данную механическую систему (рис. 1) [104]. В общем виде для любой системы может быть сформулировано следующее условие. Если некоторое множество элементов образует систему, то все пары элементов этого множества, которые не связаны прямой связью, соединяются посредством косвенной связи.

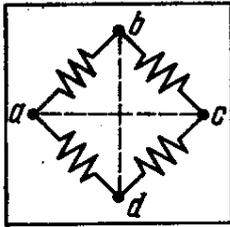


Рис. 1

Рассмотрим типы прямых и косвенных связей. Прямые связи могут быть непосредственными, когда один элемент непосредственно связан с другим, и опосредованными—через ряд элементов-посредников (рис. 2). Непосредственные и опосредованные связи между элементами являются либо последовательными, либо параллельными. На рис. 3 связь элемента a с элементом d является последовательной, а связи — непосредственная между b и e опосредованная через c — параллельными. Еще два типа параллельных непосредственных прямых связей показаны на том же рисунке: параллельная (bc и) be и обратнопараллельная ($abeg$ и) afg . Параллельными могут быть и две опосредованные связи, например, $abcd$ и $afghd$.

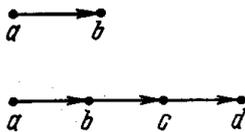


Рис. 2

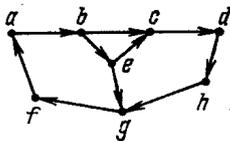


Рис. 3

Косвенная связь между элементами также может быть последовательной и параллельной. Последовательная косвенная связь имеет вид обратнопоследовательного соединения элементов относительно последовательной прямой связи (рис. 4, а). Такие косвенные связи также бывают параллельными (dga и) обратнопараллельными (lcm) (рис. 4, б). Однако, строго говоря, прямая опосредованная связь также является разновидностью косвенной. На рис. 4, в иллюстрируется возможность обычной последовательной косвенной связи pnj ; при этом последовательная косвенная связь pn фактически тождественна прямой опосредованной

связи pin . Косвенная связь осуществляется через систему в целом.

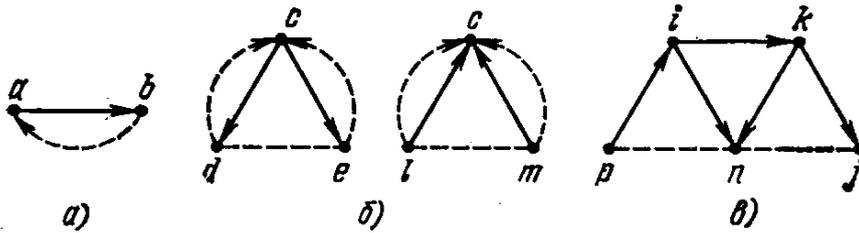


Рис. 4

Все приведенные типы связей могут быть обобщены на любое число элементов. Сеть связей элементов характеризует их упорядоченность, а плотность сети связей — целостность системы. Чем больше в системе явных связей (прямых и непосредственных), тем более она упорядочена, тем «плотнее» сеть ее связей и «больше» целостность (* Описание типов связей см. в [73]. 25).

Для микроскопического представления системы важным является также понятие структуры. (Иногда структура связывается с процессуальным представлением системы, и тогда она определяется как инвариантный аспект системы.) Чаще понятие структуры отождествляется с совокупностью связей. С нашей точки зрения, структура включает в себя и элементы (с постоянными и переменными свойствами), и связи системы, но не любые, а только прямые. Она фиксирует расположение элементов связей в данной системе. Например, в радиоэлектронике электрические схемы описывают определенную структуру, где транзистор, источник коллекторного напряжения, сопротивление нагрузки, источник смещения и т.п. — элементы, а соединяющие их проводники — реальные электрические связи.

Функциональное представление системы связано с пониманием системы как совокупности функций (действий) для достижения определенной цели. Каждый элемент в системе выполняет определенную функцию. Функциональные свойства элементов являются свойствами первого порядка. Они позволяют включать элемент в систему для выполнения общей цели. Свойства второго порядка — это те нежелательные свойства, которые привносит с собой элемент в систему [116]. Таким свойством, например, для усилителя могут быть нелинейные искажения усиливаемого сигнала, для транзистора — низкая надежность, для электронных ламп — чувствительность к перегрузкам.

Совокупности свойств первого порядка, рассмотренных обособленно от свойств второго порядка, будем называть функциональным местом элемента. Между функциональными местами в системе существуют функциональные связи или соотношения. Самым простым типом отношений являются соотношения типа, $a > b$, $a = b$, $ab <$ и т.п. Важно различие между связями и отношениями. Отношение фиксирует только принадлежность элемента к системе с точки зрения выполнения определенной функции. Функциональные места элементов могут быть по-разному наполнены. Например, в усилителе функциональное место «ключевой элемент» может быть «наполнено» в одном случае лампой, в другом — магнитопроводом.

Синонимом понятия «структура» для функционального представления служит понятие функциональной структуры, или организации. Организация представляет собой совокупность функциональных мест и отношений. Понятие «наполнение» (* См. статью И.О. Генсаретского в [59].) позволяет установить определенное соотношение между структурой и организацией, которое будем называть реализацией. Обычно говорят, что организация может быть реализована различными структурами (при этом функциональная сущность системы остается той же, меняется только способ реализации), т.е. функциональные места «погружены на определенный материал» (наполнены), в результате отношения между ними заменяются реальными связями, а сами они «превращаются» в элементы. В инженерном плане это

означает, что функциональная структура реализуется сначала в виде монтажной схемы, а затем в процессе изготовления на производстве. Система начинает функционировать как реальный инженерный объект, обладающий помимо функциональных свойств многими другими. Все эти свойства невозможно учесть в проекте и даже при изготовлении и внедрении системы. Они раскрываются только в процессе эксплуатации системы. Все же опыт эксплуатации других систем позволяет уже при проектировании учитывать свойства второго порядка системы.

Понятия «функциональное место», «элемент» и «наполнение» позволяют говорить о различных типах наполнений элементов. Можно выделить по крайней мере три типа наполнений и соотношений их с функциональными местами. Первый тип характеризуется возможностью существования вне системы, т.е. в несвязанном виде. Наполнения этого типа сохраняются вне системы в том же виде, что и внутри нее, — выполняют всегда одну и ту же функцию, которая за ними закреплена. Например, стандартный блок, состоящий из нескольких каскадов усилителей, представляет собой именно такой тип наполнения. За ним жестко закреплена одна и та же функция — усиление сигнала, независимо от того, где он применяется — в приемнике, передатчике или телефонной системе. Наполнения второго типа также могут существовать в несвязанном виде, однако в различных системах они выполняют разные функции — они многофункциональны. Например, ферритовый сердечник может выполнять функцию усилительного (ключевого) элемента в усилителе, элементарной запоминающей ячейки в запоминающем устройстве ЭВМ, магнитного элемента. Наконец, наполнения третьего типа не могут существовать вне какой-либо системы, в несвязанном виде. Например, органическая ткань не может существовать вне биологического организма или искусственно созданной биологической среды, органы дельфина или летучей мыши нельзя «вынуть из них» и использовать в радиолокационной системе.

Для функционального представления безразлично, из какого материала изготовлены элементы. Однако функции обязательно должны быть отнесены к «материальным» элементам, что в известной степени детерминирует способ расчленения сложной системы.

Для **макроскопического представления** характернейшее понимание системы как нерасчлененного целого. Здесь важным является понятие системного окружения. Например, И. Клир [118] берет понятие «системное окружение» из биологических представлений «организм — среда». В более общем виде под окружающей средой системы понимается совокупность всех объектов, изменений свойств которых влияет на систему и на которые влияет изменение свойств системы (* См. статью А.Д. Холла и Р.Е. Фейджина в [31].). Ни одна система объектов не может быть рассмотрена вне системного окружения. В частности, никакая физическая система не может быть понята вне физической реальности, скажем, механизм вне реальности, в которой выполняются законы классической механики.

Дихотомия «система — системное окружение» имеет существенное значение для понимания технических систем. Любой инженерный объект в процессе создания должен быть рассмотрен и как часть более крупного объекта (на пример, радиолокационная станция как часть системы противовоздушной обороны) и в отношении к другим окружающим его и влияющим на него объектам. Инженерные представления накладывают ограничения на те или иные теоретические представления, используемые в инженерной практике. Например, «конструктивному механизму» могут соответствовать несколько теоретических решений — несколько чистых механизмов», состоящих из идеальных звеньев. Однако инженерные ограничения (материал звена, способ закрепления одного из звеньев в реальной машине и т.д.) удовлетворяют только одному наилучшему теоретическому решению и существенно модифицируют его в процессе реализации. Сложная система не может быть рассмотрена в отрыве от окружающей среды уже на этапе проектирования: «...мы не просто проектируем систему, вводимую в окружение, но и обнаруживаем, что она определяется окружением. По существу, успех проектирования измеряется близостью соответствия, т.е. степенью интеграции с окружением» [91, с. 75]. В системотехнике важно установить соотношение между инженерными требованиями и научным исследованием сложных систем. Этого можно достичь, описав ди-

хотомию «естественное — искусственное» (**.См. статью Г. П. Щедровицкого, Э. Т. Юдина и др. в [59])

Любая система может быть описана и как естественная, и как искусственная. Описание ее как искусственной проводится с точки зрения инженерной деятельности. Система рассматривается как конструируемый извне «механизм». Она может быть заранее целиком «собрана» на основе проекта и лишь потом включена в определенную естественную среду, где она будет функционировать. Главным отношением, которое необходимо иметь в виду инженеру, является реализация.

Само по себе такое описание недостаточно. Система функционирует в реальной среде, которая не может быть произвольно модифицирована под проект, а в проекте невозможно учесть все ее естественные изменения. Сложный инженерный объект должен быть рассмотрен как естественная система, как самодвижущийся организм, т.е. объект, развивающийся по своим внутренним законам, не зависящим от человеческой деятельности. В этом случае основным является отношение естественного взаимодействия — воздействия среды на систему и системы на среду.

Между системой и системным окружением существует определенное отношение: либо естественная (Е) компонента объемлет искусственную (И), либо искусственная— естественную (рис. 5).

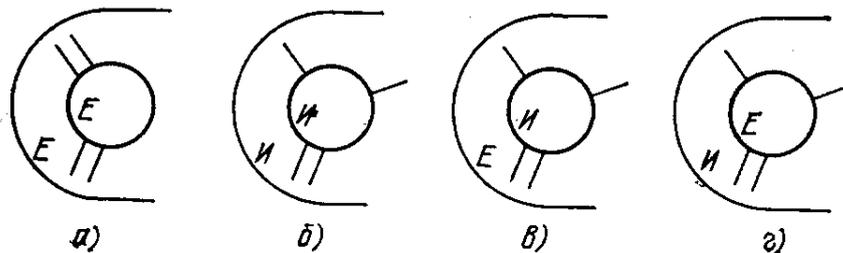


Рис. 5

Сложная система рассматривается как естественная и включенная в естественную среду (рис. 5,а), что позволяет фиксировать их естественное взаимодействие. В процессуальном плане это означает прогнозирование естественного развития, самодвижения системы в окружающей среде. Такой взгляд характерен для «чистого» научного исследования. В качестве примера естественного взаимодействия может быть взято отношение «организм — среда» в биологии. Биологический организм, развивающийся по внутренним естественным законам, включен в среду, также подчиняющуюся естественным законам. Искусственный объект включен в искусственную среду (рис. 5;б). Это отношение характерно для «чистой» инженерной позиции. С искусственной точки зрения не существует естественных ограничений — «все можно изготовить».

Реально инженер, конечно, ориентируется на систему естественных ограничений: использует готовые блоки, естественные объекты, естественное сырье, естественнонаучные знания и т. д. Это обуславливает смешанную «естественно-искусственную» позицию инженера. Однако чистая «естественная» и «искусственная» точки зрения также имеют важное значение: в процессе создания необходима первоначально отвлечься от возможностей изготовления и рассмотреть объект без каких бы то ни было ограничений.

Сложная система, рассматриваемая как целиком искусственная, включается в естественную среду (рис. 5,в). Здесь возникает проблема совместимости. Включение сложной системы в реально существующую социальную и природную среду требует значительной модификации проекта с точки зрения естественных требований. Это возможно при описании среды с позиции соответствующих социальных и естественнонаучных дисциплин.

Естественный объект включен в искусственную среду (рис 5,г). Это отношение фиксирует искусственные воздействия на объект, развивающийся по внутренним естественным

законам. Данная точка зрения предполагает модификацию среды под систему. Сложная система уже построена, и необходимо обеспечить ее функционирование, перестроив окружающую среду. Фактически речь идет о «проектировании» системного окружения.

Дихотомическое деление на систему и системное окружение позволяет характеризовать систему как множество внешних связей (или внешней структурой), так и функционально — совокупностью внешних отношений.

Иерархическое представление системы (как иерархической упорядоченности) основано на понятии подсистемы, или единицы, которое следует отличать от понятия, «элемент». Единица обладает функциональной спецификой целого (системы). Система может быть представлена в виде совокупности единиц, составляющих системную иерархию (рис. 6).

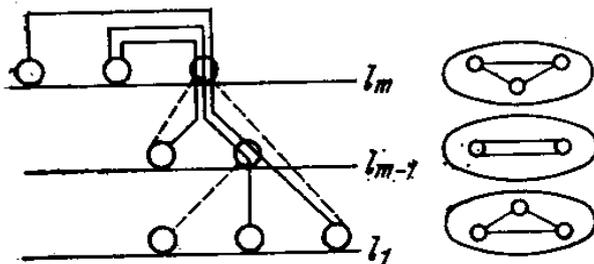


Рис. 6

Системная иерархия замыкается снизу предельно единицей, которая еще сохраняет основные черты данной системы, но не может быть разложена на единицы, а только на элементы. Например, молекула аммиака уже не может быть разложена на молекулы, а только на атомы (т.е. элементы). Также и в радиотехнике любое устройство может быть представлено в виде иерархии четырехполюсников. Скажем, радиоприемник (рис. 7) состоит из усилителя радиочастоты (УРЧ), детектора (Д) усилителя звуковой частоты (УЗЧ), источника питания (ИП) и т.д. Однако каждый из этих четырехполюсников может быть разложен на более простые четырехполюсники. Например, усилитель может быть представлен в виде нескольких каскадов. Если же простой четырехполюсник не может быть разложен на четырехполюсники-единицы, то он представляет собой предельную единицу. Последняя разлагается только на элементы, в данном случае двухполюсники.

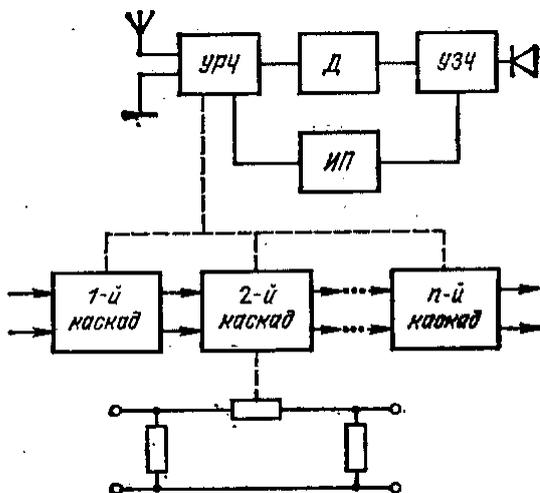


Рис. 7

Совокупность единиц, принадлежащих одному горизонтальному ряду системной иерархии, назовем уровнем иерархии. Другим важным понятием иерархического представления системы является понятие уровня анализа. Уровень анализа характеризует глубину системной иерархии от системы как целого до элементов и выражает предел делимости данной системы на подсистемы.

Переход от единицы к ее элементам обычно сопровождается сменой теоретического окружения, в котором) описывается система. Например, при рассмотрении информационной системы как четырехполюсника мы имеем системное окружение, описываемое в основном теорией информации. Разлагая эту систему, например генератор синусоидальных колебаний, в иерархию четырехполюсников, мы получаем его структуру, состоящую из двухполюсников. Если теперь рассматривать какой-либо конкретный двухполюсник, например резистор, как систему, мы перейдем на другой уровень анализа, где системное окружение описывается теорией электричества.

Можно выделить два типа функциональных связей между единицами системной иерархии — горизонтальные и вертикальные (* См. Сетров М.И. Основы функциональной теории организации — Л.: Наука, 1972). Горизонтальные связи (или связи координации) устанавливаются между единицами какого-либо одного уровня иерархии, могут быть двух видов: однонаправленные и двунаправленные (или двусторонние). Вертикальные связи (или связи субординации) существуют между единицами различных уровней иерархии, пронизывают один или несколько уровней системы, являются внешними по отношению к единицам более низкого уровня иерархии и внутренними по отношению к более высокому уровню. Последовательность уровней иерархии не может быть жестко задана, она зависит от решаемой задачи. Для того чтобы ограничить сочетания и перестановки уровней иерархии, необходимо описать стандартные операции над ними. Можно выделить, например, операцию ветвления. Каждый уровень либо расщепляется на несколько уровней, либо несколько уровней соединяются в один. В случае операции замыкания организация одного уровня однозначно соответствует организации другого уровня (** См. статью О. И. Генисаретского в [59]).

Единицы каждого уровня описываются через набор вертикальных и горизонтальных связей. Одной или несколькими из этих связей соответствует единица более низкого уровня иерархии. Предельная единица уже не разлагается на единицы. Описывающему ее внешнему набору вертикальных и горизонтальных связей соответствует фиксированный набор функциональных мест. Последние образуют вместе с отношениями между ними внутреннюю организацию предельной единицы. Эта организация может быть так или иначе реализована в виде определенной структуры. Реализованная единица представляет собой компонент системы, который так же, как и элемент, характеризуется свойствами первого и второго порядка. Выбор способа реализации диктуется инженерными требованиями. Стандартные наполнения функциональных мест выбираются в справочниках-каталогах, где также могут содержаться характеристики стандартных наполнений единиц системы.

Процессуальное представление системы предполагает понимание системного объекта как совокупности процессов, характеризующихся последовательностью состояний во времени. Основным понятием здесь является понятие периода жизни — временного интервала, в течение которого функционирует данный процесс. Период жизни T разбивается на ряд состояний $S_{t_0}, S_{t_1}, \dots, S_{t_n}$. Анализируя состояния процессов, протекающих в системе в данный момент, а также прошлые состояния, можно выделить инварианты этих процессов, которые позволяют перейти к функциональному описанию системы. Связи $P_{S_{t_0}, S_{t_1}}$ соединяющие отдельные состояния в единый процесс внутри периода его жизни, называются связями перехода. Совокупность двух или более состояний, соединенных связями перехода, образует единицу перехода (или единицу процесса). Иерархическая упорядоченность таких единиц (от отдельных состояний до системы в целом) образует «процессуальную» иерархию.

Процессы, протекающие в системе, могут быть разделены на две группы: основные и вспомогательные. К основным относятся развитие и функционирование системы. Процессы

развития в отличие от функционирования выделить только при сопоставлении данной системы с другими аналогичными, существующими и существовавшими. Они относятся к внешним процессам системы в целом. Можно говорить о возможных путях развития системы и о факторах, влияющих на реализацию того или иного пути через ряд состояний. Функционирование же обычно относится к внутренним процессам нынешнего состояния сложной системы. Процессы функционирования выделяются с точки зрения выполнения сложной системой основных «внешних» целей и задач, ради которых она создана или создается. Если это система обработки информации, то к функционированию относятся информационные процессы. Функционирование, так же как и развитие системы, может быть разложено на ряд состояний. Например, функционирование радиолокационной станции заключается в обнаружении цели, в определении ее характеристик, в передаче управляющих воздействий и т.д. Эта последовательность состояний образует единый процесс функционирования радиолокационной станции. Вспомогательные процессы обеспечивают функционирование системы. К ним относятся, например, энергетические процессы и, конечно, передача и преобразование энергии не являются основной задачей функционирования данной системы). Регулятивные процессы также могут быть отнесены к этой группе, они поддерживают равновесие в системе, обеспечивают ее нормальное функционирование.

При создании сложных систем, функционирование которых сильно меняется за период жизни, процессы развития имеют решающее значение. Ныне уже невозможно просто проектировать систему, ориентируясь лишь на сегодняшние требования. Необходимо прогнозировать ее изменение, учитывать в проекте возможные перемены в ее реальном функционировании. Для этого недостаточно знать нынешнее состояние системы, требуется изучить прошлые ее состояния, установить связи перехода между ними, чтобы можно было прогнозировать ее изменение. Могут быть выделены инварианты процессов развития, на которые и следует ориентироваться при создании сложной системы.

Выделение состояний и определение периода жизни системы в значительной степени зависят от инженерных требований. Например, определение периода жизни радиолокационной станции зависит от длительности существования целей (ракет, самолетов и т.д.), также имеет значение время введения станции в эксплуатацию, за которое она может устареть, и возможность ее частичной перестройки при изменении характера целей. Возникает задача выделения инвариантной структуры системы. Решение этой задачи позволяет модифицировать отдельные блоки и подключать новые непосредственно в полевых условиях, оставляя станцию при этом функционально неизменной. Инварианты в структуре тех или иных типов сложных систем устанавливают их идентичность, что дает возможность применять теоретические средства, разработанные для одних типов систем, при создании других. Появляются научно-технические теории, предметно ориентированные на подобные типы систем, например теория радиолокационных станций, теория вычислительных машин и т.д.

За период жизни системы в ней происходят определенные процессы развития, среди которых можно выделить по крайней мере шесть: централизацию и децентрализацию, интеграцию и дезинтеграцию, организацию и дезорганизацию. Интеграция — это процесс все более тесного связывания элементов системы, повышения ее целостности. Противоположный ему процесс — дезинтеграция — состоит в рассогласовании отдельных частей системы, что может привести к выходу ее из строя, к «смерти». Интеграция и дезинтеграция могут последовательно существовать в одной и той же системе.

Централизация предполагает постепенное выделение одной ведущей части системы, которая начинает играть доминирующую роль. Небольшие изменения в ней ведут к серьезному изменению системы. Противоположный процесс — децентрализация системы — приводит к увеличению равноценности всех частей. Перечисленные процессы тесно взаимосвязаны: одновременно могут происходить дезинтеграция и децентрализация, интеграция и централизация и т.д. [91].

Иерархическая организация системы заключается во все большем упорядочении отдельных подсистем по уровням иерархии с увеличением числа этих уровней и соподчинения

их друг другу. Нарушение упорядоченности единиц системы по уровням иерархии называется ее дезорганизацией. Организация (или дезорганизация) может сочетаться попеременно с интеграцией (дезинтеграцией), централизацией (децентрализацией).

Для системного подхода важное значение имеет вопрос о построении системного эталона (*Прежде чем приступить к конкретному системному исследованию, каждый исследователь имеет определенный эталон системы, на который он ориентируется. Такой эталон формируется обычно стихийно и, как правило, не фиксируется в явном виде. Одна из основных задач общей теории систем состоит в том, чтобы построить и описать системные эталоны, используемые в науке. Мы специально говорим о «системных эталонах», так как предполагаем, что многообразие значений понятия «система» неизбежно влечет за собой возможность различных подходов к построению системного эталона) на основе синтеза вышеописанных системных представлений. Способы такого синтеза зависят от конкретных задач, которые приходится решать тем или иным исследователям. Ниже мы изложим соображения об определенном способе построения обобщенного системного эталона, отдавая себе отчет, что для конкретных задач иногда достаточно использовать частные системные эталоны, которые могут быть получены из обобщенного путем исключения тех или иных компонентов.

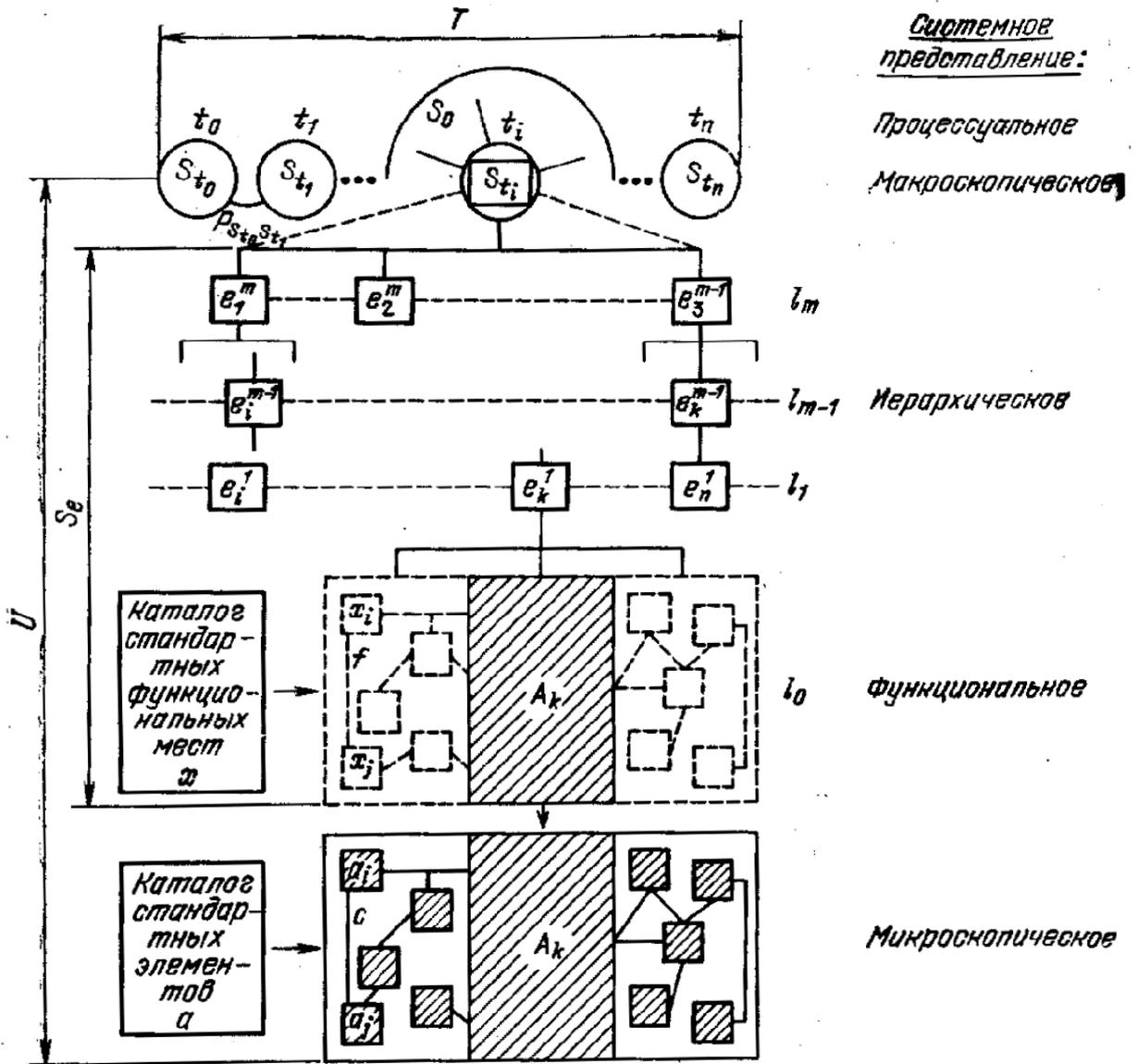
Наиболее полное описание системного эталона предполагает наличие всех вышеописанных системных представлений. Возможный способ синтеза элементарных представлений в обобщенном эталоне может быть следующим (рис.8). Каждое состояние системы должно быть представлено как совокупность системы и системного окружения, сама система может быть развернута в иерархию единиц вплоть до предельного уровня иерархии. Одновременно каждая единица системы должна быть представлена как совокупность функциональных мест и отношений, наполненных определенной структурой. Процессуальное, макроскопическое, иерархическое, функциональное и микроскопическое представления взаимодополняют друг друга. Например, процессуальное представление системы может быть более полно описано с точки зрения изменения структуры данной системы, функциональное существенно дополняет микроскопическое представление: при описании структуры системы выделяются одновременно и функциональные характеристики ее элементов.

Обобщенный системный эталон предполагает определенный способ «движения» (рис. 8). Из предыдущего изложения очевидно, что период жизни системы, системное окружение и наполнения функциональных мест должны быть заданы извне (как при анализе, так и при проектировании систем). Это предопределяет способ «движения» от одного представления к другому: от процессуального к макроскопическому и далее через иерархическое к функциональному, а от него к микроскопическому системному представлению. Последовательность представлений системы «процессуальное—функциональное — макроскопическое — иерархическое — микроскопическое» определяется характером исследования системного объекта. Определению процессуальных характеристик этого объекта всегда сопутствует его функциональное — статическое — описание процессов функционирования. Иерархическое системное представление определяет процедуру «функционального вложения» подсистем друг в друга, повторяющуюся много раз. Макроскопическое и микроскопическое представления системы являются развернутыми описаниями верхнего и нижнего пределов данной исследовательской процедуры.

Этот порядок перехода сохраняется и для частных вариантов системных эталонов, которые могут быть следующими: 1) отсутствует процессуальное представление — исследование начинается с системного окружения; 2) системная иерархия свернута в один уровень иерархии (при прочих равных условиях); 3) выполняется условие 2 и, кроме того, отсутствует процессуальное представление системы. Каждое системное представление в отдельности также может использоваться в качестве системного эталона.

Системные представления и понятия как средство исследования и проектирования сложных инженерных объектов в рамках системотехники относятся к уровню конкретной научной методологии. Однако эти же понятия, рассмотренные с точки зрения их общего употребления в качестве средства методологического анализа системотехники, являются

общенаучными понятиями (подробнее о соотношении различных уровней методологии см. [3, 5, 88]). Они позволяют конкретизировать применительно к системотехнике общие принципы познания. Следует, однако, подчеркнуть, что перенесение средств анализа с высших уровней на уровень специальной (конкретно-научной) методологии не должно быть механическим. Эти средства обязательно должны получить предметную интерпретацию и разработку.



t_0, t_1, \dots, t_n — внутреннее время системы; S_{t_i} — состояние системы в данный момент; S_0 — системное окружение; S_e — системная иерархия; l_1, l_2 — уровни иерархии; e — единица; U — уровень анализа; $f(x_j, x_i)$ — отношения между x_j и x_i ; $c(a_i, a_j)$ — связь; A_k — компонент

Рис. 8

Глава 2. СИСТЕМОТЕХНИКА — ОБЛАСТЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЗНАНИЯ

Системотехника представляет собой комплексную научно-техническую дисциплину, включающую совокупность методов и средств анализа и организации инженерной деятельности, а также методов и приемов анализа и проектирования инженерных систем. Научные исследования в системотехнике являются междисциплинарными — в ней используется самый широкий спектр научных и технических дисциплин. Синтез знаний в системотехнике осуществляется с помощью конкретно-методологических средств системного подхода.

2.1. Основные типы системотехнического знания

Системотехника включает в себя сложную совокупность различных типов знания, к которым относятся: 1) эвристические методы и приемы системотехнической практики; 2) знания различных научных дисциплин, тем или иным образом используемые при создании сложных систем или организации инженерной деятельности 3) собственно системотехнические теоретические средства.

Первые могут быть разделены на конструктивно технические и «технологические» знания [79, 103].

Конструктивно-техническое знание ориентировано преимущественно на описание объекта и соответствующей «вещественной» структуре инженерного объекта — совокупности элементов, имеющих определенную форму свойства и способ соединения. Поэтому такое знание называется конструктивным. Но оно включает также знание о процессах и характеристиках функционирования инженерных объектов и именно в силу этого назван конструктивно-техническим. Таким образом, конструктивно-техническое знание — это знание об отдельных элементах, структуре и процессах функционирования сложных инженерных объектов в определенной окружающей среде, которое формируется в результате обобщения практического опыта их проектирования, изготовления, отладки и т.д.

К конструктивно-техническим знаниям следует отнести, например, описание составных элементов систем связи (источник информации, кодирующее устройство, канал и декодирующее устройство) с классификацией существующих типов этих элементов. Источник информации может быть звуковым, оптическим, с записью на перфоленте или магнитной ленте. Канал—среда, по которой передается сообщение, может быть отдельным проводом, волноводом и т. д. Существуют также различные типы связей канала и источника при их различной реализации. К характеристикам функционирования относятся пропускная способность линии связи, максимальный и средний объем сообщений, технические нормы обслуживания, уровень шумов и классификация искажений сигнала. Конструктивно-техническими знаниями являются также знания о компонентах и характере окружающей среды. В этом случае окружающая среда рассматривается как особый «внешний элемент» системы с определенными свойствами. Условия функционирования сложных систем в различных средах существенно дополняют конструктивно-технические знания системотехники (например, к ним относится характеристика средств защиты линий связи от химического воздействия морской воды) [80].

«Технологические» знания системотехники фиксируют методы создания и принципы использования сложных систем. Они включают методы, приемы и процедуры исследования

и создания сложных систем, а также средства, методы, принципы анализа и организации инженерной деятельности. Системотехнические знания о деятельности по созданию сложных систем относятся не только к изготовлению инженерного объекта на производстве, но и к организации его проектирования и использования. Эти знания являются эмпирической базой таких дисциплин, как исследование операций, сетевой анализ, индустриальная социология и инженерная психология.

В системотехнике используются знания различных математических, естественных, технических и общественных дисциплин [128]. Для создания сложной системы, как правило, используются только определенные разделы научных дисциплин, несколько модифицированные применительно к решению системотехнических задач. Таким образом, традиционные научные дисциплины в рамках системотехники приобретают новый способ существования и развития, испытывая воздействие инженерных требований.

Средства для моделирования конкретных инженерных объектов при их проектировании, монтаже, отладке часто заимствуются из математики. Поэтому математическое знание является важнейшей составной частью системотехники, наиболее широко используются теория вероятностей, математическая статистика, теория игр, теория массового обслуживания, линейное программирование, различные разделы прикладной математики. Научная база естественнонаучного знания, применяемого в системотехнике, значительно расширилась: в нее включаются анатомия, биология, физиология (например, идея использования биологических принципов в технике лежит в основе бионики). Появились и новые технические науки, такие, как инженерная психология, теория вычислительных машин, техническая эстетика, инженерная экономика. «Если первые технические науки были вынуждены опираться только на теорию естественных наук и внешне походили на «прикладное естествознание», то в последнее время в связи с усилением теоретических исследований в обществознании появляются технические науки, которые все больше ассимилируют результаты теоретических исследований в обществознании» [74, с. 75]. В системотехнике требуется учитывать не только машинные связи, но и взаимоотношения человека и машины, отношения между людьми, а также связи системы и общества. Это обуславливает принципиальную неоднородность теоретического знания системотехники: инженерные решения данной группы задач основываются на знаниях общественных наук — социологии, экономики, социальной психологии, лингвистики, семиотики.

Прежде чем перейти к рассмотрению собственно системотехнических теоретических средств и анализу специфики теоретического системотехнического исследования, необходимо уточнить само понятие теории и различия теоретических исследований в естественнонаучных и научно-технических дисциплинах.

Идеи содержательного методологического анализа развиваются в отечественной методологической литературе в контексте исследования конкретных естественнонаучных, прежде всего физических теорий. Это позволило сформулировать оригинальную концепцию содержательной структуры научной теории, из которой мы далее и будем исходить (например, работы И.С. Алексеева в [76], А.В. Ахутина [1], Л.Б. Баженова [2], В.С. Степина [81], В.С. Черняка [94], В.С. Швырева [98]). В структуре естественнонаучной теории обычно выделяются 3 основные компоненты: теоретические схемы, математический и концептуальный аппарат.

Теоретические (онтологические) схемы, представляют совокупность идеальных объектов теории, ориентированных с — одной стороны, на применение соответствующего математического аппарата, а с другой — на «мысленный эксперимент», т.е. на проектирование возможных экспериментальных ситуаций. Они закрепляются, как правило, в определенном графическом изображении. В электродинамике, например, роль таких схем играют электриче-

ские и магнитные силовые линии, представления об электромагнитном поле и волнах.

Теоретические схемы выражают также особое видение, мира, под определенным углом зрения, заданным в теории (именно поэтому они могут быть названы онтологическими). С одной стороны, они отражают некоторые интересующие данную теорию свойства и аспекты реальных объектов, а с другой — являются ее оперативным средством для особого идеализированного представления этих объектов, которое затем может быть реализовано в эксперименте. Действительно, чтобы осуществить эксперимент, необходимо, устранив побочные влияния, воссоздать естественный процесс искусственным путем в условиях, которые в природе не наблюдаются в чистом виде. Например, Г. Галилей, проверяя закон падения тел, выбрал для бросаемого шарика очень твердый материал, что позволило практически пренебречь его деформацией. Кроме того, он старался устранить трение на наклонной плоскости, оклеив ее отполированным пергаментом. Искусственно созданные в эксперименте ситуации должны быть представлены и описаны как некоторые идеализированные конструкции. В данном случае такой конструкцией является наклонная плоскость. Теперь искусственно полученная экспериментальная ситуация рассматривается уже как некоторый идеализированный естественный процесс движения природных тел по наклонной плоскости, т.е. объективно как некоторая теоретическая схема (именно потому, что она является схематизацией естественного процесса, мы и называем ее схемой). Последняя может быть экстраполирована на некоторый класс реальных объектов, для которых можно пренебречь трением и упругой деформацией. В этом аспекте данная теоретическая схема выступает уже как некоторое оперативное средство представления реальных ситуаций. С точки зрения используемого в теории математического аппарата она должна быть рассмотрена как некоторый объект оперирования (с которым осуществляются различные математические действия и преобразования), замещающий в определенном отношении реальный объект.

Таким образом, существенное значение особенно в математизированных научных теориях имеют так называемые «идеальные» объекты (абстрактные, идеализированные). Они специально конструируются в теоретическом знании как результат особого рода идеализации и схематизации экспериментальных объектов (*Подробнее см. Смирнов В.А. Уровни знания и этапы процесса познания. — В кн.: Проблемы логики научного познания. — М.: Наука, 1964; Артюх А.Т. О природе абстрактных объектов и способах их построения.- В [38]). Совокупность объектов теории, включенных в определенную идеализированную экспериментальную ситуацию, и представляет собой теоретическую схему. Эти схемы с одной стороны могут быть преобразованы в реальные экспериментальные ситуации и включены в экспериментальную научную деятельность, с другой — они сконструированы так, что позволяют осуществлять над ними некоторые математические операции (расчеты).

Математический аппарат необходим прежде всего для расчета экспериментальных ситуаций, служащих средством обоснования и подтверждения полученных теоретических знаний. Кроме того, в развитой теории он выполняет также функцию преобразования идеальных объектов путем дедуктивного вывода, что позволяет получать новое знание, не обращаясь к эксперименту и наблюдению, т.е. не выходя за рамки теоретической деятельности. О действительной математизации той или иной науки можно говорить только тогда, когда математические методы начинают применяться не только для обработки экспериментальных исследований, но и для поиска новых закономерностей, построения теории и создания специального формализованного языка.

Для математизации той или иной научной дисциплины обязательно необходима параллельная и даже предварительная разработка адекватного концептуального аппарата. Теоретические схемы и математический аппарат всегда употребляются в контексте определенного понятийного окружения. В этом смысле концептуальный аппарат необходим для понятий-

ного закрепления теоретических схем и математического аппарата теории. Кроме того, он используется для осуществления их связи с экспериментальной и другими типами деятельности. Другими словами, концептуальный аппарат выполняет также определенную коммуникативную функцию

Можно выделить несколько понятийных уровней теории, соотносимых друг с другом. Например, в электродинамике ключевым теоретическим понятием для описания естественных физических процессов служат понятия электромагнитного поля, излучения электромагнитной волны, тока смещения. Понятия же, скажем, диполя, вибратора, резонатора необходимы для представления обобщенных в теории реальных экспериментов. В настоящее время для получения электромагнитных волн и измерения их параметров используются соответствующие радиотехнические устройства и, следовательно, понятия, их описывающие, служат той же цели, поскольку по отношению к электродинамике эти устройства выполняют функцию экспериментальной техники. Понятия амплитуды, частоты, фазы, периода и др. характеристик электромагнитных колебаний необходимы для описания их формы и соответствующих математических зависимостей между физическими величинами.

В технической теории (*о понятии «техническая теория» см [29, 96]) можно выделить в принципе те же компоненты, что и в естественнонаучной (теоретические схемы, математический и концептуальный аппарат). Однако они уже будут иметь иное содержание. В технической теории также есть идеальные объекты, которые являются «однородными», т.е. собранными из некоторого фиксированного набора элементов по определенным процедурным правилам (* Они однородны в том смысле, что все идеальные объекты технической теории состоят из одних и тех же элементов (см. ст. О.Д. Симоненко в [60])). В электротехнике им соответствуют емкости, индуктивности, сопротивления, в теоретической радиотехнике — генераторы, фильтры, усилители, в теории механизмов и машин — различные типы звеньев, передач, цепей, механизме] и т.д. Эти идеальные (идеализированные) элементы адекватны стандартизованным конструктивным элементам, занесенным в инженерные каталоги.

Потребность в развитии инженерных расчетов с по мощью привлечения теоретических средств стимулирует не только построение специфического идеального объекта технической теории, но и установление соответствия между плоскостью идеальных и сферой инженерных объектов, т.е. особых операций перенесения теоретических результатов в область инженерной практики. Такое различие соответствует фактически теоретическому и эмпирическому уровням знания, выделяемым обычно в научном познании [98]. Объекту инженерной деятельности, на которую и ориентированы прежде всего результаты исследований, проводимых в определенной научно-технической дисциплине, на эмпирическом уровне соответствуют конструктивно-технические и «технологические» знания, образующие эмпирический базис такого рода дисциплины.

Математический аппарат в технической теории также выполняет несколько функций. Он предназначен, во-первых, для инженерных расчетов конструктивных и технологических параметров объектов, во-вторых, для анализа и синтеза их теоретических схем (т. е. различных дедуктивных преобразований идеальных объектов технической теории) и, в-третьих, для исследования естественных процессов, происходящих в инженерном объекте (например, для анализа спектра периодических колебаний, свойств импульсов, характеристик переходных процессов и т.д.) Применение математических методов для преобразования идеальных объектов обеспечивает развитие технической теории и возможность получения знаний без обращения к инженерной практике, причем сами математические методы в процессе их использования претерпевают определенные изменения, приспособляясь к решению специфических научно-технических задач. Например, операционное исчисление было разработано для решения практических инженерных задач и приобрело законченную логическую форму

значительно позже. В современном его виде оно достаточно эффективно используется в теоретической электро- и радиотехнике для анализа электрических схем и процессов; а также их эквивалентного преобразования, дедуктивного выведения и синтеза. Применение математики даже только для инженерных расчетов требует определенной идеализации инженерного объекта.

Особенность научно-технических дисциплин определяется тем, что инженерная деятельность заменяет в них эксперимент. Именно в ней проверяется адекватность теоретических выводов и черпается новый эмпирический материал. Поэтому знания, полученные в теории, обязательно должны быть доведены здесь до уровня практических инженерных рекомендаций.

Для естественнонаучной теории главным является решение теоретических задач в плане отображения естественного процесса с целью прогнозирования и описания его будущих состояний. Математические соотношения и экспериментальные результаты играют вспомогательную роль (обоснования, расчета, подтверждения и т.д.). В технической теории дело обстоит принципиально иначе: ключевым для нее является конструктивная, морфологическая схема инженерного объекта, непосредственно ориентированная на проектную деятельность.

Функционирование технической теории осуществляется «челночным», итерационным путем. Сначала формируется инженерная задача создания определенного инженерного объекта. Затем она переформулируется в научную проблему, а потом в математическую задачу, решаемую дедуктивным путем. Этот путь «снизу вверх» называется обычно анализом. Обратный путь — синтез — позволяет на базе имеющихся конструктивных элементов (вернее, соответствующих им идеальных объектов), по определенным правилам дедуктивного преобразования синтезировать новый инженерный объект (точнее, его идеальную модель, теоретическую схему) рассчитать его основные параметры и проимитировать его функционирование. Решение, полученное на уровне идеальной модели, последовательно трансформируется на уровень инженерной деятельности, где учитываются второстепенные с точки зрения идеальной модели инженерные параметры (такие, как габариты и масса деталей, способы их соединения, экранировка этих соединений и самих деталей от побочных электромагнитных влияний, наиболее оптимальное конструктивное расположение и т.д.) и проводятся дополнительные расчеты (поправки к теоретическим результатам). Таким образом, нижний уровень идеальных объектов технической теории непосредственно связан с эмпирическими (конструктивно-техническими и технологическими) знаниями и ориентирован на использование в инженерном проектировании. Этим и определяется во многом специфика технической теории — ее проектная направленность: идеальным объектам обязательно должен соответствовать класс гипотетических инженерных объектов, которые еще не созданы. Поэтому в научно-технических дисциплинах важен не только анализ, но и синтез теоретических схем инженерных объектов.

Именно поэтому эмпирический уровень технической теории должен содержать в себе не только конструктивно-технические и технологические знания, которые, по сути дела, ориентированы на обобщение опыта инженерной работы, но и особые практико-методические знания [79, 103]. Последние отражают движение теории «сверху вниз» и представляют собой практические рекомендации по применению научных знаний, полученных в технической теории, в практике инженерного проектирования. Именно в деятельности инженера-проектировщика «проверяется» эффективность и реализуемость результатов, полученных теоретическим путем, их адекватность практическим инженерным задачам, формулируются также новые задачи, стимулирующие развитие технической теории.

Конечно, в действительности техническая теория не имеет сегодня непосредственного

контакта с инженерной деятельностью и проектированием. Их взаимодействие осуществляется через инженерные исследования (проводимые в рамках самой инженерной деятельности), которые направлены, с одной стороны, на переформулировку теоретических знаний, полученных в технической теории, в практико-методическую форму, а с другой — на постановку научных проблем, возникающих в связи с решением инженерных задач на всех этапах создания инженерного объекта и трансляции их в сферу технической теории.

2.2. Типы исследований в системотехнике

Сложная структура научно-технического сообщества (*Под научно-техническим будем понимать исследовательское сообщество [33] в научно-технических дисциплинах. Его ядро составляют специалисты, полностью (или в большой степени) утратившие связь с другими науками или практической инженерной деятельностью) и необходимость тесной и постоянной связи с инженерной деятельностью обуславливают наличие в научно-технических дисциплинах нескольких типов исследований, а именно: фундаментальных, научно-технических и инженерных.

Фундаментальные (или поисковые) исследования направлены на развитие определенной теории и рассчитаны на перспективу (5 лет и более). Для них не планируются проектные результаты. Признанным результатом считаются публикации. Эти исследования осуществляются институтами академии наук или на кафедрах вузов либо головным отделением отраслевого НИИ, как правило, за счет других более результативных тем (или по особым темам с конечным выходом на прикладные исследования, но не на проектную деятельность). На первых этапах развития научно-технических дисциплин поисковые фундаментальные исследования в них осуществляются главным образом специалистами других областей науки (математики, базовой естественнонаучной дисциплины и т.д.).

Научно-технические исследования являются развитием и конкретизацией результатов фундаментальных исследований для решения определенного класса инженерных задач. Они планируются от 1 года до 5 лет и представляют собой научно-исследовательские разработки (НИР), результатом которых являются помимо отчетов методические рекомендации (для инженеров-исследователей, проектировщиков, изобретателей и т.д.), руководящие технические материалы или техническое задание (ТЗ) на опытно-конструкторскую работу (ОКР). Публикации в данном случае рассматриваются как важный, но побочный результат. Научно-технические исследования финансируются за счет специальных тем НИР и проводятся главным образом в отраслевых НИИ либо вузах или отраслевых лабораториях Академии наук (как правило, по договорной тематике). Эти исследования осуществляются собственно представителями данной научно-технической дисциплины, утратившими полностью или частично связь либо с какой-нибудь другой (естественнонаучно или математической) дисциплиной, либо с инженерной деятельностью. Работа в данной области является для них основной.

Инженерные (технические, прикладные) исследования осуществляются в короткие сроки — до одного года (как правило, около трех месяцев). Они представляют собой НИР в рамках ОКР и финансируются за счет проектных разработок (или же в рамках изобретательской деятельности). Инженерные исследования включают предпроектное обследование, научное обоснование разработки, анализ возможности использования уже полученных научных данных для конкретных инженерных расчетов, эффективности разработки, а также необходимости проведения (а иногда и проведение, если это возможно в короткие сроки) недостающих научных исследований и т.д. В них осуществляется конкретизация, определение

возможности использования и сферы применения результатов уже проведенных научно-технических и фундаментальных исследований при разработке данного инженерного объекта. Кроме того, определяется потребность в проведении новых научно-технических исследований. Если это необходимо, может быть открыта новая тема НИР, выдано ТЗ на НИР и проектная работа приостановлена до окончания дополнительного научно-технического исследования. Инженерные исследования, как правило, осуществляются инженерами-проектировщиками, изобретателями, конструкторами, для которых научное исследование является побочной деятельностью. Иногда формируются специальные подразделения из инженеров-исследователей. В отдельных случаях могут привлекаться эксперты — специалисты в области научно-технических исследований. Инженерные исследования проводятся в основном в отраслевых НИИ (с проектной тематикой), конструкторских бюро (КБ) и заводских лабораториях. Публикации в данном случае являются редкостью, исключением из правила.

Таким образом, особенностью функционирования научно-технических дисциплин является наличие нескольких уровней исследования, которые имеют явно выраженные прямые и обратные связи и обеспечивают эффективное обслуживание инженерной деятельности. Такая иерархическая многоуровневая структура научно-технической дисциплины и обеспечивает эффективную реализацию теоретических результатов, трансляцию их в сферу инженерных средств, а также формулировку новых инженерных задач в виде теоретических проблем.

Вышеперечисленные типы исследований в системотехнике просматриваются особенно рельефно, однако теоретические исследования в ней (которые мы далее и будем в основном анализировать) обладают определенной спецификой.

В современной науке можно выделить два основных способа организации теоретических исследований — монодисциплинарный и междисциплинарный [45]. Монодисциплинарные исследования могут быть одноаспектными и одноплановыми. Первые характерны прежде всего для естественных, вторые — для классических технических наук.

Единому объекту теории одноаспектного исследования соответствует множество эмпирических объектов изучения. Например, в механике различные объекты изучения рассматриваются с точки зрения их движения. При этом любой объект изучения представляется в виде совокупности идеальных точек и описывается как чистое движение данных точек, т.е. как особый идеальный объект, отражающий некоторый определенный аспект объекта изучения.

Специфика же технических наук заключается в том, что для разных режимов функционирования инженерного объекта конструируются различные идеальные объекты. Скажем, дна и та же электрическая цепь для переменных токов высокой и низкой частоты теоретически представляется и расчленяется по-разному, причем каждому такому представлению соответствует вполне определенный математический аппарат. А то же время в данной отдельной классической технической науке способ видения объекта исследования (проектирования) является фактически одноплановым, детерминированным той базовой естественнонаучной дисциплиной, которая стимулировала ее появление и развитие (теоретическая механика, электродинамика и т.д.). В этом смысле идеальные объекты классических технических наук можно считать однородными, а способ теоретического исследования в них монодисциплинарным и одноплановым.

Таким образом, в одноаспектных теоретических исследованиях тип исследуемого объекта не задан жестко. Детерминирован только способ его представления и анализа. В одноплановых (но многоаспектных) классических технических теориях, напротив, жестко задан тип инженерного объекта, способ же его анализа и проектирования определяется характером решаемой инженерной задачи.

С развитием целого ряда классических технических наук постепенно выясняется ана-

логичность принципа действия и тождество (и применимость) разных математических описаний некоторых наиболее распространенных частей инженерных объектов (например, различного рода регуляторов) независимо от способа их реализации (на электрической, гидравлической, пневматической или механической основе). Это позволяет отвлечься от конкретной формы реализации естественного процесса, протекающего в инженерном объекте (т.е. от конкретного способа организации его функционирования) и акцентировать внимание на анализе обобщенной структуры инженерного объекта независимо от деталей конструктивного воплощения. Формируется новый тип теоретического исследования — междисциплинарный.

Междисциплинарные теоретические исследования могут быть интегрированными и комплексными. Первые являются результатом обобщения и последующей интеграции частных теоретических схем различных научно-технических дисциплин, т.е. разных планов исследования определенного инженерного объекта на общей математической основе в некотором особом аспекте (например, устойчивости и качества систем автоматического регулирования). Вторые—и многоаспектны и многоплановы. Они сохраняют комплексность на всех этапах исследования сложных инженерных объектов, единство и целостность их обеспечиваются методологически.

Типичным интегрированным междисциплинарным исследованием является теория автоматического регулирования. Первоначально системы автоматического регулирования процессов (горения, температуры воды, давления в трубо- и газопроводах, пара в котельных агрегатах, температуры в сушильных установках и доменных печах, напряжения, мощности и частоты электромагнитных колебаний и т.п.) исследовались и рассчитывались по-разному. Однако постепенно сформировались общие методы расчета, анализа и синтеза следящих систем. В период становления теории автоматического регулирования уже появились такие классические технические науки, как, например, теория механизмов и машин, теоретическая электротехника и радиотехника. Поэтому ее формирование осуществлялось в двух основных направлениях: во-первых, обобщение уже выработанных в этих дисциплинах теоретических средств и способов решения типовых задач и, во-вторых, развитие единого математического аппарата.

Первое направление развернулось на базе обобщения разработанных в теоретической радиотехнике способов анализа электрических цепей с помощью эквивалентных схем и соответствующих преобразований. Сначала все разнородные звенья просто сводились к эквивалентным электрическим схемам, на которых и производились основные расчеты. Это позволило распространить на широкий класс систем автоматического регулирования некоторые развитые в радиотехнике методы, например критерий устойчивости Найквиста, разработанный им для исследования электронного усилителя с отрицательной обратной связью (см. А. В. Михайлов. Метод гармонического баланса в теории автоматического регулирования. — Автоматика и телемеханика, 1938, «№ 3»). Для классификации и структурного анализа систем автоматического регулирования (динамических цепей) были использованы и обобщены выработанные в теории механизмов (Фр. Рело, Л. В. Ассуром, В. В. Добровольским и А. А. Артоблевским) [18] для исследования кинематических цепей методы классификации и структурного анализа механизмов (И. И. Гальперин. Структурные исследования регулируемых систем. — Изв. ВТИ, 1941, № 4).

Второе направление начало активно разрабатываться с 50-х годов, когда задачами автоматического регулирования занялись математики, что способствовало быстрому развитию линейной теории управления (см. Ракетная техника и космонавтика, 1972, т. 10, № 6, с. 3—10). В результате были выработаны единые математические методы анализа и синтеза систем автоматического регулирования практически любого типа независимо от способа их инженерной реализации. Это привело к выделению особого звена (регулятора) механиче-

ских, гидравлических, электрических и других устройств, к которому наиболее хорошо применимы данные методы как объекта исследования теории автоматического регулирования. «По-видимому, автоматическое регулирование—единственная область техники, целостность которой обусловлена не общностью решаемых проблем или сходством материалов и машин, с которыми приходится иметь дело, а математическими методами» (Тр. Амер. об-ва инженеров-механиков, 1972, т. 94, № 1. Динамические системы управления, с. 3). Однако для эффективного функционирования данной технической теории необходимо было ликвидировать разрыв между единым математическим описанием и разнородными поточными и структурными (конструктивными) схемами к которым оно применялось (последние заимствовались из соответствующих технических наук без какой-либо перестройки). Это стимулировало развитие особых обобщенных структурных схем (по отношению к частным онтологическим схемам теории механизмов, теоретической радиотехники и электротехники, гидравлики и т.д.), в которых давалось единообразное описание системы автоматического регулирования независимо от конкретного конструктивного воплощения и типа протекающего в них естественного процесса — гидравлического, электрического, механического или пневматического.

Такой способ построения междисциплинарного исследования к системотехнике в принципе не подходит (это отмечается, в частности, в [36]). В ней используется несколько математических схем (классификация которых дается, например, в [8]), поэтому междисциплинарные исследования в системотехнике будут не интегрированными, а комплексными.

Таким образом, одноаспектные теоретические исследования в естественных науках основываются на едином способе построения теоретических схем для самых различных объектов, включенных в эмпирический базис естественнонаучной теории. Одноплановые теоретические исследования в классических технических науках используют множество теоретических схем единого объекта изучения — однородного инженерного объекта. Междисциплинарное интегрированное исследование опираясь на разнообразные теоретические схемы технических наук, которые описывают в определенных планах по существу разнородный инженерный объект, имеет единый математический аппарат и способ структурного представления.

Развитие комплексного исследования также ориентировано на синтез используемых теорий, но в несколько ином плане, чем в интегрированном междисциплинарном исследовании. Комплексное теоретическое исследование включает ряд одноаспектных и одноплановых теоретических исследований, характеризуется множеством «частичных» идеальных объектов. Средства и способы-исследования выбираются из различных научных дисциплин или разрабатываются специально применительно к каждой конкретной проблеме.

Проведение комплексного теоретического исследования в системотехнике предполагает множество частичных идеальных объектов теоретического знания. Сложный инженерный объект может быть представлен и как информационная, и как человеко-машинная система, и как элемент социальной системы и т.д. В комплексном теоретическом исследовании должны быть учтены все эти частичные представления. Его развитие ориентировано на синтез используемых в нем теорий. Эта задача связана с построением единого объекта теории, в котором были бы «сняты» частичные идеальные объекты системотехнического знания.

Будем различать специальные и абстрактные системы. Специальная система строится в рамках одноаспектного теоретического исследования для задания объекта теории или, иначе говоря, идеального объекта знания. «Частичный» идеальный объект получает особую организацию — «в материале» объекта выделяются определенным образом организованные элементы и связи. В этом смысле можно говорить об экономической, информационной и других специальных системах сложного инженерного объекта.

Абстрактная система, которую будет называть гиперсистемой, — это методологиче-

ское средство, представляющее собой общую схему синтеза определенного класса специальных систем, т.е. особым образом представленных частичных идеальных объектов системотехнического знания. Гиперсистема предполагает наличие фиксированного набора частичных идеальных объектов — известное количество одноаспектных и одноплановых теоретических исследований, включенных в данное комплексное исследование. Всякая гиперсистема опирается на определенный класс частичных идеальных объектов. В пределах данного комплексного исследования указанный класс остается неизменным. Однако из фиксированного набора частичных идеальных объектов, представленных как специальные системы, может быть посредством их различных сочетаний получено множество комплексных системных моделей. Эти модели соответствуют решаемым в пределах комплексного исследования задачам. Гиперсистема задает способы и процедуры построения комплексной системной модели из специальных систем. В комплексном теоретическом исследовании представление объекта изучения меняется в зависимости от решаемой задачи, в него включаются различные идеальные объекты и в различной комбинации. Поэтому важно задать принцип, схему синтеза частичных идеальных объектов, общую для любой задачи в пределах данного комплексного исследования.

Гиперсистема задает методологический принцип синтеза специальных систем, что позволяет при решении каждой отдельной исследовательской задачи «собирать» специальные системы в комплексную системную модель, обеспечивает тем самым единство комплексного исследования.

Проведение комплексного теоретического исследования в системотехнике предполагает два этапа (рис. 9). На первом этапе знания используемых в системотехническом исследовании теорий должны быть представлены в виде специальных систем (S_1, \dots). Например, сложный инженерный объект должен быть описан совокупностью стандартных элементов (источников информации, чувствительных элементов, безэнтропийных источников энергии и т.д.) и существующих между указанными элементами информационных связей [86]. Тем самым решается проблема трансформации частичных научных представлений в специальные системы и между ними устанавливается определенное системное соответствие. На втором этапе полученный таким образом класс специальных систем включается в различные комплексные модели сложного инженерного объекта. Гиперсистема обеспечивает целостность комплексной системной модели. Многоаспектность сохраняется на всех этапах комплексного исследования. Это позволяет рассматривать в едином контексте любое исследование сложного инженерного объекта, не сводя его к какой-либо одной теории. В то же время системотехническое исследование в таком понимании уже не будет просто агрегатом различных знаний относительно сложного инженерного объекта.

Таким образом, специальные системы синтезируются в комплексную модель в соответствии с гиперсистемой, которая позволяет учитывать кроме научных инженерные требования и ограничения. Это в свою очередь позволяет использовать комплексную системную модель, полученную на теоретическом уровне, в качестве исходной при разработке системотехнического проекта. Из множества системных моделей выбирается одна или несколько, наиболее соответствующих ТЗ. Системный характер модели определяет принцип распределения функций между проектировщиками по блокам, упрощает и сокращает проектировочный цикл, поскольку варианты системных теоретических моделей могут быть «заготовлены впрок». При проектировании остается только «вынуть» соответствующие системные модели из общей классификационной схемы и осуществить необходимую в проекте степень детализации. Такая модель должна быть целостной.

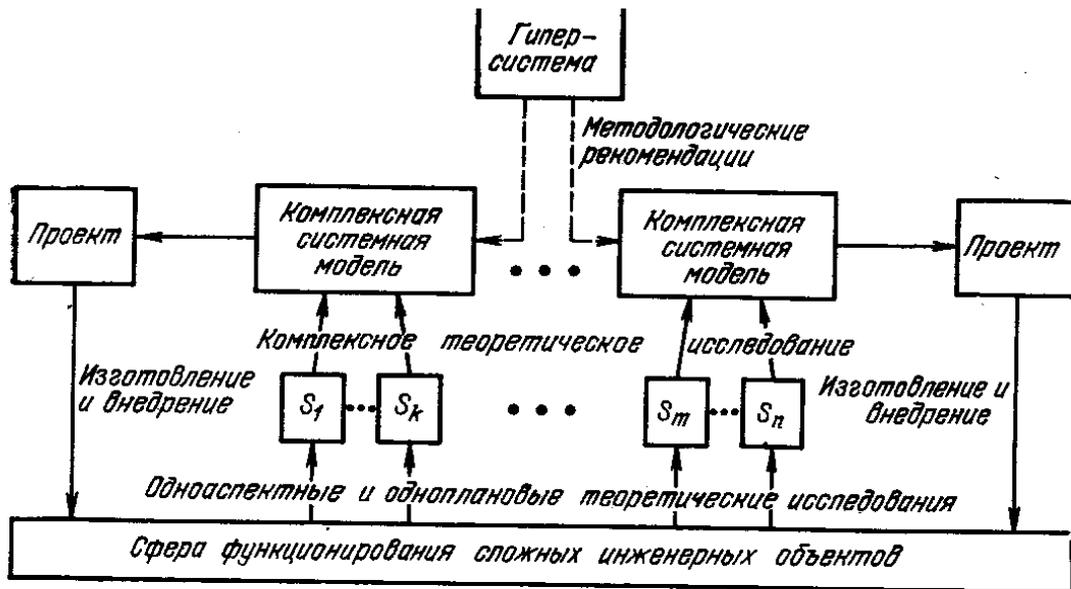


Рис. 9

2.3. Целостное описание сложной системы и синтез системотехнических знаний

Сложная система может быть описана извне — с точки зрения ее взаимодействия с окружающей средой, изнутри — как состоящая из совокупности компонентов, с позиции структуры этих компонентов и т. д. Выделяемый аспект рассмотрения обычно зависит от позиции инженерных и исследовательских групп, участвующих в ее создании. В системотехнической практике ставится задача объединить и согласовать деятельность этих групп. Она может быть осознана также как проблема целостного представления инженерного объекта и инженерной деятельности. В этом смысле для инженера-системотехника характерно именно целостное представление объекта, объединяющее частичные представления (* В процессе исследования сложной системы используются представления многих научных дисциплин, которые являются частичными. Последние включают в себя не только знания научных и технических дисциплин, но и инженерные требования и ограничения) инженеров-специалистов, отвечающих за работоспособность отдельных частей или аспектов системы.

Инженер-системотехник должен иметь и целостное представление о системотехнической деятельности, чтобы обеспечить ее единое функционирование, осуществлять координацию инженеров-специалистов. Реальный конфликт, возникающий между этими двумя категориями инженеров, в теоретической области понимается как конфликт между «целым» и «частями», между целостным, системным подходом, с одной стороны, и «частичным» подходом — с другой. Чтобы наметить пути решения этой проблемы, необходимо описать возможные подходы к проблеме целостности (* В литературе широко исследуется проблема целостности (см., например, [4, 107]). Не претендуя на полноту анализа, мы только выделим различные подходы к ее решению. Основная наша задача — рассмотреть эти подходы вместе, установить их взаимоотношение и выделить среди них синтетический подход к решению проблемы целостного описания сложной системы.). Будем рассматривать эти подходы в методологическом плане как различные приемы исследования систем.

Методологические подходы к решению проблемы целостности. Проблема целост-

ности связана со статическим и динамическим способами описания системы.

Статический подход представляет собой сведение целого к фиксированным характеристикам. Если рассматривать систему с внешней позиции, то как целое она не состоит из частей, а сама представляет собой часть объемлющей системы — целостный объект объясняется через внешние характеристики с точки зрения системного окружения. Если же изучать систему с внутренней позиции, то она предстает как состоящая из частей целостная «конструкция». В последнем случае будем различать аналитический и синтетический подходы к проблеме целостности.

Аналитический подход — это объяснение исследуемого целого через другие целые, составляющие данное. Такое описание целого через другое целое более низкого уровня предполагает иерархическое представление системы. Синтетический подход также позволяет описать целое через его части. Однако ход объяснения в данном случае противоположен ходу объяснения аналитического подхода. При синтетическом подходе целое определенного уровня иерархии «конструируется» из целостных частей, принадлежащих более низкому уровню иерархии. Аналитический и синтетический подходы могут основываться на принципах аддитивности, супераддитивности или субаддитивности.

Согласно принципу аддитивности целое равно сумме частей. При аналитическом подходе целостный инженерный объект объясняется исходя из целостностей более низкого уровня иерархии, являющихся частями данного целого, и сводится к ним. В этом случае части не являются целыми, не существуют самостоятельно вне данного целого. При синтетическом подходе целое может быть сведено к сумме составляющих его частей, поскольку принцип расчленения известен заранее из предшествующей аналитической процедуры.

С точки зрения принципов супераддитивности и субаддитивности, целое не равно сумме частей. Части сами представляют собой целые другого уровня. Их существование не сводится к функционированию в исследуемом целом. Субаддитивность (целое меньше суммы частей) предполагает, что целостность частей больше целостности системы. Требования, налагаемые частями на «конструкцию» инженерной системы, оказываются более сильными, чем исходные требования, предъявляемые к целому. Это ведет к недостаточности определения частей как специфических целых. В определении целого нет многих характеристик частей, поскольку они теряются при таком сведении целого к частям. Части существуют отдельно в том же виде, что и в исследуемом целом. Поскольку согласно принципу субаддитивности целостность частей больше целостности системы, наблюдается избыточность определения целого через его части.

Супераддитивность (целое больше суммы частей) означает, что целостность частей меньше целостности системы. В этом случае только исходя из целого можно объяснить его части. В таком определении содержатся характеристики, относящиеся к системе в целом, но не присущие частям. Кроме того, подразумевается относительная независимость целого от частей. Части могут существовать отдельно вне данного целого, но не в том же виде, что в нем самом. Тот факт, что целостность частей в данном случае меньше целостности системы, обуславливает недостаточность определения целого через части.

Динамический подход предполагает рассмотрение данной целостности как развивающейся системы, описание целого через прошлое (генетическое объяснение) и будущее (целенаправленное объяснение) состояние.

При генетическом объяснении ход объяснения совпадает с ходом реального процесса развития объекта изучения (* Под реальным процессом развития будем понимать «движение» объекта в историческом времени. Ход объяснения представляет собой движение по объекту, направленное на исследование его структуры или этапов развития последней, может совпадать с основными этапами развития этого объекта, и может быть противоположен

ему (предшествующее состояние объясняется через последующее)). Данное целое может рассматриваться как возникающее из суммы целых (интеграция), Кроме того, целое описывается как возникшее из другого целого и объясняется через него. Инженерный объект, например, состоит из суммы таких частей, как различные материалы, блоки, машины и т.д., которые существовали как целые, а в совокупности составили новую целостность. Тот же самый объект может быть рассмотрен как система, развившаяся из существовавшей до нее системы. Система как целое возникает из другого целого.

Целенаправленное (финалистское) объяснение предполагает ход объяснения, не совпадающий с ходом реального процесса развития. Исследуемое целое объясняется через его «конечное» состояние или, точнее, через представление этого «конечного» состояния — через цель его развития. Данное целое переходит либо в другое целое, либо в сумму целых частей. Процесс превращения целого в сумму частей будем называть дезинтеграцией. Сложная система может быть описана как заменяемая через определенное время более совершенной системой и в то же время как система, разлагающаяся в процессе дезинтеграции на составные части (самостоятельные целые).

Сама системотехника как объект изучения может быть также объяснена либо целенаправленно, либо генетически. При целенаправленном объяснении описываются перспективы развития системотехники — ее будущее состояние, которого она достигнет в результате своего развития, при генетическом — изучаются истоки, причины и история ее возникновения.

Приведенные подходы к проблеме целостности могут быть объединены и рассмотрены как взаимодополняющие аспекты единого подхода. С этой целью производится «вложение» внутренней структуры системы во внешнюю и их соотношение в определенной окружающей среде. Объединяются два подхода: «часть — целое» и «система — системное окружение», что дает более полное представление о целостности объекта. Синтетический подход к проблеме целостности всегда опирается на аналитический. Такое описание должно быть дополнено динамическим объяснением внутренней и внешней структуры системы. Это позволяет вскрыть «механизмы» развития системы в развивающейся среде и выделить инварианты ее структуры. Может быть сделан акцент на какой-либо один подход и тогда остальные подходы будут выступать как вспомогательные, неосновные, хотя и существенные, моменты исследования. Так, при рассмотрении проблемы синтеза знаний в системотехнике мы используем в качестве основного синтетический подход к проблеме целостности и принцип супераддитивности.

Относительно всей сложной и неоднородной совокупности системотехнических знаний формулируется проблема целостного описания объекта как в практическом (по упорядочению знаний при проектировании, изготовлении, в целях обучения и т.д.), так и в теоретическом плане. Неоднородность системотехнического знания заключается в том, что для решения системотехнических задач в одних случаях уже существуют теоретические средства, а в других — таких средств нет. С точки зрения методологического анализа необходимо выяснить, что же представляют собой и как существуют все эти знания в системотехнике, что их объединяет.

Способы целостного описания сложных систем. Проблема целостного описания функционирования сложной системы решается в системотехнике 3 способами: в сфере инженерной практики, в виде структурных схем, на базе системного подхода. Эти три способа соответствуют трем принципам, на которых основывается синтетический подход к проблеме целостности: субаддитивности, аддитивности и супераддитивности.

Первый способ — сочетание представлений различных научных дисциплин друг с другом и с инженерными представлениями без сведения их к единой теоретической основе. Это позволяет отдельному исследователю или разработчику при решении частной инженерной

задачи строить каждый раз заново непохожие друг на друга схемы сложных систем. Качество этих схем зависит от предварительной подготовки исследователя (разработчика). Невозможно воспроизвести общую процедуру их построения (она находится в сфере интуиции проектировщика). Можно только описать максимальный набор средств и представлений (эмпирических и теоретических), которые могут быть использованы для решения различных инженерных задач, в лучшем случае можно указать, на каких этапах инженерной деятельности обычно применяются те или иные средства.

Схемы такого рода фактически представляют собой синкретическое соединение объектных представлений различных теорий (элементов электрических и кинематических схем, структурных схем теории автоматического регулирования и Других дисциплин) и представлении объекта в инженерной практике. Способ соединения зависит от каждой конкретной задачи, а также от подготовки самого проектировщика. Такие схемы используются, например, для изображения радиолокационных станций. На одной общей схеме присутствуют элементы кинематических, радиотехнических, электрических и электронных схем, структурных схем и различных монтажных схем, на основании которых рассчитываются и собираются механические, электрические и другие блоки. Подобные схемы позволяют решать инженерные задачи (имитировать сборку и функционирование сложного инженерного объекта), используя необходимый набор теоретических средств. Существенным недостатком такого способа соединения представлений сложной системы является неоднородность получения теоретических представлений, что затрудняет разработку единых средств решения инженерных задач. Несовместимость блоков, изображенных на такой схеме, ведет к противоречиям в системотехническом знании: одни и те же элементы объекта оказываются по-разному представленными. Множество рассогласований характеристик отдельных блоков системы обуславливает невозможность ее единого теоретического описания.

Такого рода схемы часто используются инженерами-системотехниками. Их описание можно найти в любой книге по функционированию или проектированию сложных систем. Решение задач на этих схемах всегда дает частные результаты. Каждая задача решается уникальным путем: нельзя сформулировать типовые способы их решения, которые обеспечили бы перенос результата на новые случаи.

Первой работой по системотехнике, в которой содержится попытка систематического решения проблемы стыковки схем и представлений сложных систем и типологизации системотехнических задач, является книга Г. Х. Гуда и Р. Э. Макола «Системотехника» [21]. В ней дано обобщенное описание инженерных задач, а также «научных орудий», которые используются при их решении. Хотя единого языка для обобщенного описания в работе фактически нет, выделяются общие характеристики систем (целостность, «телеологичность», сложность и др.), дается описание в общем виде последовательности этапов и фаз проектирования с фиксацией за ними определенных инженерных задач и научных средств их решения, отмечается соответствие определенных частей сложных технических систем и различных теоретических дисциплин, которые используются для решения инженерных задач. Однако в этой книге нет теоретического основания для объединения «частичных» знаний и представлений сложных систем. Использование синкретических схем фактически не дает решения проблемы целостности теоретического описания сложной системы. В данном случае полученное практически синкретическое описание и сам сложный объект имеют тенденции к «распаду» на отдельные независимые части, Системотехнику с трудом удастся их состыковать, поскольку требования, налагаемые частями на конструкцию системы, являются более сильными, чем требования, предъявляемые целым к частям. В данном случае целостность частей больше целостности системы, а целое меньше суммы частей (что соответствует принципу субаддитивности).

В реальной системотехнической деятельности указанные трудности преодолеваются путем многократной итерации от частей к целому и обратно. Сама системотехническая деятельность обеспечивает целостность и инженерного объекта и его представления. Однако синкретические схемы имеют существенный недостаток: теоретическая несовместимость теоретических знаний обуславливает невозможность имитировать в них функционирование системы в целом, усложняет инженерные расчеты, проектные решения, разработку технологии, отладку и т.д.

Второй способ целостного описания связан с представлением сложного инженерного объекта в виде структурной схемы, т.е. как системы, через которую протекает поток либо вещества, либо энергии, либо информации (У. Гослинг называет их поточными диаграммами — flow diagram [116]). Такая система имеет четко идентифицированные входы и выходы, а ее элементы производят над этим потоком различные операции, например расчленение его на несколько составляющих, соединение нескольких потоков в один, изменение формы потока (допустим, электрической в механическую) и т.д. В процессе проектирования сложная система представляется в виде однородной структурной схемы. У. Гослинг устанавливает правила ее построения (например, связи, изображающие движение потока между элементами, не должны собираться в одну: это возможно только внутри соответствующих элементов). Собранный по этим правилам структурная схема представляет собой описание преобразований входного потока системы в выходной, где каждое преобразование выполняется определенным элементом. Этим преобразованиям могут ставиться в соответствие математические операции, что позволяет производить необходимые расчеты, причем решение может быть получено посредством цепи преобразований (перестановки элементов, замены нескольких блоков одним, разложения одного элемента из несколько и т.п.) одной структурной схемы в другую.

Способ построения однородных структурных схем сложных систем обладает важными достоинствами. Он позволяет разрабатывать единые формальные средства специально для решения типовых системотехнических задач. Однако этот способ имеет и ряд недостатков. Машинизация представлений сложного инженерного объекта, которую предполагают такие схемы, является неадекватной строению этого объекта. Исторически сложный инженерный объект первоначально рассматривался как машина. «В ранние годы она (системотехника) ограничивалась чисто физическими, машинными аспектами...» [114, р. 9]. Однако такой способ описания скоро перестал удовлетворять инженеров-системотехников. В последнее время в системотехнике формируется новая позиция, новый подход к человеко-машинным системам. Человек становится прототипом системы. «Задача проектирования состоит не в том, чтобы распределить функции между человеком и машиной, а в том, чтобы перепоручать машине функции человека» [30, вып. 2., с. 211]. Основанием, объединяющим человеческие и машинные компоненты инженерной системы, сегодня признается деятельность. «Термин «распределение задач между людьми и машинами» становится бессмысленным ... Задача состоит ... из деятельностей, которые должны быть разделены между людьми и машинами» [30, вып. 1, с. 200].

Структурные схемы имеют еще один существенный недостаток. С их помощью фактически не решается проблема совмещения различных научных и инженерных представлений. Такими схемами нельзя пользоваться для описания сложной системы в целом, так как сам способ оперирования с ними однозначен и все сводится к одному узкому операциональному ее представлению. Это описание необходимо видоизменить с поправкой на разнородность объекта, поскольку в нем не учитываются социально-психологические, человеко-машинные, экономические и другие связи. Задача же комплексного исследования в системотехнике, по нашему мнению, состоит не в том, чтобы свести всю сложность процессов в инженерном

объекте, зафиксированную в многообразии научных и инженерных представлений, к одному процессу, а в том, чтобы в едином изображении представить все многообразие процессов. Необходимо синтезировать эти процессы, а не элиминировать их отдельные характеристики.

Рассмотренный способ решения проблемы целостности соответствует принципу аддитивности. Целое, представленное в виде структурной схемы, может быть сведено к сумме составляющих его частей, поскольку принцип расчленения заранее задан в самом способе представления.

Третий способ целостного описания сложного инженерного объекта основывается на использовании системного подхода. Системные представления сложного инженерного объекта, с нашей точки зрения, позволяют учесть взаимодействие в инженерной системе людей и машин, связи между людьми, отношения системы и социальной среды. Системные представления и понятия позволяют дать единое описание сложного инженерного объекта, сохранив комплексный характер этого описания. Тем самым преодолевается ограниченность и синкретических, и структурных схем, поскольку системный подход сочетает в себе и целостное, и иерархическое описание сложного объекта.

Целостность инженерного объекта как системы означает принципиальную несводимость его свойств к сумме свойств составляющих его элементов и невыводимость из последних свойств целого. Иерархичность сложного инженерного объекта, представленного в виде системы, означает, что каждый его компонент, в свою очередь, может рассматриваться как система, а сам он является лишь одним из компонентов системы более высокого порядка.

Целостность и иерархичность характеризуют любые системные представления. Например, процессуальное представление системы предполагает расчленение ее функционирования и развития в иерархию состояний, которые тем не менее образуют целое — систему. В макроскопическом представлении подчеркивается целостность интеграции системы с окружающей средой. В то же время такое представление вместе с микроскопическим представлением системы как бы ограничивает, очерчивает верхний и нижний пределы иерархического разбиения системы на подсистемы. Функциональное представление также предполагает и целостность и иерархичность системы. Однако с точки зрения системного подхода целостность сложного объекта не может быть сведена к сумме составляющих его частей.

Для системных представлений характерен приоритет целого над частями. Целое не сводимо к частям, так как сами части приобретают новые свойства при вхождении в целое, и целое имеет такие свойства, которые не могут быть сведены к свойствам частей, а определяются характером их взаимосвязи. Системный подход преодолевает противопоставленность целого частям. Это соответствует принципу супераддитивности.

Микроскопическое системное представление предполагает связанность элементов системы, обеспечивающую ее целостность. Причем элементы связаны не только прямыми, но и косвенными связями (через систему как целое). В иерархическом и функциональном представлениях целостность системы определяется наличием отношений между единицами и функциональными местами ее элементов. С точки зрения макроскопического представления сложный инженерный объект рассматривается с позиции его окружения прежде всего как целостная система. Процессуальное представление системы также предполагает наличие связей перехода между отдельными ее состояниями. Эти связи интегрируют инженерный объект в целостную систему, обладающую определенным периодом жизни.

Процессуальное, макроскопическое, иерархическое, функциональное и микроскопическое системные представления соответствуют вышеописанным подходам к проблеме целостности. Например, процессуальному системному представлению может быть поставлен в соответствие динамический подход, а макроскопическому, иерархическому, функциональ-

ному и микроскопическому — статический. Причем макроскопическое представление позволяет рассматривать систему с внешней позиции, а иерархическое и функциональное — с внутренней. Микроскопическое представление в некоторой степени ориентируется на принцип супераддитивности, иерархическое и функциональное реализуют принцип аддитивности, поскольку единицы и функциональные места не существуют самостоятельно вне данной системы. Таким образом, при синтетическом подходе к проблеме целостности и принципе супераддитивности в системных представлениях учитываются и остальные подходы к той проблеме, которые, хотя и не являются здесь основными, но существенно дополняют исследование сложного инженерного объекта.

Возникновение системного подхода тесно связано с необходимостью целостного описания объектов. Системный подход снимает существующие в системотехнике специализированные односторонние подходы, выступает в виде методологической установки, задающей программу исследования. Эта программа ориентирует на подход к предмету исследования как к принципиально незамкнутому, допускающему расширение и восполнение за счет привлечения к анализу новых типов связей [108]. Именно поэтому системный подход является наиболее приемлемым методологическим средством для синтеза системотехнических знаний.

Синтез системотехнических знаний. Практическая стыковка компонентов инженерной системы и кооперация специалистов в процессе инженерной деятельности, осуществляемая системотехниками, в конечном счете зависит от решения задачи систематизации, переработки и переосмысления используемых в системотехнике знаний, взаимоотношения входящих в нее элементов, синтеза их в единое целое. При рассмотрении проблемы синтеза научного знания обычно выделяются следующие основные типы синтеза: внешний и внутренний (см. Е.М. Кедров. О синтезе наук. — Вопросы философии, 1972, № 3), экстенсивный и интенсивный синтез [74 с. 250—251].

Внешний синтез характеризует процесс интеграции, взаимопроникновения наук, усиления их взаимосвязи в рамках всей науки в целом. Внутренний синтез происходит в пределах какой-либо определенной области знания. Причем он будет внутривнутридисциплинарным, если осуществляется синтез эмпирических данных в теорию (например, через поиск общих закономерностей), и междисциплинарным, если синтезируется несколько научных дисциплин. В системотехнике осуществляется преимущественно междисциплинарный синтез знания. В результате интенсивного междисциплинарного синтеза знания осуществляется его интеграция в новую целостную научную дисциплину на основе формирования единой теории.

Экстенсивный синтез заключается в объединении научных дисциплин в единое целое без существенного их преобразования. Эти дисциплины сохраняют относительную самостоятельность в рамках данного целого, но подчинены общей задаче. Их целостность обеспечивается методологически (единым подходом, общими понятиями, методами и т.д.). В системотехнике наиболее широко используется экстенсивный синтез. Объединяющим центром является, конечно, единая проблемная область — создание сложных систем и организация инженерной деятельности. Однако основой для обеспечения единства системотехнического знания служит единый подход к этой области. Все типы системотехнического знания относятся к единому объекту изучения системотехники — сложной системе. Одни знания относятся к отдельным ее элементам и связям, другие — к системе в целом или к окружающей среде. Вопрос заключается в том, как зафиксировать целостность системы.

Сравнительно простые инженерные объекты (механизмы, электрические, радиотехнические устройства и др.) создаются на основе какой-либо одной теоретической дисциплины (например, теории механизмов и машин, теоретической электро- и радиотехники). В этой теоретической дисциплине и дается целостное описание. При создании РЛС, например, в ней

можно выделить чисто механические, электрические и электронные блоки, им соответствуют модели теории машин и механизмов, электротехники и электроники. Некоторые модели синтетических блоков укладываются в теорию автоматического регулирования. При проектировании блока «пульт—оператор» используются инженерно-психологические знания. Такие же части радиолокационной системы, как антенна, требуют построения специальной теоретической модели. Антенна радиолокационной станции может быть «разложена» на волноводы, механизмы поворота, излучатели и т.п., для которых уже существуют исходные теоретические модели. Математические и кибернетические модели используются для любых блоков радиолокационной системы и этому могут служить также средством увязки частичных теоретических моделей. Однако единая теоретическая модель радиолокационной станции строится обычно на основе теоретической радиолокации, которая позволяет связать частичные представления в комплексную модель.

В системотехнике дело обстоит иначе. При разработке например, АСУ предприятиями увеличивается число разнородных блоков и теоретических дисциплин, используемых для их создания. Скажем, для АСУ сам по себе блок «вычислительная машина» является достаточно сложным. Кроме того, возникает проблема теоретического описания блоков учета, планирования, контроля. Для этого используются экономические и информационные модели, сетевые графики и т.п. Для теоретических моделей взаимоотношений между людьми, принятия решений, стыковки людей с машинами и других требуется знание социологии, социальной, инженерной и педагогической психологии. Используются теоретические модели исследования операций, кибернетики, информатики и многих других дисциплин. Объединение и увязка частичных теоретических моделей АСУ в единую комплексную модель возможны только на методологической основе системного подхода, так как нет единой теории для такого рода объектов, различных не только по структуре, но и по назначению. Эта задача решается в системотехнике технике с помощью имитационного моделирования сложных систем, где концептуальному аппарату и теоретическим схемам системного подхода (зафиксированным в системных представлениях) ставится в соответствие определенный математический аппарат.

2.4. Имитационное моделирование сложных систем

Для решения комплексных системотехнических задач инженер-системотехник должен иметь целостное представление об объекте проектирования — сложной человеко-машинной системе. Это необходимо прежде всего для обеспечения стыковки компонентов таких систем в единое целое. Именно данной цели и служит так называемое имитационное моделирование, получившее в последнее время широкое распространение в различных областях науки и техники [7, 41, 47, 100].

Имитационное моделирование функционирования системы позволяет уже на ранних этапах проектирования представить систему как целостный объект. Анализируя такую модель, инженер-системотехник может принимать научно обоснованные решения по выбору наиболее подходящей реализации отдельных компонентов с точки зрения их взаимосвязи взаимного функционирования, учесть заранее различные факторы, влияющие на систему в целом, и условия ее функционирования, выбрать наиболее оптимальную структуру и наиболее эффективный режим работы. Однако для сложных человеко-машинных систем такой анализ невыполним средствами традиционного проектирования. Здесь на помощь проектировщику приходит ЭВМ.

Действительно, без использования современной вычислительной техники просто не-

возможно учесть те многочисленные данные о сложной системе, которые необходимы проектировщику, особенно если иметь в виду их разнородность, связанную с использованием знаний самых различных дисциплин и участием в создании таких систем различных специалистов. Кроме того, сложные связи между компонентами системы и зависимости между процессами функционирования можно моделировать только на ЭВМ. Автоматизация имитационного моделирования и направлена на расширение возможностей исследователя и проектировщика при решении стоящих перед ними задач — позволяет прогнозировать поведение систем в различных меняющихся условиях и выбирать адекватные этим условиям проектные решения.

Особое значение имитационное моделирование на ЭВМ приобретает в рамках системотехники. Создание так называемых диалоговых систем позволяет инженеру-системотехнику значительно расширить свои аналитические средства, повысить качество и обоснованность проектных решений, а также существенно сократить сроки их выработки. Диалоговые системы называются так именно потому, что между проектировщиком и ЭВМ осуществляется «диалог»: человек не только вводит данные в машину и получает готовое решение, но может изменять условия в ходе моделирования, корректировать этот процесс.

В системотехнике очень важно осуществить стыковку подсистем проектируемой системы и различных специалистов, участвующих в ее создании, уже на ранних стадиях проектирования. Диалоговые системы позволяют работать с единой моделью (вводить в нее новые исходные данные, вносить коррективы и т.д.) как различным «узким» специалистам так и инженерам-системотехникам. Причем ЭВМ сама варьирует эти данные и выдает варианты решения, из которых проектировщики могут выбрать наиболее подходящие для данного случая (принятие решения остается, конечно, за человеком). Проектировщик может, кроме того, «вызвать» из памяти ЭВМ нужные ему данные. Целостная же модель проектируемой системы постоянно хранится в машине в течение всего протекания проектирования. Все это существенно облегчает работу инженера-системотехника.

Имитационное моделирование на ЭВМ позволяет исследовать сложные внутренние взаимодействия в системе, изучать влияние на ее функционирование структурных изменений. Для этого в модель вносят изменения и наблюдают их влияние на поведение системы. Точно так же исследуется влияние изменений в окружающей среде. На основе полученных в результате моделирования данных разрабатываются предложения по улучшению структуры существующей системы или по созданию совершенно новой ее структуры. Имитационное моделирование на ЭВМ необходимо для предварительной проверки новых стратегий и решений, предсказания на модели узких мест, имеющих в системе, описания и прогнозирования на ней возможных путей естественного развития имитируемой системы в различных условиях и обоснования выбора вариантов ее структуры при соответствующих изменениях этих условий. Кроме того, оно позволяет формировать и распознавать структуры, оптимизировать их по заданному критерию, осуществлять имитацию динамики системы на этих структурах и оценивать качество вариантов моделей проектируемой системы, а, следовательно, и ее самой. Имитационное моделирование на ЭВМ включает в себя следующие этапы:

- формулировка цели моделирования (постановка проблемы);
- системное обследование объекта моделирования (сбор исходных данных);
- построение модели объекта (т.е. проектируемой и исследуемой системы) на естественном языке с развернутой формулировкой гипотезы, которую необходимо проверить;
- формализованное системное описание модели;
- экспериментирование с моделью на ЭВМ, предсказание поведения объекта моделирования для различных условий (генерация вариантов модели);

- выбор наиболее пригодного для данных условий варианта модели, его оптимизация и обоснование выбора;
- интерпретация модели, т.е. перенесение полученных на модели знаний на проектируемую систему, формулировка конкретных рекомендаций на основе результатов экспериментирования с моделью (обработка результатов эксперимента).

Постановка проблемы заключается прежде всего в ясном изложении целей эксперимента, т.е. осознании и явном представлении тех результатов, которые желательно получить в процессе экспериментирования с моделью. Эти цели формулируются либо в виде вопросов, на которые надо ответить, либо в виде гипотез, которые надо проверить.

Характер системного обследования объекта моделирования непосредственно зависит от формулировки целей модельного эксперимента. В ходе обследования важно определить, какие исходные данные необходимы и достаточны для решения поставленной проблемы и в каком виде они должны быть представлены. Должны быть также разработаны методики сбора данных и проверки их адекватности и тщательно продумана организация сбора данных. В процессе системного обследования осуществляется предварительный анализ этих данных. На основе собранной исходной информации и строится затем модель, имитирующая поведение системы.

Первоначально модель задается не обязательно в строго формализованном виде. Напротив, цель предварительного описания модели — сформулировать его на языке, наиболее приближающемся к естественному, т.е. в терминах, понятных и неспециалисту по имитационному моделированию, на содержательном уровне. Построенная таким образом модель на следующем этапе должна быть представлена уже в формализованном виде — с помощью соответствующих языков программирования.

Экспериментирование с моделью, на ЭВМ заключается в изменении входных данных, т.е. условий функционирования объекта моделирования. В данном случае производится генерация вариантов модели, предсказывающих поведение системы в гипотетически изменившихся условиях. Выбор наиболее пригодного для данных условий варианта модели и оптимизация этого варианта являются уже проектными задачами и находятся в прямой зависимости от целей проектирования. Такой выбор диктуется прежде всего содержательными критериями, т.е. интерпретацией модели. Последняя заключается в определении области и границ, в которых результаты, полученные на модели, будут справедливы для проектируемой системы.

В настоящее время для организации эффективного диалога проектировщика с ЭВМ используются современные технические и программные средства. Они дают возможность облегчить ввод информации и выдачу результатов моделирования. К таким программным средствам относятся специализированные алгоритмические языки моделирования. Особенность их заключается в том, что каждый такой язык имеет тщательно разработанную систему абстракций, закрепленных в соответствующей концептуальной схеме и представляющих собой основу для формализации. Именно они и будут предметом нашего анализа.

Алгоритмические языки имитационного моделирования представляют для методологического анализа особый интерес, поскольку в них, как и в различных вариантах теории систем, разработаны сходные понятия и представления. Во-первых, в качестве одной из основных целей многих вариантов теории систем выдвигается разработка формализованного описания сложных систем независимо от их природы (например, [73, 118]), а эта задача во многом решается в рамках алгоритмических языков имитационного моделирования. Во-вторых, системные представления и понятия дают возможность описывать в едином контексте любой язык моделирования, анализировать его концептуальный аппарат, сопоставляя с другими языками. Их сопоставительный анализ проводится обычно в терминах какого-либо одного из этих языков или их понятия просто отождествляются друг с другом, так как нет единой

методологической базы для их сравнения и обобщения (см. [22, 47, 119, 127]). По нашему мнению, такой методологической основой и средством анализа может быть системный подход.

Жестко заданная система понятий, объем и содержание которых четко определены, облегчает формализацию проблемы, подлежащей решению с помощью имитационной модели. В понятиях алгоритмических языков моделирования задается образ объекта, детерминированный той или иной математической теорией, интерпретацией которой является данный язык (например, теорией массового обслуживания). Поэтому «концептуальный каркас» языка в значительной степени определяет и область его применения.

В настоящее время существует довольно много языков имитационного моделирования, которые классифицируются по разным основаниям [32, 41, 47, 100], отнесение их к одному из типов является достаточно условным. Выберем для методологического анализа три дискретных языка, имеющих наиболее выраженные концептуальные схемы: ГПСС (GPSS), СИМСКРИПТ и СИМУЛА, соответствующие процессуальному, макроскопическому иерархическому, функциональному и микроскопическому системным представлениям. Подробное описание этих языков см.: ГПСС в [101], СИМУЛА — [23, 24], СИМОКРИПТ — [40].

Далее в книге (с. 72 — 78) произведено сопоставление концептуальный аппарат этих системных представлений и выбранных нами алгоритмических языков.

Таким образом, методологический анализ алгоритмических языков моделирования показывает, что имеется их определенное соответствие системным представлениям и понятиям. Для всех рассмотренных языков характерно отношение, существующее между функциональным (представленным в обобщенном описании модели) и микроскопическим (заключенным в описании реализации модели в конкретной предметной области) системными представлениями. Однако для каждого языка определяющим является какое-либо одно системное представление, имеющее наиболее развитые средства описания и отличающее этот язык от других. Для ГПСС — это процессуальное, для СИМСКРИПТа — микроскопическое, для СИМУЛА — иерархическое системное представление. Рассмотрение только этих языков позволяет уточнять некоторые понятия и представления системного подхода.

В алгоритмических языках имитационного моделирования различаются статические и динамические, постоянные и временные, активные и пассивные элементы системы.

Динамические элементы движутся в системе и производят в ней ряд действий. Это движение через систему сопровождается их воздействиями на статические элементы. Последние обслуживают динамические элементы и управляются ими. В соответствии с таким делением различаются и статические, фиксирующие расположение динамических элементов в системе, и динамические связи, описывающие движение динамических элементов по этой структуре.

Постоянные элементы неизменны за весь период жизни системы, временные могут быть за этот период созданы и разрушены. Активный элемент «работает» над пассивными, которые не выполняют никаких действий в системе. Кроме вышеперечисленных элементов в языках моделирования используется также понятие «метки» (ссылка, уведомление, указатель) события, которое должно произойти в будущем, т. е. метки элемента, который возникнет или может возникнуть в системе в определенный момент времени. Эти метки — особый тип временных элементов — используются для прогнозирования или планирования появления новых элементов в системе и обозначения их.

Каждый элемент независимо от его типа описывается определенным набором свойств (признаков, параметров, атрибутов). Они также могут быть постоянными и временными и отражать либо внутренние характеристики элементов (локальные атрибуты), либо системы в целом (системные атрибуты), либо отношения между элементами, т.е. характеризовать дан-

ный элемент с точки зрения его связи с другими элементами системы (ссылочные атрибуты).

Анализ языков моделирования позволяет также существенно уточнить представление о функционировании системы, которое рассматривается в них как движение по фиксированной структуре системы (т. е. совокупности статических элементов и статических связей между ними). Данное движение описывает динамические связи (связи перехода), при этом происходит изменение состояния элементов системы. В данном случае важным является понятие процесса. Процесс — последовательность событий, описывающих поведение системы, характеризуется структурой и правилом действий (схемой поведения). Активная фаза процесса и называется событием, пассивная представляет собой период неактивности, во время которого активными будут другие процессы. По мере того как наступают в различные моменты времени события, меняется статус системы, который описывает ее структуру в данный момент ее функционирования, т. е. в определенном состоянии. Понятие «статус» может быть употреблено и в отношении отдельного элемента, изменение статуса которого заключается, например, в изменении его свойства или принадлежности к подсистеме.

События могут быть внесистемными и внутрисистемными. Первые определяются причинами, лежащими вне системы, и происходят за ее пределами, вторые — предшествующими событиями и образуются внутри системы. Для описания функционирования системы в языках имитационного моделирования используются стандартные блоки, представляющие операции над ее элементами, а, значит, и отношения между ними. Последовательность операций, задающих динамику поведения системы (элемента), и составляет операционный алгоритм (правило действий) процесса. Таким образом, связи между блоками описывают последовательность событий, происходящих в системе, — операций функционирования (связи перехода между его отдельными состояниями), а сами блоки — состояние элементов системы. Другими словами, функционирование системы представляет собой наложение динамики событий (операционного алгоритма) на статическую структуру каждого ее состояния. Кроме того, в языках моделирования есть несколько понятий времени, которые не различаются в системном подходе. Под реальным временем понимается решение задач в темпе, соответствующем реальному функционированию системы. Это — внешнее по отношению к системе время. Системное время — представление реального времени в модели — величина, которая может принимать значения, называемые критическими временами. Последние характеризуют моменты, в которые происходят (могут произойти) изменения состояния системы. Протекание процесса при моделировании определяется последовательностью операций и критическим временем (те и другие не связаны со скоростью вычислений). Машинное время — это время, затраченное ЭВМ на осуществление тех или иных операций. Время вычислений зависит от качества и характера изменений состояния системы и не зависит от системного времени, используемого при моделировании. В любой динамической модели существуют переходы между состояниями ее элементов, занимающие положительные отрезки времени. Поэтому в языках моделирования вводится также понятие локального времени, к которому «привязываются» соответствующие изменения. «Локальные часы» рассматриваемого перехода указывают момент его завершения [47].

Весь период функционирования системы T проходит в системном времени (развитие же ее — в реальном времени). Этот период T представляет собой последовательность критических времен, t_1, \dots, t_2 характеризующих моменты, в которые происходят изменения статуса системы. Каждому такому моменту соответствует определенное состояние процесса. Время, за которое происходит изменение состояния элементов системы, т. е. время активной фазы процесса ее функционирования, и называется локальным t_i . Между состояниями никаких событий, изменений не происходит (пассивная фаза процесса), однако время, за которое осуществляется связь перехода между этими состояниями, необязательно

равно нулю, а некоторой величине τ_n . Совокупность процессов функционирования с аналогичной структурой и одинаковой схемой поведения составляет вид деятельности системы (класс процессов). Каждый процесс одной и той же деятельности может находиться в данный момент на разных этапах выполнения (активен, приостановлен, пассивен, завершен).

Таким образом, понятия алгоритмических языков имитационного моделирования конкретизируют и дополняют системные представления. Они позволяют также осуществить формализацию различных аспектов системы (системных представлений) и реализовать ее модель на ЭВМ. С каждым из этих языков связан определенный математический аппарат, который в результате проведенного анализа может быть поставлен в соответствие системным представлениям. В алгоритмических языках имитационного моделирования описание процессов функционирования основывается на теории вероятностей, математической статистике и теории массового обслуживания, которые наиболее пригодны для формализации именно процессуального системного представления. Для описания взаимосвязей элементов системы, а также системы и системного окружения и для ее иерархического представления в языках имитационного моделирования используются теория множеств и исчисление предикатов.

Применение алгоритмических языков имитационного моделирования для математизации системных представлений является, по нашему мнению, одним из наиболее перспективных путей развития теоретической системотехники. В этом контексте системные представления могут быть рассмотрены как теоретические схемы комплексного теоретического исследования сложной системы, а основные понятия системного подхода (элемент, системное окружение, связь и т.п.), с ним связанные, как его концептуальный аппарат. Математический аппарат этого исследования может быть заимствован из алгоритмических языков имитационного моделирования, соответствующих данным представлениям и понятиям. Тогда в перспективе можно считать, что такое комплексное теоретическое исследование должно сформироваться в своего рода специфический вариант общей теории систем, ориентированный на определенный класс системных объектов — сложные инженерные системы. (Иногда теоретическую системотехнику, для того чтобы отличить ее от системотехнической инженерной практики, называют системологией [26, 35].)

Однако сложность построения такой теории заключается в том, что она ориентирована на исследование особого рода системных объектов (качественно отличных от объектов исследования классических научно-технических дисциплин) — деятельностьных, и прежде всего самой системотехнической деятельности. Поэтому в системотехнике и необходима разработка теоретических средств целостного описания и организации этой деятельности. Именно системные представления и понятия позволяют получить такое описание.

Глава 3. СИСТЕМОТЕХНИКА — СФЕРА ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Для исследования проблемы синтеза системотехнических знаний в целостную систему необходимо провести исследование системотехнической деятельности. Анализ деятельности позволяет выявить типы и реальную связь знаний в системотехнике, механизмы их функционирования, а также системные характеристики деятельности:

типы иерархии, целостность, типы связей и т.д. При этом системный подход может быть использован как средство описания системотехнической деятельности, а анализ этой деятельности позволит уточнить системные представления и понятия и связи между ними

применительно к системотехнике.

3.1. Способы анализа деятельности

Деятельность — столь многогранный объект анализа, что каждая исследующая ее дисциплина выделяет в ней свой аспект. Например, для кибернетики наиболее характерно описание деятельности как последовательности действий, или операций; в науковедении внимание уделяется преимущественно формам организации научной деятельности и т.д.

Будем различать три основных способа описания деятельности с точки зрения объекта деятельности как особого процесса с точки зрения форм организации деятельности, кооперации выполняющих ее индивидов. (Мы рассматриваем только способы представления функционирования деятельности, а не генезис и развитие.)

1. Основной характеристикой деятельности является ее предметность, т.е. материальные условия деятельности. Предметное содержание деятельности выступает и как объект деятельности, и как образ, модель этого объекта [37]. В процессе деятельности исходный материал преобразуется в результат, продукт. Для этого вначале человек должен иметь образ, модель объекта — представление и об исходном материале деятельности, и о ее результате. Образы (или модели) объекта изменяются в ходе деятельности, а сама деятельность может быть представлена как последовательная смена моделей объекта.

Деятельность всегда направлена на определенный объект. Поэтому, с одной стороны, в объекте «отпечатывается» строение деятельности, а с другой — сама деятельность «вынуждена» приспосабливаться к сложившейся организации объекта. «Во время процесса труда труд постоянно переходит из формы деятельности в форму бытия, из формы движения в форму предметности» (*К.Маркс и Ф.Энгельс. Полн. собр. соч., т. 23, с. 200). В этом смысле строение деятельности отражает структуру объекта, его элементы и связи. Таким образом, можно выделить два способа описания деятельности с точки зрения ее объекта: (А) как последовательной смены представлений (моделей) объекта в ходе деятельности и (Б) в соответствии со структурой данного объекта.

2. Представление деятельности как процесса является, пожалуй, самым распространенным. Процесс деятельности рассматривается: (А) в виде последовательности фаз и (Б) в виде последовательности операций (действий). На каждой фазе достигаются определенные частные цели и выдается промежуточный продукт. В результате жесткой последовательности таких фаз формируется конечный продукт деятельности, реализуется общая ее цель. «Реализация определенной цели в момент t_j является необходимым условием начала деятельности, в результате которой должна быть достигнута очередная цель в последующий период t_i так далее вплоть до момента, t_n когда будет реализована цель, которую мы можем рассматривать как цель всей деятельности» [28, с. 102].

Человеческая деятельность часто описывается в виде последовательности операций [37, 103], т.е. в этом случае рассматривается «технология» деятельности. На каждой фазе решаются определенные задачи, для решения которых должен быть выполнен ряд операций, преобразующих исходный материал деятельности (в частности, исходную информацию) в ее результат. Теоретически на каждой фазе деятельности можно выделить одну и ту же последовательность «обобщенных» операций.

3. Конкретные виды деятельности осуществляют определенные индивиды. Вне общественных отношений «человеческая деятельность вообще не существует» [37, с. 82]. Представление деятельности с точки зрения форм организации, кооперации выполняющих ее ин-

дивидов получило в настоящее время широкое распространение в науковедении [42, 44] и в праксеологических исследованиях [28] (см. также Т. Котарбинский. Избр. произв. — М.: ИЛ, 1963). Организационные меры нужны для того, чтобы преодолеть недостатки специализации, сложившейся в различных сферах деятельности. Могут быть выявлены различные формы кооперации индивидов: например, каждый член коллектива выполняет одну и ту же деятельность; индивиды, обладающие одинаковой квалификацией, разделяют между собой деятельность по ее видам (принцип взаимозаменяемости); коллективы с жесткой специализацией, в которых взаимозаменяемость невозможна [28], и т.д. Однако из всех многочисленных форм кооперации специалистов мы будем различать две основные: в соответствии со структурой объекта и в общей последовательности работ в процессе деятельности. Эти формы соответствуют двум первым способам описания деятельности.

Вышеперечисленные способы анализа деятельности мы будем использовать для исследования системотехнической деятельности.

Анализ системотехнической деятельности показывает, что она неоднородна, включает в себя различные виды инженерных разработок и научных исследований. В системотехническую деятельность оказываются вовлеченными многие академические и отраслевые институты; над одними и теми же проектами трудятся специалисты самых различных областей науки и техники. В силу этого координация всех аспектов системотехнической деятельности оказывается нетривиальной научной, инженерной и организационной задачей.

Системотехническая деятельность осуществляется различными группами специалистов, занимающихся разработкой отдельных подсистем. Разбиение сложного инженерного объекта на подсистемы идет по разным признакам: в соответствии со специализацией проектировочных и инженерных групп или технических наук, с областью изготовления, со сложившимися организационными подразделениями. Каждой подсистеме данного объекта соответствует позиция определенного специалиста (не обязательно индивида, но и группы индивидов и даже целого института). Эти специалисты связаны между собой через существующие формы разделения труда, последовательность этапов работы, общие цели и т.д. Кроме того, для реализации системотехнической деятельности требуется группа особых специалистов — «координаторов» (главный конструктор, руководитель темы, главный специалист проекта, службы научной координации, научно-тематические отделы). Они осуществляют координацию и научно-тематическое руководство в плане объединения как различных подсистем, так и отдельных операций системотехнической деятельности. Универсалисты не только должны владеть знаниями координируемых специалистов, но и иметь представление о методах исследования системы в целом, в частности о методах описания системотехнической деятельности. Среди имеющихся способов такого описания мы последовательно рассмотрим три основных: членение системотехнической деятельности по объекту; описание последовательности фаз и операций системотехнической деятельности; анализ ее с точки зрения кооперации работ и специалистов.

Описание системотехнического цикла не случайно занимает главное место во всех пособиях по системотехнике, поскольку одна из ее основных задач — ускорение и повышение качества и эффективности разработки сложных систем. А решение этой задачи во многом зависит от того, насколько четкое и целостное представление имеет инженер-системотехник о данном цикле. Поэтому для его описания и необходимо использовать системные представления и понятия, ориентированные на принцип целостности.

3.2. Этапы разработки системы

При анализе системотехнической деятельности по объекту мы выделили два тесно связанных между собой способа описания этой деятельности с точки зрения изменения представлений (моделей) сложной системы в ходе ее проектирования и отображения структуры инженерного объекта, его элементов и связей.

А. В ходе проектирования представление о сложной системе изменяется, происходит последовательная конкретизация ее моделей. Будем рассматривать эти модели в виде схем и выделим три основных этапа системотехнической деятельности — разработки схем: функциональной, ориентированной на математическое описание; «поточной», фиксирующей естественные процессы, «протекающие» в инженерной системе; структурной, представляющей конструктивные параметры и инженерные расчеты, т.е. структуру этого объекта.

Функциональная схема фиксирует общее представление о сложной системе независимо от способа ее реализации. Функциональные схемы совпадают для класса систем и являются результатом их идеализации на основе определенных теоретических принципов. Блоки этой схемы фиксируют только функциональные свойства элементов инженерной системы, ради которых они включены в нее для выполнения общей цели. Блоки выражают обобщенные математические операции, а их отношения (связи) — определенные математические зависимости. Например, в эквивалентной электрической схеме элементам электрической цепи ставятся: в соответствии с емкостным сопротивлением — интегрирование, а индуктивному — дифференцирование. Связи между этими элементами цепи описываются системой алгебраических уравнений. Эти уравнения устанавливаются на основе законов Кирхгофа, описывающих закономерности естественного процесса, и включают параметры конкретной цепи. С их помощью вычисляются неизвестные значения параметров.

На следующем этапе системотехнической деятельности анализируются информационные, энергетические и материальные потоки в системе и между системой и окружающей средой. Поточные схемы (или, иначе, схемы функционирования) описывают естественные процессы, протекающие в сложной системе и связывающие его элементы в единое целое. Блоки таких схем отражают различные действия, выполняемые над естественным процессом элементами системы в ходе ее функционирования. Такие схемы строятся, исходя из естественнонаучных представлений (физических, информационных и т.д.). Примером поточных схем могут служить процедурные и операционные. Блоки процедурных схем описывают общий характер действий над естественным процессом, протекающим в (системе, и обозначают их исходный материал и продукт). Операционная схема отражает только последовательность операций, составляющих процедурные блоки. На основе операционной схемы может быть составлен математический алгоритм (алгоритмическая функциональная схема), который может быть заложен в ЭВМ для имитации естественного процесса (представленного на операционной схеме), и сконструирована определенная структурная схема, ее реализующая.

Структурная схема фиксирует те узловые моменты, на которые замыкаются «потоки» (процессы функционирования). Это могут быть единицы оборудования, детали или даже целые технические комплексы. Структурная схема отображает конструктивное расположение элементов и связей в данной системе и уже предполагает ее возможную реализацию. Структурные схемы специфичны для каждой инженерной системы. Элементы последней рассматриваются в них как обладающие, кроме функциональных, свойствами второго порядка — теми нежелательными свойствами, которые привносит с собой определенным образом реализованный элемент. Блоки структурных схем фиксируют конструктивно-технические параметры элементов инженерной системы, а связи между ними — процедуры ее сборки из этих типовых элементов (*Деление на функциональную, поточную и структурную схемы, предлагаемое в данной книге, является результатом методологического анализа и обобщения

ния как опыта разработки традиционных технических систем, так и создания сложных систем в сфере управления [21, 34, 91, 92, 116].).

Функциональная схема соответствует функциональному системному представлению, поточная — процессуальному, а структурная — микроскопическому. Все они могут включать в себя описание как внешней, так и внутренней структуры системы, что адекватно макроскопическому и иерархическому ее представлениям.

Для описания конкретных функциональных, поточных и структурных схем используются и различные понятийные средства. Например, для описания физических процессов электрическая цепь, в которой они протекают, должна быть представлена в естественном модусе — в виде поточной схемы — как специфический природный объект с помощью таких физических понятий, как «электрический ток», «напряжение», «емкость», «сопротивление», «проводимость» и т.д. Однако для создания нового электрического устройства оно должно быть описано в искусственном модусе, как продукт инженерной деятельности — в виде определенной структурной схемы. В данном случае используются понятия, учитывающие его конструктивно-техническое и технологическое оснащение: «конденсатор», «резистор», «соединительный проводник» и т.д. На эквивалентной ей операторной (функциональной) схеме того же устройства каждый элемент описывается определенным уравнением, устанавливающим зависимость между током и напряжением на этом элементе. Та же самая поточная схема электрической цепи для осуществления математических преобразований (допустим, в случае периодических колебаний протекающего через нее тока) представляется с помощью так называемого комплексного метода — в виде особой функциональной схемы, в которой «поточные» элементы (индуктивность, емкость, сопротивление и т.д.) заменяются функциональными блоками — комплексными сопротивлениями, выражающими некоторые алгебраические уравнения, а периодический электрический колебательный процесс — векторной диаграммой. Им соответствуют математические понятия оператора, описывающего действия элементов цепи над естественным процессом, аргумента и модуля вектора, адекватных начальной фазе и амплитуде колебаний электрического тока, передаточной функции и т.д.

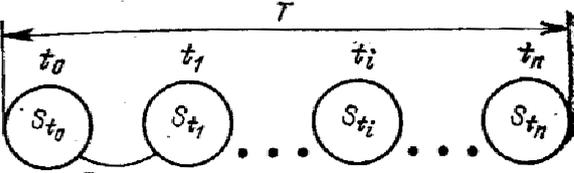
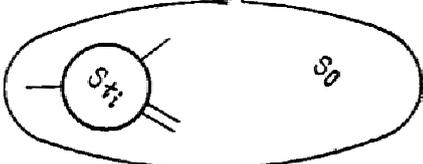
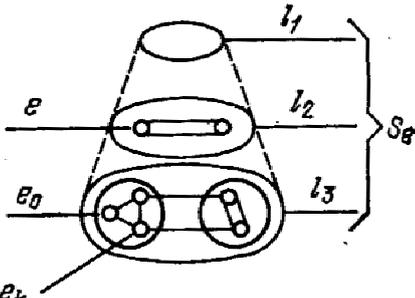
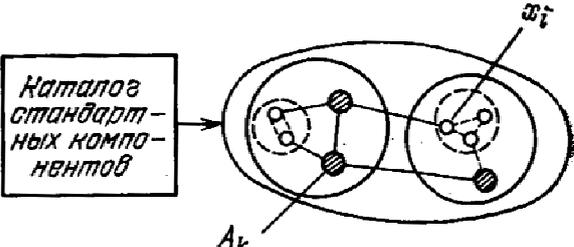
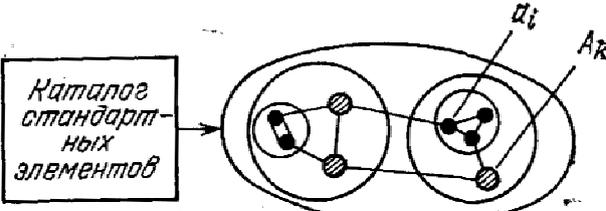
Важно подчеркнуть, что для создания системы недостаточно какого-либо одного ее описания. Необходимо сочетание структурной, поточной и функциональной схем. Каждая из них в отдельности фиксирует только один аспект системы. В процессе проектирования они постоянно корректируются и подгоняются друг под друга. В результате получается целостное описание, составляющие которого взаимодополняют друг друга.

Б. В данном случае деятельность может быть расчленена на следующие подэтапы: проектирование окружающей среды, разбиение системы на подсистемы» проектирование подсистем, изучение взаимодействия подсистем и перегруппировка требований к системе. Эта подэтапы имеют место при создании и функциональной» и поточной, и структурной схем. Только на каждом уровне они имеют разную степень детализации. Инженер-системотехник занимается главным образом проектированием окружающей среды системы, разбиением системы на подсистемы и изучением взаимодействия подсистем. Проектирование подсистем производят в основном инженеры-специалисты, а инженер-системотехник только координирует их деятельность. На основе полученных при проектировании подсистем результатов инженер-системотехник осуществляет перегруппировку требований к системе.

Членение системотехнической деятельности по объекту во многом зависит от того, каким инженер-системотехник представляет себе сложный инженерный объект, что определяется не только объективными характеристиками, но и возможностями его изучения, проектирования, изготовления и т.д. Оно используется для организации функционирования подсистем и их объединения в систему.

Для описания этапов системотехнической деятельности, в которых фиксируется порядок разработки блоков системы, -могут быть использованы все типы системных представлений. На разных этапах этой деятельности сложный инженерный объект рассматривается то в виде процессуального, то в виде макрокопического и т.п. системных представлений (см. табл. 1).

Таблица 1

Этапы системотехнической деятельности	Системные представления
Прогнозирование	<p style="text-align: center;">Процессуальное</p> 
2. Внешнее структурирование	<p style="text-align: center;">Макроскопическое</p> 
3. Внутреннее структурирование	<p style="text-align: center;">Иерархическое</p> 
4. Функциональное конструирование	<p style="text-align: center;">Функциональное</p> 
5. Морфологическое и технологическое конструирование	<p style="text-align: center;">Микроскопическое</p> 

Такое описание позволяет соотнести последовательную конкретизацию моделей сложной системы в функциональной, поточной и структурной схемах с представлением системотехнической деятельности в соответствии с ее структурой. Основные подэтапы системотех-

нической деятельности: проектирование окружающей среды системы (системы в целом) и разбиение системы на подсистемы (проектирование подсистем) — соотносятся с внешней и внутренней позициями проектировщика, т.е. с микроскопическим и иерархическим системными представлениями.

Процессуальное представление является описанием функционирования и развития инженерного объекта. Этап, связанный с этим представлением, может быть назван прогнозированием (1). Здесь учитывается эволюция системы за период ее жизни. Между состояниями должны быть установлены связи перехода ($P_{S_{i_0} S_{i_1}}$), позволяющие рассматривать

последова

$$S_{i_0} \quad S_{i_1}$$

тельность состояний (S_{i_0}, \dots, S_{i_n}) как единый процесс развития. Выделяются инварианты и

существенные для данной инженерной задачи внешние цели системы. Они должны учитывать ее будущие состояния в условиях изменяющейся окружающей среды. Одновременно в общих чертах намечаются основные внутренние процессы функционирования системы, которые

На этом этапе определяются (исследуются) и прогнозируются потребности в создании систем данного типа. И именно исходя из них формулируются, первые требования к системе. Необходимо учитывать, что они могут измениться, т.к. система будет разрабатываться. Поэтому, научное обоснование данного прогноза должно быть достаточно фундаментальным. Анализ потребностей становится сегодня одним из важнейших компонентов инженерной деятельности, поскольку создание ненужных или устаревших систем приводит к нерациональному расходованию людских, экономических и материальных ресурсов. А в условиях разработки гигантских системотехнических проектов, требующих огромных финансовых затрат, может привести к катастрофическим результатам. Однако необходимо не только исследование и прогнозирование, но и проектирование потребностей, являющихся производными от современных достижений науки и техники, но еще не осознанных как потребности.

Выделенные внешние связи системы детально рассматриваются на этапе внешнего структурирования (2), которое осуществляется в рамках макроскопического системного представления. Инженерная система описывается как статическая совокупность внешних связей с существующими и проектируемыми объектами системного окружения. Это позволяет зафиксировать требования к системе со стороны ее окружения. Поскольку система должна функционировать в определенной социальной и природной среде, то ее внешние связи определяют в значительной степени и цели ее функционирования. Например, при эксплуатации в морских условиях любая система независимо от ее назначения должна удовлетворять вполне определенным требованиям, которые диктуются внешней средой и являются отличными от требований, предъявляемым к системам, установленным, скажем, на самолете. В последнем случае, решающими являются габариты и масса, которыми в стационарных условиях можно практически пренебречь. Кроме того, данная система может быть частью другой более крупной системы и тогда ее место в этой последней и связи с другими подсистемами определяют характер выдвигаемых к ней требований. Например, при проектировании специализированной ЭВМ важно четко определить, в какой комплекс она входит и какие задачи должна в нем решать. От этого зависят требования к ее быстрдействию, емкости памяти, габаритам и т.д.

С помощью такого представления осуществляется организация и стыковка проектировщиков данной системы с разработчиками других смежных систем.

Внутреннее структурирование (3) основывается на иерархическом представлении. Выявленные на предыдущем этапе внешние связи позволяют описать систему функционально как единицу самого высокого уровня иерархии. Затем она расчленяется в иерархию единиц — ряд блоков. Это необходимо при возрастающей сложности инженерных задач: сложная

система может быть спроектирована сразу во всех частях и деталях. Однако на данном этапе прорабатываются только принципы построения системы. (Например, при разработке АСУ определяется количество уровней обработки данных, состав основных функциональных и обеспечивающих подсистем, требования к взаимному функционированию подсистем различных уровней и основные связи между ними.) Такое представление необходимо для осуществления координации разработчиков подсистем.

На этом этапе осуществляется разделение и распределение функций между отдельными разработчиками системы. Для человеко-машинных систем проектирование деятельности персонала, плоскости соприкосновения человека с машиной и создание оборудования являются самыми крупными подразделениями. Человеку-оператору придается большое значение, поскольку не только машины не могут работать длительное время без вмешательства людей, но и люди сейчас редко работают без машин. При этом важно помнить, что в человеко-машинной системе машины и люди должны взаимодополнять друг друга. Однако они являются взаимодополнимыми, а не сравнимыми. Там, где есть человеческие компоненты, проектирование их поведения должно основываться на другого рода знаниях, чем проектирование машинных компонентов, — здесь должны не только учитываться, но быть главными, решающими социальные и психологические факторы.

Таким образом, специфика отдельных частей человеко-машинной системы такова, что интеграция их оказывается нелегкой научной и инженерной задачей, требующей от инженера-системотехника разносторонних знаний и богатого опыта. Кроме того, интеграция системы в процессе ее создания возможна, только если достаточно четко проведено ее разбиение на отдельные части.

Единицы могут быть наполнены сразу из каталога стандартных компонентов (в этом случае используются типовые проекты отдельных подсистем, но для них необходимо разрабатывать специальные проекты привязки к конкретным условиям дайной системы). Однако, как правило, для их наполнения требуется специальная разработка на этапе функционального конструирования (4). Последний связан с функциональным системным представлением, в соответствии с которым каждая единица описывается в виде определенной функциональной структуры (организации). Система рассматривается в виде совокупности блоков-единиц, имеющих типовую организацию, которая на следующем этапе должна быть конкретизирована. Поскольку функциональная структура является общей для класса аналогичных систем, сама система даже при иной реализации ее единиц (скажем, при появлении новых более экономичных и удобных конструктивных элементов старые элементы могут быть заменены ими уже в процессе функционирования системы) остается неизменной. Другими словами, система в процессе ее модификации совершенствуется, но остается в принципе той же самой. На данном этапе осуществляется также координация специалистов, разрабатывающих отдельные блоки системы.

Инженер-системотехник должен уметь мыслить на языке функций, а не способов, какими эти функции осуществляются компонентами системы. Это облегчает поиск последующих решений по реализации данных функций. Например, проектируя вычислительную машину, необходимо сначала представить ее структуру как совокупность логических элементов (И, ИЛИ, НЕ и т.п.), отвлекаясь от той электронной «начинки», которой они могут быть реализованы. Только таким способом можно спроектировать варианты и выбрать оптимальную структуру сложной вычислительной системы.

Функциональные места организации предельных единиц наполняются из каталога стандартных элементов на этапе морфологического и технологического конструирования (5), который основывается на микроскопическом представлении системы. Если соответствующих стандартных элементов в каталоге не оказывается, то они конструируются специально

для каждой конкретной системы. Осуществляется «погружение» данной функциональной структуры (организации) «на материал», ее реализация.

Выбираемые из каталогов компоненты и элементы должны обладать свойствами первого порядка (ради которых они включаются в систему), как можно более близкими к идеальным свойствам единиц и функциональных мест, которые они заполняют. Свойства второго порядка (нежелательные) не должны слишком сильно исказить «идеальное» функционирование системы. Связи между элементами и компонентами отражают операции изготовления инженерного объекта, поэтому такого рода конструирование и называется нами технологическим. Данное представление системы необходимо для координации специалистов в ходе ее изготовления и внедрения.

В ходе системотехнической деятельности все компоненты и характеристики сложной системы могут быть несколько раз изменены и уточнены.

Для сложных человеко-машинных систем эта задача относительно человеческих компонентов может осуществляться путем отбора по специальным тестам лиц, которые наиболее подходят, например, для управления ею: обладают быстрой реакцией и другими соответствующими данными. Именно так отбираются операторы для управления сложными технологическими и химическими процессами, космонавты, машинисты тепловозов и т.д.

При разработке сложных систем (таких, как системы «человек—машина») требуется решение большого комплекса психологических вопросов. Выделение этой проблематики в самостоятельную область и координация ее отдельных частей представляет особую задачу, выходящую за рамки книги (подробнее см. [61]).

3.3. Фазы системотехнического цикла

Второй способ описания системотехнической деятельности ориентирован на выделение в ней последовательности фаз и рассмотрение этих фаз как последовательности операций (действий). Описание системотехнической деятельности как последовательности фаз и операций соответствует разбиению деятельности с точки зрения временной организации работ, параллельной или последовательной связи между ними, возможности выделения фрагментов деятельности и т.д. Это представление системотехнической деятельности используется в инженерной практике главным образом для синхронной организации и установления последовательности системотехнических операций, а также служит средством решения задачи автоматизации проектирования сложных инженерных систем.

А. Системотехническая деятельность разделяется на шесть фаз: подготовка технического задания (ТЗ), разработка эскизного проекта, разработка технического проекта, подготовка рабочего проекта, изготовление и внедрение, эксплуатация, и оценка.

Для разных типов систем (и изделий) количество и название фаз, обозначенное в государственных и отраслевых стандартах, не полностью совпадает (*ЕСКД, регламентирующая состав и содержание работ на разных стадиях разработки, является адекватной для технических изделий. Последовательность создания сложных систем типа АСУ определяется разными для разных уровней АСУ стандартами (см., например, руководящие методические материалы по АСУ. — В кн.: Автоматизированные системы управления: Применение вычислительной техники и автоматизированных систем управления на предприятиях и в отраслях промышленности. — М.: Экономика, 1972). Тем не менее в них есть много общего. Обобщенное описание процесса разработки сложных систем см., например, в работах [9, 12, 27, 72, 89]. При описании фаз системотехнического цикла нами также использован зарубежный опыт, обобщенный в работах [21, 86, 91, 111]). В процессе создания АСУ принято выделять

четыре фазы. Разработка эскизного проекта часто опускается. Деятельность изготовления имеет смысл лишь для традиционных инженерных объектов (типа радиоэлектронного оборудования). Для АСУ, например, вернее говорить о внедрении, поэтому мы и звали соответствующую фазу более обобщенно — «изготовление и внедрение». Во-первых, отдельные компоненты таких систем, АСУ, также требуют изготовления. Во-вторых, отладка и настройка технических систем может быть рассмотрена как своего внедрение. Эксплуатация и оценка, как правило, не выделяются в отдельную фазу. Однако для современных сложных систем проектирование не заканчивается на стадии внедрения. В процессе функционирования осуществляется модернизация и развитие системы. Поэтому такая фаза, по нашему мнению, должна быть включена в системотехнический цикл. Кроме того, иногда допускается разработка технорабочего проекта сразу на одной фазе. Однако для целей методологического анализа должен быть рассмотрен полный набор фаз системотехнической деятельности, даже если в отдельных случаях некоторые из них могут быть опущены.

Начальной фазой системотехнической деятельности является подготовка технического задания (фаза I) (** Часто эту фазу называют предпроектной стадией или подготовкой аванпроекта.). Цель ТЗ – дать заказчику и исполнителю общее представление о будущей системе и процессе ее создания. На этой фазе включается в работу один из системотехников — представитель организации-исполнителя. Он соотносит требования заказчика и потребителя, учитывая их осуществимость, прикидывает состав бригады проектировщиков, стоимость проекта, содержание подсистем, вид изделия, его общие характеристики и т.д.

На основе анализа последних научных достижений и прогнозирования их развития в ТЗ осуществляется планирование исследований, необходимых для успешного проектирования (например, разработка программ, план-графика и задания на обследование, создание рабочих групп и организация их работы). Здесь подключаются к работе специалисты-ученые, деятельность которых координирует системотехник. При создании, например, АСУ на данном этапе проводится так называемое обследование существующей системы управления как объекта автоматизации. Основной объем работ по обследованию приходится именно на предпроектный этап. На других этапах материалы обследования должны уточняться. Научные исследования проводятся параллельно с оформлением ТЗ.

В техническом задании производится постановка проблемы, определяется общая цель создания системы. Основной замысел будущего проекта формулирует системотехник-руководитель темы, который проводит консультации со специалистами-смежниками. Формулировка основного замысла содержит характеристику окружающей среды, в которой система должна функционировать. Выделяются также внешние связи системы. В самых общих чертах намечаются все (или по крайней мере узловые) аспекты, части и параметры ее функционирования (например, функции и задачи, подлежащие автоматизации; состав подсистем; требования, предъявляемые к информационной базе, математическому обеспечению и комплексу технических средств АСУ и т.п.). Однако главные внешние требования к системе должны быть сформулированы четко и определенно. В ТЗ дается, кроме того, обоснование необходимости, новизны и эффективности системы, а также оценка времени, материальных и людских ресурсов, требуемых для ее создания. Составляются перечень работ и исполнителей, этапы разработки, сроки их выполнения и предварительная оценка эффективности от внедрения системы.

Мы уделяем так много времени описанию данного этапа создания сложной системы именно потому, что от того, насколько серьезно обосновано ТЗ, зависит и качество проектирования и даже эффективность функционирования системы. К сожалению, на практике ТЗ нередко разрабатывается без проведения надлежащих исследований. Это приводит к потерям времени и финансовых ресурсов на последующих фазах системотехнической деятельности.

Например, проектируемая система может морально устареть еще в процессе ее создания, а перепроектирование, как известно, обходится дорого. Только прогнозирование возможного развития системы уже на фазе подготовки ТЗ позволяет этого избежать.

Можно выделить три типа задач, возникающих при подготовке ТЗ.

1. Формулировка требований к новой системе осуществляется на основе оценки функционирования существующей. Задача состоит в том, чтобы ликвидировать «разрыв» в ее функционировании (например, частые отказы определенных блоков). Анализ предшествующих состояний и прогнозирование развития системы в будущем позволяют выявить причины ее неудовлетворительной работы.

2. Основанием для постановки задачи может служить изменение среды. На базе требований потребителя формулируются новые цели системы. Есть два пути решения этой задачи: разработка системы, удовлетворяющей новым требованиям, и модификация окружающей среды. В первом случае среду изменить нельзя; во втором следует ограничить внешние условия, три которых система может эксплуатироваться, либо создать микросреду для ее функционирования (например, специальное охлаждение при эксплуатации в тропических условиях).

3. Может быть поставлена задача разработать новую конструкцию существующей системы при сохранении ее целей (неизменной окружающей среде) и основных принципов функционирования. Создание новых конструкций стимулируется появлением новых элементов (например, транзисторов вместо электронных ламп) и требованиями изготовления (внедрением новых технологических процессов, удешевлением и упрощением сборки, автоматизацией изготовления). Возможна также постановка проектной задачи при сочетании всех трех случаев: создать новую систему путем внедрения всевозможных новейших достижений науки и техники.

Первая фаза системотехнической деятельности может занимать различное время. Она может растянуться даже на несколько лет. Хорошо выполненное ТЗ определяет и успех всего проектирования, учитывая, что затраты на выбор варианта системы на данной фазе значительно меньше, чем на любой из последующих.

В эскизном проекте (фаза II) дается описание прототипа системы, которое содержит представление об основных звеньях системы (в том числе и человеческих) и их взаимосвязи, т.е. об иерархии подсистем. На каждом иерархическом уровне либо используются уже готовые решения, либо выдается задание на проектирование блоков как систем нижележащего уровня. Создаются альтернативные варианты структуры системы. Осуществляется выбор вариантов, наиболее удовлетворяющих ТЗ, дается обоснование выбора и предполагаемых способов реализации.

Разработка эскизного проекта направлена также на организацию самого процесса проектирования. Программа проектировочной деятельности содержит разбивку основной проектной задачи на подзадачи с описанием состава решающих их проектировочных групп, с распределением денежных и временных ресурсов. Например, на основе утвержденного ТЗ определяются и уточняются стоимость работ по созданию системы, источники и порядок финансирования, сроки создания системы, порядок решения возникающих вопросов и оформления законченных работ. Разрабатывается также координационный план создания системы, сетевой график работ, производится расчет затрат на разработку системы в целом и выдаются ТЗ на отдельные подсистемы. На уровне подсистем начинаются «микрпроцессы» их проектирования. В данном случае параллельно работает бригада системотехников и под ее руководством группы специалистов-смежников, ответственных за частные проекты.

Фаза эскизного проектирования записана как обязательная не во всех отраслевых и государственных стандартах. Действительно, для сравнительно простых систем, для которых

организация разработки не представляет особого труда и требуется лишь незначительная модернизация существующей системы, эта фаза может быть опущена. Во всяком случае обозначенные в ней работы могут быть выполнены на стадии подготовки ТЗ или при разработке технического проекта. Однако для создания сложных человеко-машинных систем, для которых необходимы предпроектное обследование (оно часто продолжается в эскизном проекте), развернутая постановка задачи, четкое разделение функций и организация работ проектировщиков отдельных подсистем, разработка эскизного проекта имеет чрезвычайно важное значение.

Разработка технического проекта (фаза III) начинается с анализа прототипа системы. Предполагается, что к этому моменту собраны проекты всех блоков системы. На данной фазе осуществляется увязка этих частных проектов и их интеграция в единый технический проект. Уточняются и детализируются все узлы и блоки, их параметры и связи. Технический проект состоит из двух частей. Первая включает проектные решения вопросов, общих для всей системы, вторая — проектные решения по подсистемам. В первой части определяется назначение и структура системы в целом, во второй — перечень и постановка задач, решаемых каждой подсистемой. На фазе технического проектирования производится экспериментальная проверка основных проектных решений и расчет их экономической эффективности.

На фазе подготовки рабочего проекта (фаза IV) осуществляется окончательная конструктивная доводка технического проекта. Реализуется функциональная структура системы. Связи между элементами системы получают свое материальное воплощение в электрических проводниках, каналах связи, механических передачах, информационных, экономических, социальных и человеко-машинных взаимодействиях. Наполнение каждого функционального блока выбирается из соответствующего каталога и фиксируется в спецификациях к системе с указанием точных параметров, допустимых отклонений и возможных замен.

Фаза рабочего проекта включает также разработку технологии производства, обеспечение техпроцессов промышленным оборудованием, включая проектирование недостающего оборудования и пооперационную организацию производства. Для каждого элемента инженерной системы определяется способ его изготовления и установки. Указываются процедуры сборки системы. Рабочий проект поступает на производство, где он используется как схема изготовления системы.

Изготовление и внедрение (фаза V) включает производство и освоение системы. Изготовление осуществляется в два шага: изготовление компонентов и интеграция (сборка, монтаж) системы. Для сложных систем важную роль играет их внедрение, которое заключается в установке, автономной отладке подсистем, комплексной их стыковке и испытании системы в целом. В результате испытаний выявляются и устраняются дефекты. Одновременно уточняется руководство к эксплуатации системы. Бригада инженеров-системотехников осуществляет авторский надзор за изготовлением и внедрением системы — контроль и консультации по разрешению всех технических трудностей.

Эксплуатация, оценка функционирования и развитие системы (фаза VI) — заключительная фаза системотехнического цикла. Эксплуатация включает управление и контроль за функционированием системы, ее использование, а также ремонт и техническое обслуживание. Анализ и оценка функционирования системы служат исходным пунктом как для возможной модернизации (развития), так и для снятия системы с эксплуатации. На основе оценки ее функционирования может быть сформулировано новое ТЗ. Именно эта фаза делает системное проектирование эволюционирующим процессом.

Разработка системы на данной фазе не прекращается. Проектировщик снова и снова возвращается на предыдущие фазы, оценивая результаты своей деятельности на основе опыта, накопленного в процессе реального функционирования системы, пока данная система не

будет снята с эксплуатации. Это произойдет только тогда, когда устареет сам принцип построения системы, ее функциональная структура.

Системотехническая группа представляет собой «мозговой центр», штаб руководителя, развивающий и обосновывающий новые направления в разработке систем данного типа. Основными «орудиями» инженера-системотехника является бумага, карандаш и современные научные методы, а в последнее время дисплей и электронно-вычислительные устройства. Он живет и действует в мире идей, проблем, решений, значков, схем и цифр. Но от его деятельности зависит успех всей разработки. Он видит и помогает руководителю видеть ход разработки и ее результат в целом на всех этапах и фазах, но он, как правило, остается в тени. Результат его работы очень важен, но не всегда осязаем. Он как бы растворен в системе, воплощен в ее структуре и организации ее разработки, а не в отдельных частях. Вот почему разработчики компонентов чаще получают награды, а системотехник — порицания. Все недостатки системы инженер-системотехник должен устранить и учесть в последующих разработках. Он отвечает за систему в целом и должен уметь предвидеть и предупредить все вновь возникающие трудности.

Для соотнесения фаз и этапов системотехнической деятельности мы будем использовать введенные нами системные представления. На каждой фазе сложный инженерный объект описывается всей совокупностью системных представлений. Однако основным выступает какое-либо одно, например, на фазе эскизного проекта, где осуществляется внутреннее структурирование, таким представлением является иерархическое. На последующих фазах производится уточнение первоначального решения. Этот процесс продолжается до тех пор, пока система не будет изготовлена и включена в эксплуатацию (рис. 10).

Как видно из рис. 10 и табл. 1, фаза **I** связана в основном с процессуальным и микроскопическим представлениями (им соответствуют этапы прогнозирования (1) и внешнего структурирования (2)), фаза **II** — с иерархическим представлением (с этапом внутреннего структурирования (3)), фаза **III** — с функциональным (этап функционального конструирования (4)), фаза **IV** — с микроскопическим (этап морфологического и технологического конструирования (5)). На фазе **V** инженерный объект описывается полным набором системных представлений. На фазе **VI** на основе сопоставления первоначального описания системы в ТЗ с ее реальным функционированием в процессе эксплуатации дается оценка системотехнической деятельности в целом, цикл замыкается и может быть начат снова на другом уровне.

Системотехнический цикл является итерационным процессом: возможны многократные возвращения на предыдущие фазы (обратные связи на рис. 10). Между фазами существуют, конечно, и определенные прямые связи, которые позволяют рассматривать системотехническую деятельность как единый процесс. Поскольку подготовке ТЗ соответствует главным образом макроскопическое системное представление, подготовке эскизного проекта — иерархическое, подготовке технического проекта — функциональное, то между этими фазами имеет место отношение «вложения». Иерархия подсистем на фазе эскизного проекта как бы «вкладывается» в систему, описанную в ТЗ с точки зрения системного окружения. Затем каждая подсистема на фазе технического проекта «наполняется» определенной функциональной структурой. Между фазами **III**, **IV** и **V** устанавливается отношение реализации. Функциональная структура реализуется морфологической, а эта последняя — реальной инженерной системой. Наконец, переход от фазы к фазе характеризуется в основном сменой статического представления системы динамическим (с точки зрения функционирования и развития системы). Переход от динамического к статическому (т.е. от процессуального к макроскопическому) представлению системы осуществляется на фазе **I**. Внутреннее время процесса смены фаз системотехнической деятельности может не совпадать с реальным внешним временем: фазы могут перекрывать друг друга.

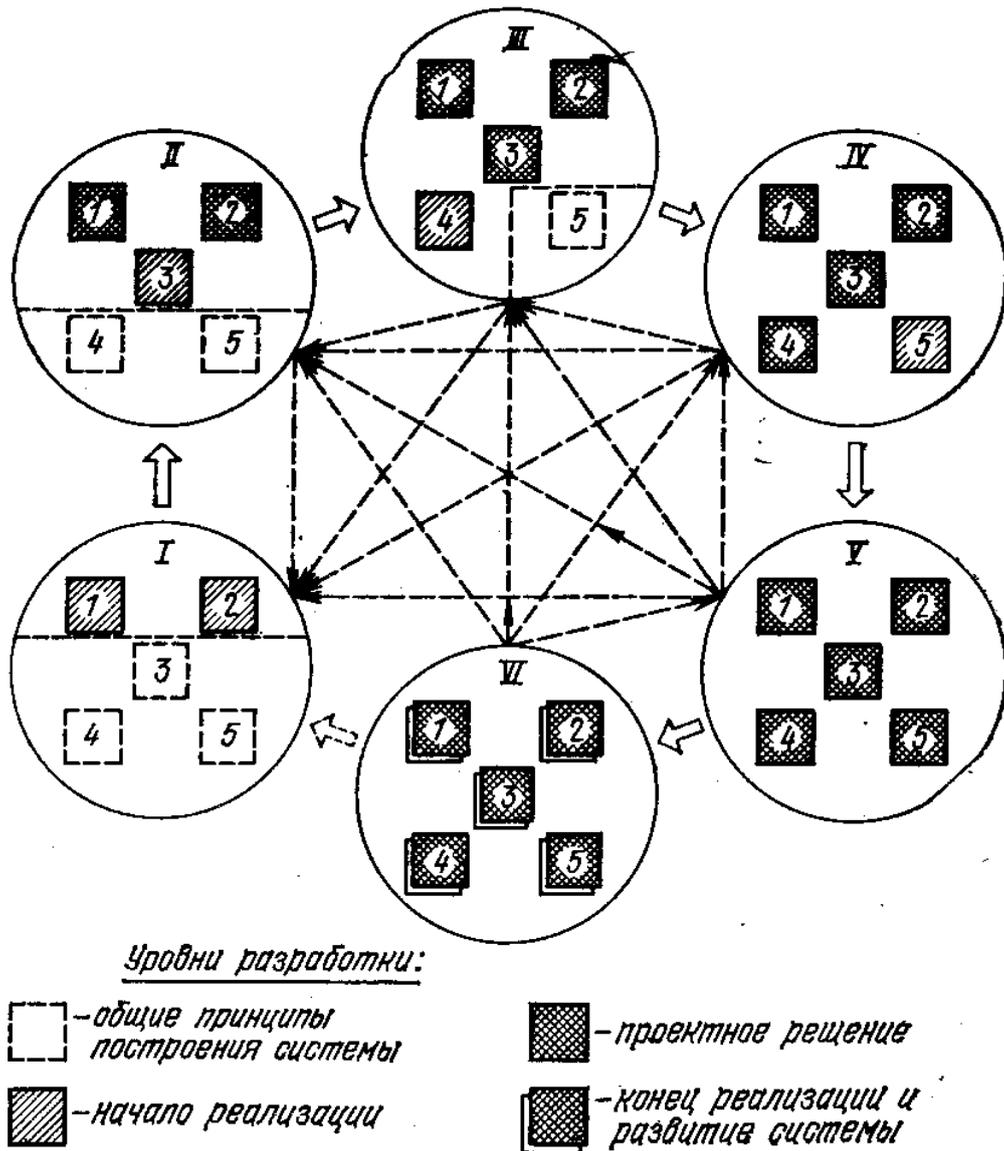


Рис. 10

Характер работы инженера-системотехника существенно меняется при переходе от одной фазы к другой. Если на первых двух фазах преобладают задачи разработки основной идеи системы и стратегии ее воплощения, тематического руководства и создания научно обоснованной программы разработки, то остальные фазы связаны с практическими задачами организации процесса проектирования, координации разработчиков, стыковки блоков системы и авторского надзора за ее изготовлением, внедрением и эксплуатацией. Только на последней фазе при оценке функционирования системы инженер-системотехник снова возвращается к теоретической проблематике. Однако на всех фазах и этапах его отличает от инженеров-специалистов забота о поддержании целостности проектируемой системы.

Б. На каждой фазе системотехнической деятельности выполняется одна и та же последовательность обобщенных операций [111] (рис. 11).

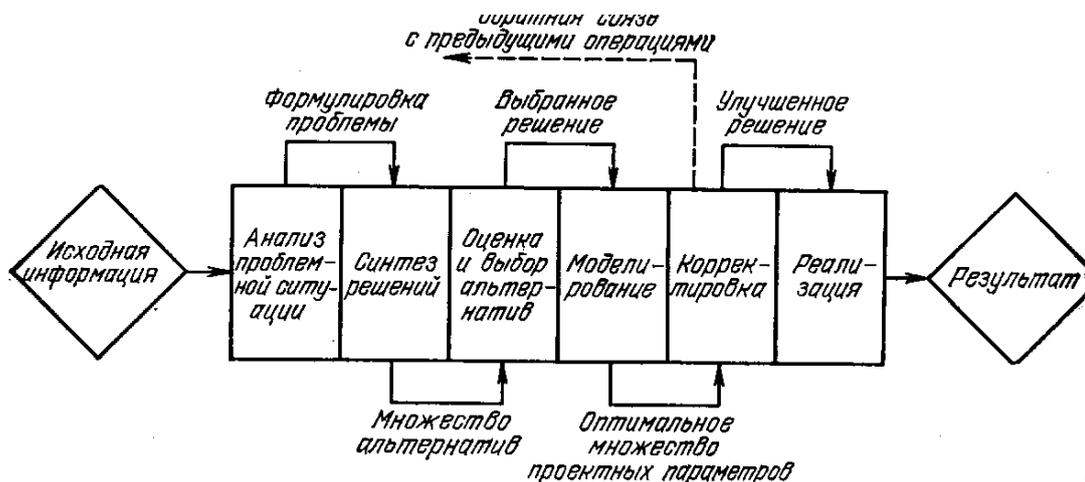


Рис. 11

Анализ проблемной ситуации заключается прежде всего в ясной постановке целей системы. Первоначально проблема редко бывает выражена четко. Обычно не ясно, есть одна проблема или несколько, и если несколько, то какие они. Первостепенное значение имеет вопрос о том, существует ли вообще данная проблема, поскольку на практике нередко встречается приложение больших усилий к решению несуществующих проблем. Инженер-системотехник исследует не проблему, а скорее проблемную ситуацию с множеством затруднений, которые требуется разрешить. После того, как проблемная ситуация осознана, выявляются действительные трудности и можно приступать к формулировке проблемы. Четко сформулировать проблему — значит наполовину решить ее. При этом выясняется, какие цели должны быть достигнуты, какие источники информации являются доступными, какие существуют ограничения в решении и, наконец, какие критерии должны быть использованы, чтобы судить о качестве возможного решения. Кроме того, невозможно сформулировать проблему, не изучив прошлые и возможные будущие состояния.

Далее осуществляется синтез решений, которые принимаются, чтобы преодолеть трудности, возникшие в проблемной ситуации, и, не выходя за пределы сформулированных ограничений, достичь поставленных целей. Поиск возможных решений можно начать, только сформулировав проблему.

Проблема должна быть разложена на ряд четко сформулированных задач (подсистем). Каждой выделенной подсистеме ставится в соответствие определенная подцель, которая получается в результате построения «дерева целей» системы. Для сложных систем общая цель настолько удалена от конкретных средств ее достижения, что выбор решения требует специальной трудоемкой работы по увязке цели со средствами ее реализации. Эта задача и решается путем декомпозиции общей цели системы. Поскольку есть более чем одно решение данной проблемы, следует говорить о множестве альтернатив.

Оценка и выбор альтернатив производится на базе определения обоснованности каждого предлагаемого решения относительно поставленных целей. Необходимо отсеять те цели, которые признаны малозначимыми или не имеющими средств для их достижения. Отбор конкретных вариантов решения для достижения комплекса взаимосвязанных важнейших целей приобретает особое значение: научно-технический прогресс и изменение условий среды порождают огромное количество различных средств для их достижения. Выбирается одно или несколько решений, наиболее удовлетворяющих множеству значимых для разработки системы факторов. Выбранное решение (или решения), однако, не готово еще для использования. Должно быть произведено моделирование решения, на основе которого выбирается

оптимальное множество проектных параметров. Далее осуществляется корректировка решения с целью его усовершенствования. Обнаруженные недостатки, которые, однако не дискредитируют решение в целом, по возможности устраняются. Улучшенное решение реализуется. На выходе получается результат решения данной последовательности задач.

Операционное представление деятельности тесно связано с понятием автоматизации. Под автоматизацией, как правило, понимают замену того или иного аспекта деятельности машинными элементами. Необходимым условием такой замены считается пооперационное и алгоритмическое описание деятельности. Предполагается, что деятельность может быть разложена на последовательность операций и по крайней мере некоторая часть их может быть механизирована. Однако известно, что не все виды деятельности поддаются такому описанию. Поэтому возникает задача типологизации деятельности с точки зрения возможности и эффективности ее операционного и алгоритмического описания.

Операционное описание предполагает возможность «полной» автоматизации деятельности. В таком понимании операционное описание как бы смыкается с алгоритмическим, выступает как подготовка к автоматизации («преавтоматизация»). Однако вряд ли такая полная автоматизация, скажем, принятия решений когда-либо возможна. В лучшем случае можно говорить о машинной подготовке информации для решения, переборе альтернатив, оценке решений в соответствии с заложенными в ЭВМ критериями и т.п. Речь идет не о замене человека машиной, а о реорганизации деятельности с включением в нее машинных средств.

Алгоритмическое описание эффективно в отношении большинства нетворческих, рутинных работ, таких, как бухгалтерский учет, простые инженерные расчеты и т.д. Автоматизация работ этого типа уже дала первые положительные результаты. Но в отношении творческих видов деятельности (например, формулирования решения, анализа сложных ситуаций управления, корректировки решений) автоматизация пока неэффективна. Можно также указать промежуточные виды деятельности, для которых каждый раз необходимо оценивать и взвешивать «за» и «против» автоматизации. В этом случае приходится специально решать, что выгоднее — механизировать деятельность или оптимизировать ее другим путем. В описании таких видов деятельности всегда присутствует некоторый «иррациональный» остаток, «не влезающий» в алгоритмическую схему. Однако с определенной поправкой можно все-таки считать операционное описание удовлетворительным для деятельности «смешанного» типа, такой, например, как планово-производственная. Для деятельности типа принятия решений операционное описание является неудовлетворительным, поскольку оно будет иметь слишком большой «иррациональный» остаток.

В силу сказанного под автоматизацией систем «человек — машина» следует понимать не замену отдельных «кусков» деятельности системы машинными элементами, а ее реорганизацию с оснащением различного рода машинными средствами (не только ЭВМ, но и счетно-перфорационной техникой, оргтехникой, специальными информационными пультами и т.д.). Автоматизация — это не самодовлеющая задача замены человека машиной, а средство рационализации человеческой деятельности. В частности, такое представление характерно для современного этапа развития АСУ. Принципиально новой установкой этого этапа является осознание необходимости всех мероприятий, направленных на совершенствование и преобразование производства. Основа такого преобразования — собственно система управления или, точнее, система управленческой деятельности, подлежащая автоматизации.

В связи с этим необходимо хотя бы кратко остановиться на содержании понятия «управление», которое обычно трактуется в двух различных смыслах: как аналог автоматического регулирования и как административное руководство (в английском языке им соответствуют понятия control и management, которые часто переводятся на русский язык одним

и тем же словом «управление»). В системотехнике оба они слились в одном понятии, но при этом исходные представления были трансформированы.

Во-первых, само управление рассматривается не просто как автоматическое действие, а как управленческая деятельность, которая лишь частично может быть автоматизирована. Во-вторых, эта деятельность понимается как осознанная, а цель ее не как конечное состояние данного преобразования, а как его представление, образ, который формулируется до того, как цель реализована. В-третьих, понятие обратной связи, возникшее в контексте представления управления как автоматического регулирования, в системотехнике в настоящее время формулируется более широко — как механизм учета разницы между целью действия и ее результатом.

Реорганизация управленческой деятельности должна сопутствовать ее автоматизации. В противном случае оснащение управленческой деятельности вычислительной техникой только закрепит существующие рутинные процедуры. Перестройка деятельности, лежащей автоматизации, сказывается на других видах деятельности. Например, реорганизация управленческой деятельности выдает новые требования к обучению и подготовке кадров, к характеру методических материалов, к техническим средствам (необходимость конструирования специальных технических средств автоматизации управления, использование ЭВМ не только для обработки информации, но и для подготовки решений). Сложную проблему автоматизации необходимо рассматривать не изолированно, как узкую специальную задачу, а наряду с другими задачами, такими, как совершенствование организационной структуры, реорганизация управления, оптимизация деятельности объекта управления. В настоящее время все больший акцент в системотехнике как раз и делается на мероприятия по реорганизации человеческой деятельности (исследовательской, проектной, управленческой и т.д.), предшествующие автоматизации.

3.4. Кооперация работ и специалистов. Способы организации системотехнических групп

Системотехническая деятельность представляет собой комплексный вид деятельности, включающий большое число исполнителей и функций. Целью ее является создание большой инженерной системы и в связи с этим организация *всех* работ и специалистов, включенных в ее разработку. Однако, прежде чем перейти к описанию системотехнической деятельности в этом аспекте, рассмотрим три гипотетически возможных способа организации инженерной деятельности, характерные для «до-системотехнической эры». Будем их называть условно «гигантские шаги», «проектирование по частям» и «временные фазы» (см. статью J.M. Solzer в кн. [124]).

Подход «гигантские шаги» (рис. 12, а) заключается в том, что система проектируется сразу во всех составляющих ее деталях. В создании системы участвуют все специалисты одновременно. В данном случае каждый раз создается уникальная конструкция системы. Это исключает независимое массовое производство и унификацию отдельных деталей. Такой подход был возможен только на ранних этапах развития инженерной деятельности, когда не было еще достаточно глубокого разделения инженерного труда.

При «проектировании по частям» (рис. 12,б) детали разрабатываются отдельно и поступают для сборки одновременно. Группы специалистов работают независимо друг от друга и координация их деятельности производится фактически только на завершающем этапе. Данный способ проектирования возможен только для очень простых систем, в которых сборка и подгонка деталей не вызывает трудностей. Для сложных же систем стыковка

отдельных компонентов должна быть предусмотрена уже на ранних стадиях проектирования.

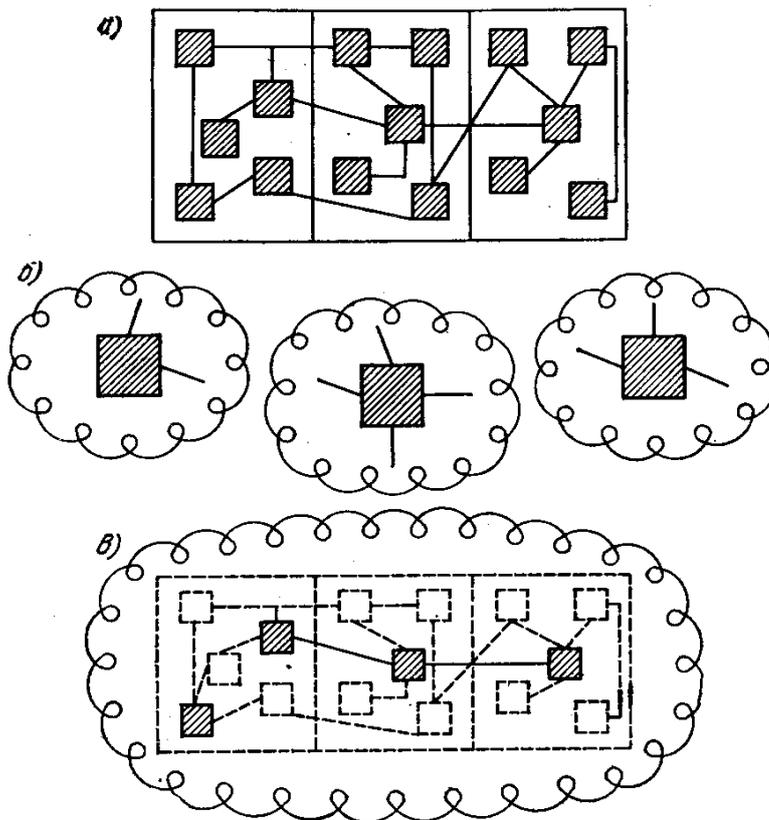


Рис. 12

Подход «временные фазы» (рис. 12,в) является средним между первыми двумя: система проектируется так же, как и при подходе «гигантские шаги», но конструирование и монтаж осуществляются по «шагам». Разные специалисты постепенно вступают в работу. По мере готовности отдельных блоков они соединяются в более крупные подсистемы и, наконец, в систему в целом. Это позволяет организовать проектирование во времени, удешевить и сократить проектировочный цикл.

Для системотехники характерно «эволюционное системное проектирование», которое во многом аналогично подходу «временные фазы»: различные специалисты вступают в разработку постепенно. Их координация осуществляется особой системотехнической группой в ходе всего системотехнического цикла. Именно наличие такой группы отличает системотехническую деятельность от обычной инженерной. В рамках системотехники взаимодействие специалистов не прекращается с окончанием разработки, а продолжается и после передачи системы в эксплуатацию. Больше того, она перепроектируется в течение всего периода жизни систем данного типа — учитывается изменение требований к системе в связи с техническим прогрессом. Изменение деталей допускается даже в уже готовой системе, что обеспечивает ее постоянное совершенствование. Системотехническая группа продолжает свою деятельность и на этой фазе.

Будем различать «горизонтальную» и «вертикальную» структуру системотехнической деятельности. Она отражает существующую в системотехнике связь работ и специалистов: горизонтальная структура соответствует типам компонентов и аспектов системы (создание машинных блоков, разработка организационных аспектов системы и т.д.), а вертикальная — общей последовательности работ системотехнической деятельности (исследование, изобре-

тение, проектирование и т.д.).

Горизонтальная структура системотехнической деятельности связана с разделением специалистов по типам компонентов и различным аспектам системы: создание машинных компонентов, проектирование плоскости соприкосновения человека и машины, разработка экономических, организационных и социальных аспектов системы и т.д. Современные инженерные комплексы требуют индивидуального подхода к проектированию отдельных компонентов системы. В то же время машинные компоненты сами настолько сложны, что их создание также возможно только при кооперации многих специалистов.

Цели и задачи разработчиков компонентов определяются стремлением к максимально возможной механизации как системы в целом, так и ее компонентов. Идеальное функционирование системы представляется как автоматическое, хотя практически для человеко-машинных систем такая цель недостижима.

Деятельность по организации человеческих компонентов инженерных систем осуществляется системотехниками-специалистами по человеческим факторам. К этой деятельности относится, например, оптимизация отношений между людьми в системе, создание эффективных малых групп и подбор кадров, обучение и тренинг персонала системы, отработка стандартных значений и языков схем, оптимизация связей системы с ее социальной средой. Специалисты руководствуются «антропоморфическим» идеалом такой деятельности. Даже машинные блоки описываются ими в терминах поведения, памяти, восприятия, мотивации, языка, знака, значения, «социальной» мобильности и т.д.

Особый тип деятельности составляет стыковка человеческих и машинных компонентов. Здесь остро встает проблема интеграции частичных знаний и деятельностей. Цели и задачи этой деятельности часто формулируются с позиции идеалов технического знания, и тогда человеческие компоненты «прилаживаются» к машинным. Иногда решающим оказывается «антропоморфический» идеал, и основное внимание уделяется перестройке «машины пульт» в соответствии с характеристиками машинных компонентов.

Существуют также такие специалисты, которые не разрабатывают ни один из перечисленных компонентов (или частей) человеко-машинных систем. Объектом их разработки является система в целом или, точнее, разные аспекты, срезы системы: организационные, экономические, статистические и т.д.

Организация же всех деятельностей по созданию инженерной системы осуществляется универсалистом, который должен обладать знаниями о всех блоках системы и знаниями о различных типах систем, отвлекаясь от их материальной формы. В деятельности универсалиста формируется системный идеал, а объектом его оперирования является система в целом во взаимодействии ее отдельных блоков и аспектов. Универсалист должен решать очень сложную задачу согласования различных оптимумов и целей отдельных специалистов и придания им разного «веса» в зависимости от типа проектной задачи и общей стратегии ее решения. Именно для решения этой задачи универсалисту требуется использование средств системного подхода.

Вертикальная структура системотехнической деятельности представляет собой кооперацию специалистов по научному исследованию, изобретательству, проектированию, конструированию, внедрению и эксплуатации. В рамках системотехники осуществляется координация всех этих деятельностей. Основная задача координатора — стыковка различных специалистов от исследователя до инженера по эксплуатации, устранение дублирования и определение временной последовательности работ. Считается обычным начинать конкурирующие разработки и исследования и выбирать «лучшие» из них. В то же время исследование, проектирование, изготовление и т. д. могут выполняться почти одновременно или с небольшим сдвигом во времени. Это обеспечивает надежность и сокращение сроков работ.

На рис. 13 изображены связи между вышеперечисленными деятельностями (иначе говоря, между выполняющими их специалистами). Процедурные связи (непрерывные линии) характеризуют движение продукта деятельности и последовательность создания инженерного объекта: исследование, изобретательство, проектирование, конструирование, изготовление, эксплуатация. Рефлексивные связи (штриховые линии) характеризуют осознание задач и получение эмпирических знаний, которые либо последовательно «вытаскиваются» на каждый вышележащий уровень, либо непосредственно переносятся на уровень координационно- и методического руководства. Координационная деятельность осуществляет управляющие воздействия по отношению ко всем типам системотехнической деятельности. На рис. 13 показаны обратные связи системотехнической деятельности с методологическими знаниями, поскольку их «производство» выходит за пределы системотехники. Однако очевидно, что методологические системотехнические знания в значительной мере зависят от изучения реальных объектов и процессов системотехнической деятельности.

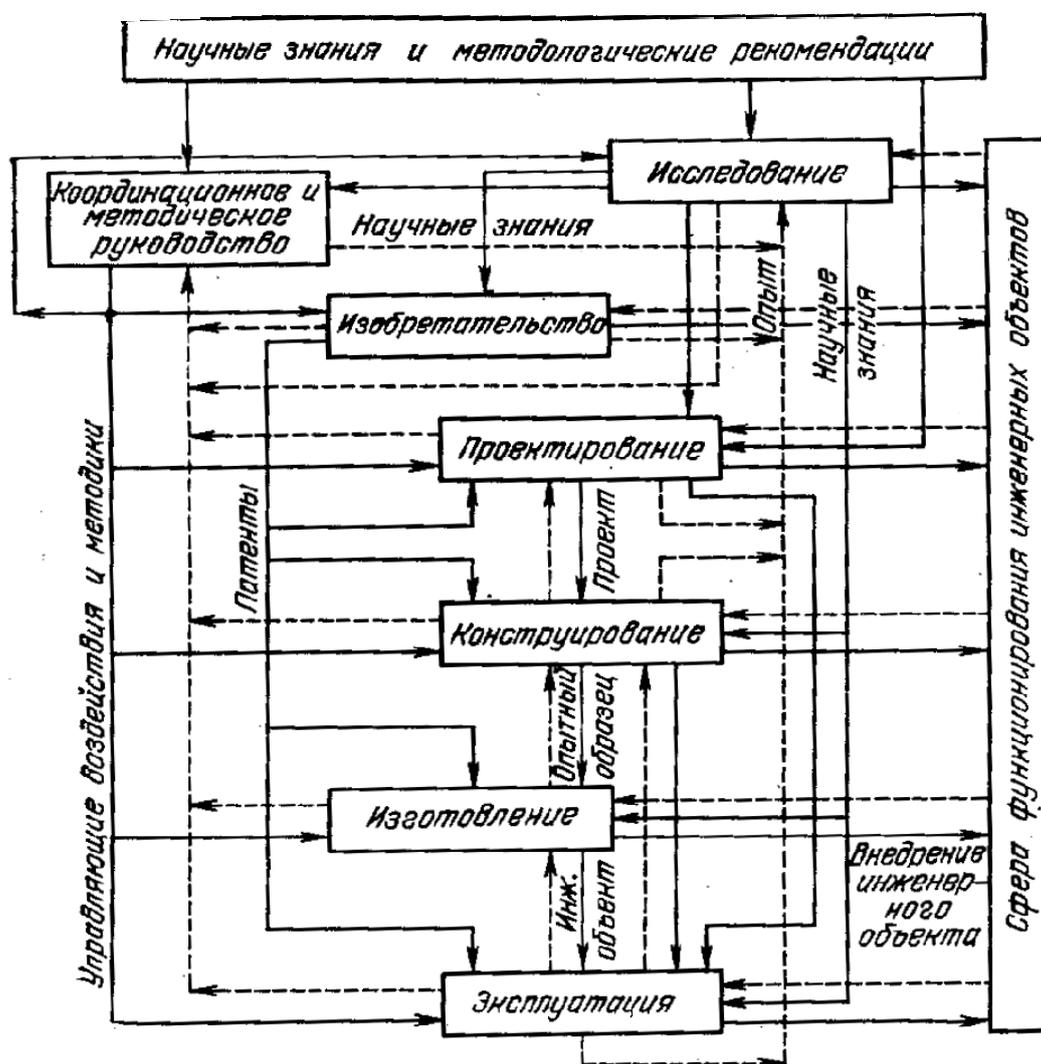


Рис. 13

На рис. 13 показаны различные типы системотехнической деятельности, входящие в ее вертикальную структуру: исследование, проектирование, конструирование, изобретательство и эксплуатация. Исследовательская деятельность включает в себя фундаментальное, научно-техническое и инженерное исследование. Однако здесь главным образом имеется в виду особое инженерное исследование в сфере системотехнической практики, направленное на

конкретизацию имеющихся научных знаний применительно к данной системотехнической задаче. В изобретательской деятельности на основании этих научных знаний и технических достижений изобретаются (заново создаются) новые принципы действия и способы их реализации или конструкции инженерных систем или отдельных их компонентов и элементов (подробнее см. [29]). Сложности изготовления, эксплуатации и технического обслуживания, с одной стороны, и «разрывы» в практике проектирования (необходимость проектировать систему, все или некоторые компоненты которой должны быть созданы заново или принципиально отличны от существующих) — с другой, стимулируют производство особого продукта, объектированного в виде патентов, авторских свидетельств, изобретений и т.д. Они имеют, как правило, широкую сферу применения, выходящую за пределы единичного акта инженерной деятельности, используются в качестве исходного материала (наряду с научными знаниями) при проектировании, конструировании и изготовлении инженерных систем.

Для проектировочной деятельности исходным является социальный заказ, т. е. потребность в создании определенных объектов, вызванная либо «разрывами» в практике их изготовления и эксплуатации, либо конкуренцией, либо потребностями развивающейся социальной практики (например, необходимость упорядочения движения транспорта в связи с ростом города) и т.д. Продукт проектировочной деятельности материализуется в особой знаковой форме — в виде текстов, чертежей, графиков, расчетов, модели в памяти ЭВМ и т.д. Результат конструкторской деятельности должен быть обязательно материализован в виде опытного образца, с помощью которого уточняются расчеты, приводимые в проекте, и конструктивно-технические характеристики проектируемой системы.

Исходным материалом при изготовлении являются материальные ресурсы, из которых создается инженерная система, либо непосредственно включаемая в соответствующую социальную и природную среду, либо как часть других инженерных систем. Деятельность изготовления заключается также в монтаже уже готовых компонентов. Инженеры-изготовители используют для построения инженерных систем технологические знания, методики, проекты, патенты, изобретения и различное технологическое оборудование. Сложные системы типа АСУ включаются в социальную и природную среду, в которой они должны функционировать, с помощью особой деятельности — внедрения.

Изобретательская деятельность функционирует через патентные службы, проектировочная и конструкторская протекает в конструкторских бюро и других проектных организациях. Изготовление реализуется на производстве, а эксплуатация — непосредственно в сфере функционирования инженерных объектов. Эксплуатация включает в себя операторскую деятельность и техническое обслуживание сложных систем. Результатом этой деятельности должно быть нормальное функционирование системы (нормальное — в смысле удовлетворяющее нормам функционирования, представленным в проекте, а также соответствующее определенной социальной практике, которую система обслуживает).

Возникает проблема соотношения вертикальной и горизонтальной структур системотехнической деятельности. В реальной инженерной практике эта проблема решается как вопрос о составе и функциях системотехнических групп. Можно выделить следующие типы их организации. Первый совпадает с горизонтальной структурой — под руководством универсалиста группируются специалисты по разработке различных блоков системы. Второй тип организации соответствует вертикальной структуре — исследователи, изобретатели, проектировщики и т. д. группируются «вокруг» системотехника-координатора в процессе создания инженерной системы. Однако названные типы системотехнических групп редко встречаются в чистом виде. Чаще всего осуществляется «усеченная» кооперация этих типов деятельности. Состав системотехнической группы зависит от характера и основных продуктов фирм, в рамках которых они работают. Некоторые системотехнические группы выделяют

аспект планирования и организации системотехнического цикла, другие считают ключевой функцией анализ и научное исследование и тогда они превращаются в «математические группы, работающие с компьютерами» [122, р. 65], иногда они делают упор на оценку и область функционирования.

Во всех случаях системотехнические группы имеют смешанный характер, соединяя в себе частично вертикальную и частично горизонтальную структуру системотехнической деятельности. Задача же системотехники в целом — контролировать разработку всех аспектов системы. Поэтому возможен еще один способ организации системотехнической группы, сочетающий и полную вертикальную и полную горизонтальную структуру.

Необходимо отметить, что в наиболее «чистом» виде системотехнические группы должны состоять только из координаторов и универсалистов. Такие группы осуществляют стыковку всех остальных специализированных групп как в вертикальном, так и в горизонтальном срезе системотехнической деятельности. Однако на практике такая организация встречается очень редко, хотя она и является, с нашей точки зрения, наиболее целесообразной.

Системные представления и понятия являются основным средством деятельности системотехника-универсалиста и системотехника-координатора. Системотехник-универсалист использует процессуальное системное представление для увязки данного проекта системы с прошлыми проектами и будущими его модификациями. Например, если уже разработаны новые элементы, которые улучшают характеристики системы, но их производство еще не налажено, то проект все же должен учитывать возможность перестройки системы на эти новые блоки. Макроскопическое представление системы позволяет универсалисту осуществлять организацию и стыковку проектировщиков данной системы с разработчиками других систем, с которыми она связана, а также разработчиков различных аспектов этой системы. Иерархическое системное представление дает возможность осуществлять координацию разработчиков подсистем, а функциональное — организацию блоков и специалистов внутри подсистем. Наконец, микроскопическое системное представление служит универсалисту средством для координации разработчиков на уровне изготовления.

Системотехником-координатором также применяются системные представления. Процессуальное позволяет ему на основе анализа последних научных достижений и прогнозирования их развития планировать исследования, необходимые для успешного проектирования, а также координировать деятельность специалистов-ученых. Для координации проектировщиков различных блоков системы используется иерархическое представление, позволяющее разбить общую проектную задачу на подзадачи. Функциональное представление системы позволяет системотехнику-координатору организовать работу конструкторов инженерной системы, а микроскопическое — работу изготовителей (поскольку связи между элементами указывают процедуры сборки системы). Для координации инженеров по эксплуатации требуется процессуальное представление системы, которое позволяет системотехнику-координатору дать оценку функционирования данной системы.

Однако функции системотехнического подразделения не сводятся лишь к традиционной координации и информационному обеспечению руководства, они значительно сложнее. Инженеры-системотехники должны прежде всего осуществлять особую исследовательскую, методическую и методологическую работу.

Исследование (или обследование) существующей системы (или систем) является исходным при разработке всякой новой сложной системы. В области АСУ, например, осуществляются экономические, социологические, инженерно-психологические, информационные исследования управленческой деятельности и объекта управления. Однако в каждом из них АСУ рассматривается только в каком-либо одном аспекте. Поэтому и возникает особая зада-

ча их организации и научной координации. Комплексное исследование в области АСУ включает:

- планирование, координацию и проведение исследований объекта и системы управления в целом;
- организацию дополнительных исследований на уровне подсистем;
- классификацию объектов и систем управления для привязки типовых проектных решений;
- оценку эффективности функционирующей автоматизированной системы и т.д.

Предварительное исследование объекта и системы управления, которая подлежит автоматизации, необходимо для определения перечня автоматизируемых задач и облегчения внедрения АСУ. Без их тщательного изучения созданная автоматизированная система может оказаться несовместимой с существующей системой управления. Кроме того, на базе исследования осуществляется реорганизация управленческой деятельности, подготавливающая ее последующую автоматизацию. В условиях тиражирования, создания серии аналогичных АСУ, разрабатываются типовые проекты, для привязки которых необходимо учитывать особенности данного конкретного объекта и системы управления, они и выявляются в ходе исследования. Сами же типовые проекты ориентированы на класс сходных систем, что существенно удешевляет их разработку. Такой подход в области АСУ во многом аналогичен переходу от индивидуального к серийному производству, хотя уникальность каждой системы остается в данном случае гораздо большей, чем при создании традиционных технических устройств.

Требование разработки специальных методологических средства обеспечивающих методологическое единство проектируемых систем, выдвигается сегодня как одна из важнейших задач. Многие затруднения, возникающие при разработке, например, АСУ, объясняются невниманием прежде всего к методологической проблематике: ранние этапы создания АСУ были связаны с решением задач управления, сравнительно легко поддающихся алгоритмизации (бухгалтерского учета, составления различного рода ведомостей и других отчетных документов). Создание же АСУ на современном этапе, когда ставится задача автоматизации творческих управленческих работ, таких, как планирование, подготовка к принятию решения, распределение ресурсов, когда уже в значительной степени накоплен опыт, обязательно должно опираться на методологические разработки, позволяющие шире взглянуть на управление, автоматизацию и саму проектировочную деятельность. Примером такого рода методологической проблемы является разработка единого понятийного аппарата — от ее решения во многом зависит организация эффективного диалога между различными специалистами в процессе создания системы.

В методической деятельности осуществляется «приложение», реализация специальных методологических рекомендаций. Методики, справочники, каталоги, типовые расчеты, руководящие стандарты и рабочие инструкции непосредственно регламентируют практическую деятельность. Цель методических руководств — упорядочение, универсализация и стандартизация, закрепление и детальная регламентация уже существующих процедур инженерной деятельности. Методические положения — это предписания к построению «копий» с «образцов» данной деятельности. Если же то или иное направление еще никогда и никем не строилось и, следовательно, нет образцов, которые могли бы быть описаны в методических положениях, или существующего опыта недостаточно, то требуются специальные методологические разработки (см. [60, с. 105, 106]). Такая ситуация возникла, например, при создании АСУ промышленных объединений, когда еще недостаточно было накоплено опыта.

Методическая деятельность заключается в:

- разработке и выпуске ТЗ на систему в целом и на отдельные подсистемы;

- формировании состава методик проектирования и других документов, регламентирующих проектировочную деятельность;
- описании типового состава проектов подсистем;
- определении этапов проектирования, внедрения и функционирования системы;
- выпуске документов, регламентирующих ее внедрение;
- конкретизации применительно к данной системе общих стандартов и методик, разработке недостающих инструкций и предписаний.

Разработка стандартов, типовых технических заданий, инструкций и других методических документов, регламентирующих процесс создания системы, позволяет существенно повысить качество работ в этой области и сократить время на ее разработку и внедрение.

Реализация методологических рекомендаций и методических предписаний, внедрение их в практику разработки осуществляется с помощью научно-тематической координации всех работ по созданию системы. Она также выполняется обычно системотехнической группой (иногда специально созданным для этой цели подразделением) и направлена на решение следующих задач:

- организацию стыковки и научно-технического руководства проектировщиками отдельных подсистем (как правило, их главными конструкторами);
- выдачу исходных данных проектировщикам подсистем;
- увязку частных проектов и их интеграцию в единый проект;
- обеспечение реализации принципов системного подхода в процессе проектирования;
- разработку координационного плана организации внедрения;
- текущий контроль за ходом производства и его оценку.

Таким образом, системотехническая группа призвана реально управлять разработкой определенной сложной системы. В любом случае она представляет собой коллектив специалистов, находящихся непосредственно в подчинении главного конструктора и являющихся его аппаратом. Однако иногда отдел системотехники существует на равных основаниях с отделами разработки и наделен только совещательными полномочиями. Нередко он является не самостоятельным структурным подразделением, а временной смешанной бригадой специалистов-экспертов, представителей от разработчиков основных подсистем. Главный недостаток такой формы организации — неспособность накапливать общие знания для осуществления системотехнической работы.

В области АСУ, например, появление системотехнических подразделений связано прежде всего с дальнейшей специализацией инженерной деятельности. В число включаемых в АСУ задач попадают все новые задачи, увеличивается число разработчиков, специализирующихся на выполнении определенного рода работ. Например, подсистема бухгалтерского учета разрабатывается одними специалистами, материально-технического снабжения — другими, а для разработки подсистемы «Управление НИР и ОКР» требуются совершенно особые специалисты, знакомые со спецификой планирования и организации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и с принципами науковедения. В то же время происходит отделение проектировщиков от исследователей и специалистов по внедрению и эксплуатации АСУ. Проектные задачи в значительной степени переходят к разработчикам обеспечивающих подсистем — программных и технических средств, информационного и организационного обеспечения, внедрение же закрепляется за разработчиками функциональных подсистем (управление финансовой деятельностью, материально-техническое снабжение, НИР и ОКР и т.д.), а эксплуатация осуществляется специалистами вычислительного центра. Конечно, разработчикам функциональных подсистем, например, часто приходится принимать участие и в обеспечении функционирования АСУ. Однако это, как правило, случается при нарушении нормальной организации работ, скажем в случае

сбоев в функционировании ЭВМ. При рациональной организации работ программные, технические, информационные средства и организационные формы, обеспечивающие их реализацию, разрабатываются типовыми по отношению к любым функциональным подсистемам. Далее необходимо лишь конкретизировать их применительно к определенной подсистеме, провести опытный счет с целью их внедрения в отрасли или на предприятии и передать на эксплуатацию в вычислительный центр. В случае функционирования, например, АСУ отрасли информация от предприятий и министерства будет непосредственно поступать в главный вычислительный центр, обслуживаемый соответствующими специалистами.

Для координации и рациональной организации всех вышеперечисленных специалистов и создается иногда особое системотехническое подразделение — системное обеспечение АСУ. Нередко, правда, его функции реализует несколько служб: службы главного конструктора и научной координации, советы главных конструкторов, руководителей тем, главных специалистов проектов, научно-тематические отделы.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом существуют системотехнические объединения и концерны. В этом названии подчеркивается, что их основная функция — разработка систем, а не отдельных компонентов (последние поставляют другие (смежные) организации). В этом случае единство научных исследований и инженерных разработок также достигается особыми организационными формами. Примером может служить организация системотехнической деятельности в корпорации «Белловские телефонные лаборатории» (научном центре концерна «Белловская телефонная система»). Еще в 40-е годы разработка систем была выделена в самостоятельную область. Корпорация выполняет системные исследования и разработки для всех организации концерна. В «Белловских телефонных лабораториях» организационно выделены три области. К первой относятся все научные исследования, проводимые аналогично исследованиям в академических институтах и лабораториях вузов. Вторая область деятельности связана с конкретными инженерными исследованиями, имеет целью определить все имеющиеся в наличии знания, на основе которых может быть выполнена разработка определенной системы. Третья область деятельности лаборатории относится к проектированию и инженерным разработкам, которые осуществляются на основе консультаций с представителями двух первых групп. Разработка опытного образца и сопутствующие ей исследования проводятся совместно со специалистами предприятий, которые будут изготавливать данный образец. Такое разделение труда и организация работ позволили существенно повысить эффективность и результативность всех типов системотехнических исследований и разработок, проводимых в концерне (см. [68] и предисловие Г.Н. Поварова к [91]).

* * *

В нашей стране одной из организационных форм осуществления системотехнической деятельности являются широко внедряемые в различных отраслях промышленности научно-технические и научно-производственные объединения, цель которых — обеспечить максимальный контакт между научным исследованием и инженерной деятельностью, быстрое и эффективное приложение теории к практике. Если такое объединение связано с разработкой сложных систем, то оно может быть названо системотехническим. В него могут входить, например, несколько конструкторских бюро, производственных предприятий (как правило, с опытным характером производства) и научно-исследовательских институтов, ответственных за выпуск определенного типа продукции (например, вычислительной техники). В подобных объединениях функцию системотехнического подразделения выполняет обычно головной НИИ, определяющий научную и техническую политику всего объединения. В его распоряжении имеется производственная база, что создает условия для скорейшего внедрения результатов научного исследования в инженерную практику и производство и стимулирует проведение исследований, в первую очередь необходимых для создания систем данного ти-

па.

Возможна также проблемная организация системотехнических групп. В этом случае создаются не административные подразделения, а лишь научно-технические сообщества, существующие, как правило, на неформальной основе. Примером такой системотехнической проблемы является проблема «искусственного интеллекта», которая в последнее время привлекает внимание специалистов самых различных областей науки и техники. Интенсивное развитие работ в этом направлении относится к началу 70-х годов XX в. Сегодня проблема «искусственного интеллекта» имеет солидную теоретическую базу и, что особенно важно, прикладные результаты. Эти результаты используются и в научной деятельности, и в инженерной практике, и в космических исследованиях, и в медицине, и в промышленности, и в других областях народного хозяйства. Области исследования проблемы «искусственного интеллекта» являются автоматизация процессов принятия решения, разработка вопросно-ответных (диалоговых) систем для общения человека с ЭВМ на естественном языке, машинный перевод, автоматизация обследования, поискового проектирования и имитационного моделирования, автоматизация программирования и проверки правильности программ, создание систем ситуационного управления сложными объектами, создание интеллектуальных банков (баз знаний), разработка самообучающихся и информационно-советующих систем, распознавание образов в реальном масштабе времени и создание интегральных роботов.

Основная цель исследования по проблеме «искусственного интеллекта» во всех вышеперечисленных областях — не замена человека машиной, а более глубокое обоснование принимаемых человеком решений, имитация мыслительной деятельности человека для передачи ЭВМ все большего числа рутинных задач, освобождение от них человека для решения действительно творческих задач. Даже уже из краткого перечисления частных проблем, связанных с «искусственным интеллектом», видно, что мы имеем дело здесь с комплексной научно-технической проблемой, для определения перспектив разработки которой требуются совместные усилия ученых и инженеров различных специальностей. Она привлекает внимание не только инженеров и кибернетиков, но и философов, лингвистов, логиков, психологов, социологов, экономистов. Перед каждым специалистом стоят свои задачи, которые должны быть увязаны в реальном процессе исследования единой проблемы. Для решения этой, по сути дела, системотехнической задачи и образован Совет по искусственному интеллекту Комитета по системному анализу АН СССР, координирующий работу всех исследовательских групп, работающих над этой проблемой в нашей стране. Однако данные группы не находятся в административном подчинении Совета — они связаны между собой только в контексте решения данной конкретной проблемы. Поэтому такая форма организации системотехнической деятельности и может быть названа проблемной (подробнее о проблеме «искусственного интеллекта» см. материалы Круглого стола «Социально-философские проблемы человеко-машинных систем. «Искусственный интеллект» как комплексная научно-техническая проблема», опубликованные в журнале «Вопросы философии», 1979, № 2 — 4).

Глава 4. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОТЕХНИКИ

4.1. Организация комплексного теоретического исследования в системотехнике

При обсуждении проблемы синтеза научных знаний в методологии науки исследуются, как правило, процессы интеграции и дифференциации наук, междисциплинарные научные области, целостность и системность знания, теоретический синтез знаний «внутри» научных дисциплин [74]. Решение проблемы синтеза системотехнических знаний, в конечном счете, должно помочь разрешению практических трудностей, возникающих при создании сложных систем. Однако в данном случае классические естественные и традиционные технические науки вряд ли могут служить образцом. Их развитие увенчалось построением более или менее стройных теорий. Разнородность этих дисциплин, неизбежная на первоначальных этапах развития, была преодолена и «снята» в соответствующих теориях. Комплексность системотехнического знания является скорее его нормальным состоянием. Она обусловлена в первую очередь необходимостью решения комплексных инженерных задач в процессе системотехнической деятельности. Поэтому исследование проблемы синтеза системотехнических знаний и связано с анализом системотехнической деятельности.

Поскольку каждая часть инженерной системы создается определенным специалистом, то и целостность конечного продукта зависит от координации этих специалистов, организации единого процесса системотехнической деятельности. Целостность сложного инженерного объекта и синтез системотехнических знаний непосредственно зависят от решения задачи организации в единое целое системотехнической деятельности.

В работах теоретиков системотехники намечаются попытки целостного описания системотехнической деятельности (см. [117, 133]). На уровне методологического анализа понятие целостности выступает в качестве инструмента исследования и предполагает направленность не на объекты как таковые, а на деятельность, в которую они включаются [4]. Поэтому целостное описание сложного инженерного объекта непосредственно зависит от результатов целостного описания системотехнической деятельности.

Мы разработали один из возможных вариантов такого изображения системотехнической деятельности, которое представлено в табл. 2. В верхней части таблицы приводятся типы системотехнических задач, решаемых на каждой фазе деятельности определенными специалистами. Эти задачи предопределяют в основном тип синтеза системотехнических знаний на каждой фазе. В нижней части таблицы изображены следующие этапы разработки сложной системы: функциональной (I), поточной (II) и структурной (III) схем. Каждый этап распадается на два основных подэтапа: (1) проектирование окружающей среды системы (или системы в целом) и (2) разбивка системы на подсистемы и проектирование подсистем. (Эти этапы и подэтапы соответствуют функциональному, процессуальному, микроскопическому, макроскопическому, иерархическому представлениям системы.)

На каждом этапе системотехнической деятельности выполняется фактически одна и та же последовательность обобщенных операций: (а) анализ проблемной ситуации, (б) синтез решения, (в) оценка и выбор альтернатив, (г) моделирование, (д) корректировка и (е) реализация решения. Однако для данной определенной фазы главными являются не все операции и этапы, а только некоторые (эти операции обозначены буквами, а этапы заштрихованы косыми вправо). Те этапы деятельности, все задачи которых в основном решены, обозначены штриховкой косыми влево. Системотехнический цикл представляет собой итерационный процесс: возможны многократные возвращения на предыдущие фазы и этапы, однако на данном рисунке для упрощения изображения обратные связи системотехнической деятельности опущены.

Рассмотрим более подробно фазы системотехнической деятельности и типы задач и синтезов, выполняемых на каждой из них.

I. Подготовка технического задания (ТЗ). В основном осуществляется проектирование окружающей среды системы этапа разработки функциональной схемы (этап I, подэтап 1),

остальные этапы имеют второстепенное значение (не заштрихованы). Проводится анализ проблемной ситуации, синтез решений, а также оценка и выбор из альтернативных вариантов функциональной схемы (операции а, б, в). Для этапов разработки поточной и структурной схем системы (II, III) осуществляется только анализ проблемной ситуации и синтез решений (а, б). Остальные операции либо не выполняются на этой фазе вообще, либо выдается предварительное возможное их решение (но не окончательное).

На данной фазе решаются следующие системотехнические задачи:

1. Анализ требований заказчика и потребителя, изучение их выполнимости, осуществляется системотехником-координатором.
2. Формулировка основного замысла (т.е. внешних требований к системе и примерного содержания подсистем) и обоснование необходимости новизны и эффективности системы, выполняется системотехником-универсалистом.
3. Планирование исследования, оценка разработанности темы, имеющихся знаний и возможности их синтеза, координация и проведение исследований, проводятся соответственно универсалистом, координатором и исследователем.
4. Прикидка состава бригады проектировщиков, грубая оценка времени, денежных и людских ресурсов, необходимых для создания системы, осуществляется системотехником-координатором.

Вышеперечисленные системотехнические задачи определяют и тип синтеза системотехнических знаний на данной фазе — предварительное системное решение проектной проблемы, определение общей идеи синтеза.

II. Подготовка эскизного проекта. Проектирование внешней среды системы этапа разработки функциональной схемы в основном уже выполнено (этап I, подэтап 1). Осуществляются только операции г, д — моделирование и корректировка первоначального решения (подэтап 1). Главным для этой фазы является разбивка системы на подсистемы и проектирование подсистем на функциональной схеме, а также проектирование окружающей среды на поточной схеме системы (этап I, подэтап 2 и этап II, подэтап 1). Выполняются операции а, б, в, г: анализ проблемной ситуации, синтез решения, оценка и выбор из альтернатив, моделирование проектного решения (этап I, подэтап 2 и этап II, подэтап 1). По остальным операциям выдаются только предварительные решения. При разбивке системы на подсистемы и проектировании подсистем для поточной схемы (этап II, подэтап 2), выполняются операции а, б, в — анализ проблемной ситуации, синтез решений и оценка и выбор альтернатив. Структурная схема на этой фазе, так же, как » на фазе подготовки ТЗ, доводится только до синтеза первоначальных решений (этап III, операции а, б). По остальным операциям (в, г) нет окончательных решений.

На этой фазе решаются следующие системотехнические задачи:

1. Описание прототипа системы: а) детализация системы (т. е. представление ее основных звеньев и их взаимосвязи) с выдачей заданий разработчикам подсистем, что является задачей системотехника-универсалиста; б) описание подсистем (выполняется системотехниками-разработчиками компонентов); в) создание альтернативных вариантов будущей системы, их анализ и выбор из них наиболее оптимального варианта, обоснование выбора и предполагаемые способы реализации (решается системотехниками-разработчиками компонентов системы).
2. Организация процесса проектирования: а) составление программы проектировочной деятельности системотехником-координатором; б) проектирование подсистем проектировщиками и в) их координация системотехником-координатором.

Главным здесь является синтез системотехнических знаний с точки зрения организации проектировочной деятельности. Системотехник должен на основе системных представлений

согласовать знания и действия проектировщиков подсистем. Кроме того, осуществляются текущие синтезы на уровне подсистем.

III. Разработки технического проекта. Связана с проектированием подсистем на поточной схеме и окружающей среды системы на структурной схеме (этап II, подэтап 2 и этап III, подэтап 1). На этих подэтапах осуществляются анализ проблемной ситуации, синтез решений, оценка и выбор из альтернатив и моделирование решения (операции а, б, в, г). Корректировка и реализация не являются окончательными. Этап разработки функциональной схемы считается завершенным (завершенные этапы заштрихованы косыми влево — этап I и этап II, подэтап 1), производится только корректировка этой схемы и реализация в виде поточной схемы (этап I, операции д, е). Проектирование окружающей среды системы на поточной схеме также в основном завершено, но его результаты могут еще корректироваться (этап II, подэтап 1, операция д). Разбивка на подсистемы и проектирование подсистем для структурной схемы является второстепенным подэтапом (этап III, подэтап 2) и включает на этой фазе операции а, б, в анализ проблемной ситуации, синтез решений и оценку и выбор из альтернатив.

На этой фазе решаются системотехнические задачи: 1) анализ прототипа системы; 2) увязка частных проектов и их интеграция в единый технический проект. При решении первой задачи системотехником-универсалистом совместно с системотехниками-разработчиками компонентов (а) уточняются и детализируются все узлы и блоки, их параметры и связи, а разработчики различных аспектов системы (б) дают полное описание проектируемой системы. Вторая задача решается координатором и системотехниками-проектировщиками. Осуществляется объектный синтез системотехнических знаний — описание целостного функционирования системы — на уровне процессов.

IV. Разработка рабочего проекта. На этой фазе завершается проектирование подсистем на структурной схеме (что обозначено косой штриховкой — этап III, подэтап 2). Осуществляется только корректировка и реализация поточной схемы и корректировка проекта окружающей среды на этапе структурной схемы (этап II, операции д, е и этап III, подэтап 1, операция д).

На данной фазе решаются две задачи: 1) координатор и инженер-изготовитель составляют координационный план организации деятельности изготовления; 2) универсалист и разработчики компонентов осуществляют увязку «морфологических» блоков системы. Эти задачи определяют объектный «морфологический» синтез системотехнических знаний, который является здесь основным, а также синтез знаний с точки зрения организации деятельности изготовления.

V. Изготовление и внедрение. Все схемы разработаны (все этапы заштрихованы косыми влево). Проводится корректировка и реализация только структурной схемы (этап III, операция д, е). Системотехник-конструктор в содружестве с изготовителями и специалистами по внедрению осуществляет (1) авторский надзор за изготовлением и внедрением системы и консультации, а также (2) перепроектирование системы в целом, отдельных ее аспектов или подсистем в процессе внедрения (если это, конечно, необходимо). Эта задача решается системотехником-универсалистом совместно с разработчиками компонентов системы. Осуществляется пересмотр синтезов системотехнических знаний всех предыдущих фаз.

VI. Эксплуатация и оценка. Проводится корректировка всех схем (этапы I, II, III, операция д). Решаются системотехнические задачи оценки: 1) функционирования системы (специалистом по эксплуатации и универсалистом); 2) функциональной, поточной и структурной схем с последующей формулировкой идеи возможной модернизации системы (универсалистом); 3) результатов предыдущих фаз и хода разработки системы (координатором). Осуществляется ретроспективный синтез системотехнических знаний, т.е. оценка и пересмотр пре-

дыдущих синтезов.

Каждая последующая фаза связана с предыдущей. Уже завершенная фаза может быть заново пересмотрена. Возможен случай, когда определенная фаза не может быть выполнена в силу каких-либо объективных причин: выделено недостаточно денежных средств или финансирование проекта неожиданно уменьшено по сравнению с намеченным планом, не хватает персонала, поскольку часть его переброшена на более важную тему, не налажено производство первоначально спроектированных блоков, оказались безрезультатными научные исследования, на которые рассчитывали и т.д. Тогда должна быть переделана предыдущая фаза или даже переформулировано все техническое задание.

Таким образом, из проведенного анализа системотехнической деятельности и попытки ее целостного описания видно, что все выделенные нами способы описания этой деятельности (по объекту, как последовательность фаз и операций, с точки зрения кооперации работ и специалистов) хорошо совмещаются. Сам синтез системотехнических знаний должен отражать их, поскольку целостное описание системотехнической деятельности предполагает целостное описание сложного инженерного объекта. Поэтому соединяются воедино «объектный» и «деятельностный» синтез системотехнических знаний. Требование целостности представления сложного инженерного объекта должно соблюдаться на всех этапах и фазах системотехнической деятельности. Последовательность этапов и фаз создания сложной системы следует понимать как непрерывный процесс интеграции частичных представлений. На каждой фазе и этапе инженерный объект описывается как изменяющийся, включенный в определенную среду и состоящий из иерархически организованных блоков. При этом каждый раз целостность системы задается с разных точек зрения, зависящих от способов синтеза частичных представлений, включенных в системотехнический цикл.

Методологический анализ системотехники показывает, что в системотехнической деятельности используется множество типов знания и различных теоретических дисциплин. Они применяются на разных этапах и фазах этой деятельности. Несогласованность этих знаний и дисциплин вызывает затруднения в самой системотехнической практике и в подготовке специалистов в области системотехники. Из необходимости преодолеть эти затруднения и возникает задача синтеза системотехнических знаний, выявления их взаимосвязи.

Научные дисциплины выполняют в данном случае функцию средств деятельности. Средства деятельности могут быть разделены на идеальные (или знаковые), к которым относятся и различные научные дисциплины, и средства реализации (или орудия) [103, 108]. Если рассмотреть соотношение средств деятельности со всеми выделенными способами описания, то можно получить достаточно полную картину синтеза научных знаний, которые используются и вырабатываются в данной сложной деятельности.

Для разных типов подсистем используются знания различных дисциплин. Знания технических наук, например, применяются для проектирования машинных компонентов сложной системы, а общественных — в основном для исследования человеческих компонентов. В книге Г.Х. Гуда и Р.Э. Макола [21] частям системы ставятся в соответствие определенные научные дисциплины: входная и выходная аппаратура проектируется с использованием инженерной психологии, аппаратура связи разрабатывается с помощью теории информации и т.д.

На разных фазах системотехнической деятельности также используются знания различных научных дисциплин. Например, методы исследования операций применяются в основном при подготовке эскизного проекта (фаза II) как средства организации самого процесса проектирования, а также для оценки работы аппаратуры и определения наилучших методов ее использования. Методы экономики применяются для оценки стоимости разработки и самой системы при подготовке технического задания и эксплуатации и оценки (фаза I, VI).

В системотехнике научные и технические дисциплины являются средствами деятельности различных специалистов. В горизонтальной структуре системотехнической деятельности разработчики машинных компонентов преимущественно используют конструктивно-технические, технологические знания и знания технических наук. Проектировщики человеческих компонентов применяют широкий спектр знаний общественных наук: психологии мышления, социальной психологии, социологии, педагогики, лингвистики, семиотики и т.д., а также таких естественных наук, как анатомия, биология, физиология человека. Системотехниками-специалистами по экономическим, организационным, статистическим и другим аспектам сложных систем применяются методы сетевого анализа, исследования операций, экономической статистики. Системотехник-универсалист, осуществляющий организацию специалистов в горизонтальной структуре деятельности, должен иметь знания о всех блоках системы и о разных типах систем. Он использует системные и другие конкретно-методологические представления о способах организации различных аспектов и блоков системы, а также специалистов, их разрабатывающих. В деятельности универсалистов осуществляется горизонтальный синтез системотехнических знаний.

Вертикальная структура системотехнической деятельности связана с процессом последовательного решения системотехнических задач. Исследователь, изобретатель, проектировщик, конструктор, инженер-изготовитель и инженер по эксплуатации применяют в своей деятельности методы различных научных и технических дисциплин. Системотехник-координатор должен обладать знаниями, используемыми во всех этих кооперируемых видах деятельности, а также средствами их организации в единую систему, которые вырабатываются такими дисциплинами, как исследование операций, сетевой и системный анализ, теория управления и принятия решений. Деятельность координации обеспечивает целостность системотехнической деятельности и синтез системотехнических знаний в «вертикальной» структуре этой деятельности.

Системные представления и понятия, которые являются в основном орудием деятельности системотехника-универсалиста и системотехника-координатора, используются ими и как средство синтеза системотехнических знаний. Причем универсалист ориентирован на объектный синтез, а координатор — на синтез знаний с точки зрения организации деятельности. Применение системного подхода — это перспективный путь целостного описания сложного инженерного объекта. Однако решение проблемы синтеза системотехнических знаний существенно усложняется наличием парадоксов системного мышления [73], которые возникают из-за противопоставленности двух основных, характеристик системы: целостности и иерархичности и в то же время необходимости совмещения иерархического описания объекта исследования с его целостным представлением.

Парадокс иерархичности заключается в том, что исследование любой системы возможно лишь на основе решения задачи ее описания как элемента более широкой системы. В то же время решение этой задачи можно получить только исходя из описания системы как таковой. Иначе говоря, описание любой подсистемы данной системы выполнимо лишь на основе исследования последней, что возможно только при наличии описания подсистем.

В практике проектирования инженерных систем требования к подсистемам формулируются исходя из свойств системы в целом. Однако сами эти свойства являются результатом предварительного анализа подсистем. Действительно, чтобы разработать радиолокационную станцию как элемент, скажем, конкретной навигационной системы, необходимо уже иметь описание РЛС как некоторой системы, содержащей определенные электрические, механические и другие блоки. В то же время задача описания радиолокационной станции как системы непосредственно зависит от предварительного рассмотрения ее как элемента системы более высокого уровня иерархии. Без этого невозможно создать РЛС как особую систему, состав-

ляющую к тому же элемент конкретной навигационной системы.

Парадокс иерархичности каждый раз возникает при решении системотехнических задач и разрешается на практике методом последовательных приближений. На основе первоначальных (ориентировочных) представлений о характеристиках подсистем исследуются свойства системы. В ходе исследования формируются в первом приближении требования к подсистемам. Далее выполняется частичное проектирование подсистем, новое, более точное моделирование системы, уточнение этих требований и т.д. Такая итерационная процедура осуществляется несколько раз.

Парадокс целостности состоит в том, что решение задачи описания данной системы как некоторой целостности возможно лишь при «целостном» разбиении данной системы на части — разбиении системы на целые-части, т. е. части, которые сами являются целыми, а осуществление этого разбиения возможно только при условии решения первой задачи. Например, чтобы представить автоматизированную систему управления предприятием (АСУП) как целостную систему, необходимо ее разложить на целые-части, обладающие функциональной спецификой целого — системы. Однако такое разложение в свою очередь предполагает, что функциональная специфика АСУП выяснена. Она не сводится только к машинному преобразованию информационных потоков, а включает в себя организационные, экономические, психологические и другие аспекты. Выяснение специфики АСУП как целостной системы составляет одну из основных теоретических и методологических задач создания автоматизированных систем. Задача «целостного» разбиения АСУ может быть решена на пути анализа управленческой деятельности, которую реализует данная АСУ.

Выход из круга парадоксов системного мышления, с нашей точки зрения, возможен только при обращении к содержательным характеристикам системотехнического знания. Последние же могут быть зафиксированы именно через исследование использования и построения знаний, т.е. через анализ системотехнической деятельности. Проведенный в книге анализ позволил определить место системных представлений в системотехнической деятельности и те специфические задачи, которые с их помощью решаются.

Системные представления и понятия дают возможность получить описание системотехнической деятельности как единого целого и учесть разнородные компоненты этой деятельности, между которыми устанавливаются различные связи. Системные представления соотносимы со способами членения деятельности. Однако сами они должны быть уточнены относительно деятельностных характеристик. На основе результатов анализа системотехнической деятельности может быть скорректирована и программа проведения комплексного теоретического исследования в системотехнике.

Особенность современных научно-технических дисциплин, в частности системотехники, заключается в том, что они имеют системную ориентацию. Другими словами, все они (системотехника, эргономика, техническая кибернетика, системный анализ и т.д.) ориентируются на некоторую «универсальную» онтологическую схему, являющуюся аналогом научной картины мира в естественной науке и представленную в различных вариантах общей теории систем и методах и средствах системного подхода. В такой «универсальной» онтологической схеме (иначе системной онтологии) задается идеальная модель, специфическое видение объекта исследования и проектирования, та реальность, в которой работает и которую имеет перед собой инженер-системотехник, та единая действительность, в которой только и возможен синтез «частичных» теоретических представлений.

Комплексное теоретическое исследование в системотехнике включает в себя целый ряд одноаспектных и одноплановых теоретических исследований и характеризуется множеством «частичных» идеальных объектов. Средства и способы исследования выбираются из различных научных дисциплин или разрабатываются специально применительно к каждой кон-

кретной проблеме. В комплексном теоретическом исследовании должны быть учтены все эти частичные представления, частные онтологические схемы. Они должны быть обобщены и переформулированы в своего рода частные теории систем, а их идеальные объекты, онтологические схемы, представлены как особые специальные системы, т.е. переведены в системный модус. Эти специальные системы могут быть далее синтезированы в различные (в зависимости от решаемой задачи) комплексные модели сложного инженерного объекта. «Поле» всех возможных (в том числе и гипотетических) комплексных системных моделей (вместе с совокупностью специальных систем) и составляет обобщающую онтологическую схему системотехники, являющуюся, с одной стороны, обобщением частных онтологических схем, используемых в ней теорий, а с другой — конкретизацией «универсальной» онтологической схемы (которой и является фактически гиперсистема).

«Универсальная» онтологическая схема выполняет по отношению к системотехнике функцию методологического ориентира в выборе теоретических средств и методов решения комплексных научно-технических задач, дает возможность транслировать их из смежных дисциплин или методологической сферы. Она задает также методологический принцип «конструирования» сложных идеальных объектов системотехники — комплексных системных моделей, их последующего имитационного моделирования и интерпретации, т.е. позволяет экстраполировать накопленный в системотехнике опыт на будущие проектные ситуации. Комплексные системные модели сложного инженерного объекта, полученные на теоретическом уровне, могут быть использованы как исходные при проектировании новых систем.

Таким образом, комплексное теоретическое исследование в системотехнике является одновременно и теоретическим и ориентированным на инженерную практику. Специфика такого исследования заключается в том, что оно имеет более (чем любое другое теоретическое исследование) жесткие связи с инженерной деятельностью. Поэтому одноаспектное исследование, в котором система задана как «специальная», должно проводиться на основе системных представлений не только в плане исследования, но и проектирования, изобретения, конструирования, изготовления и эксплуатации (рис. 14).

При проектировании, конструировании, изготовлении и т.д. синтез знаний может выглядеть иначе, чем при исследовании сложной системы. Например, ряда подсистем на уровне исследования может и не быть, так как они появляются только на уровне изготовления (скажем, экранирующие приспособления). В то же время некоторые подсистемы, имеющиеся на уровне исследования, могут отсутствовать на других уровнях системотехнической деятельности.

Комплексная системная модель сложного инженерного объекта может быть построена двумя способами (рис. 14).

Комплексные модели S_1^l «собираются» из специальных систем, $\dots S_n^i$ одного уровня вертикальной структуры, т.е. представляют собой только горизонтальный синтез системотехнических знаний в каком-либо одном плане: или исследования, или проектирования, или изготовления, и т.д. С точки зрения горизонтального синтеза (по объекту) в комплексную системную модель включаются представления различных специалистов горизонтальной структуры данной деятельности. Такие модели должны быть синтезированы в комплексе-дом теоретическом исследовании по всем уровням вертикальной структуры системотехнической деятельности.

Комплексные системные модели $S_n^{1 \rightarrow l}$ строятся на базе вертикального синтеза всех представлений одной и той же подсистемы исследователем, изобретателем, проектировщиком и т.д. (S_1^1, \dots, S_1^l) Полученные таким образом комплексные системные модели верти-

кальной структуры синтезируются затем в единую системную модель сложного инженерного объекта $S_{1 \rightarrow n}^{1 \rightarrow l}$ по всем подсистемам горизонтальной структуры системотехнической деятельности.

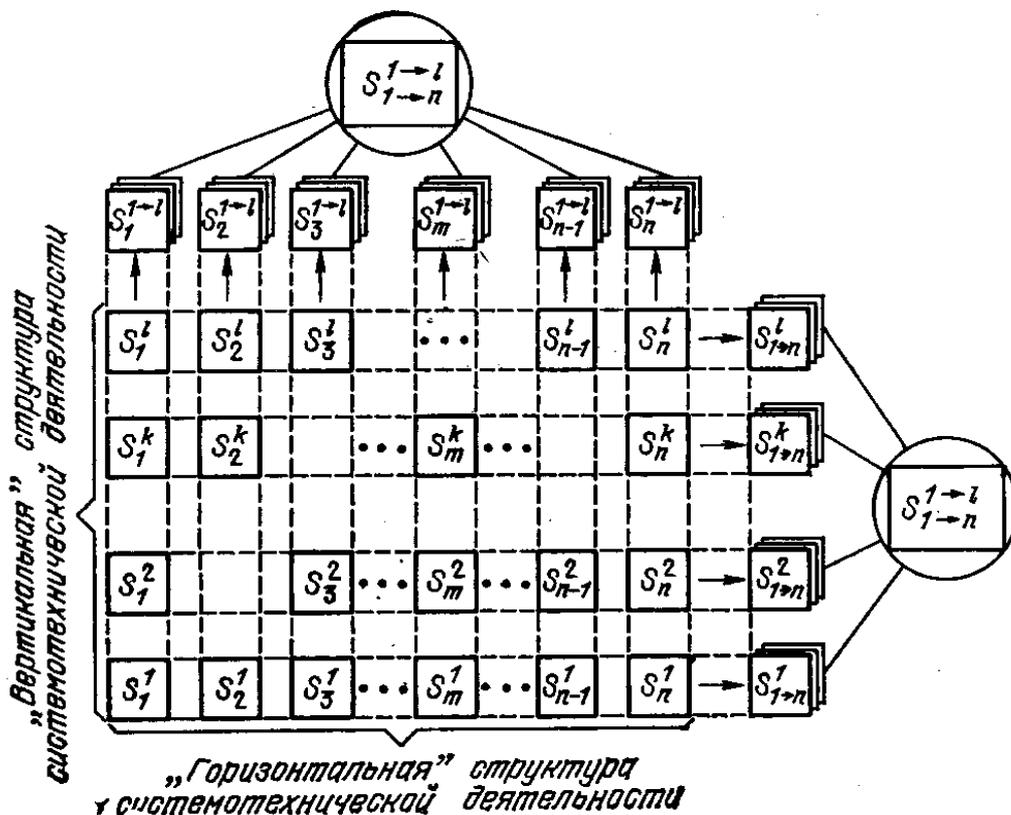


Рис. 14

Таким образом, гиперсистема не только задает общую схему горизонтального синтеза системотехнических знаний в плане исследования (как это утверждалось в гл. 2), но и определяет и горизонтальный и вертикальный синтез знаний. В такой трактовке комплексное теоретическое исследование в системотехнике будет включать в себя уже три этапа, а не два, как это было сформулировано ранее. На первом знания различных одноаспектных теоретических исследований сложного инженерного объекта описываются в виде специальных систем. На втором этапе специальные системы синтезируются в комплексные системные модели вертикальной и горизонтальной структуры системотехнической деятельности (первый уровень синтеза). Наконец, на третьем этапе все комплексные системные модели «собираются» в единую модель (второй уровень синтеза). Только в этом случае синтез системотехнических знаний можно считать полным.

4.2. Проблема построения системотехнической теории

Задача методологического анализа заключается не в том, чтобы прогностить ту или иную конкретную теорию, а в определении перспектив, возможных путей, способов и методов построения различного типа теории. Поэтому и в данной работе мы ставили перед собой цель проанализировать лишь проблему построения системотехнической теории, то направление, в котором должно, по нашему мнению, развиваться теоретическое исследование в системотехнике.

технике. Теории на ранних этапах развития естественнонаучных и научно-технических дисциплин складывались стихийно. Сегодня же ставится задача сознательного построения, «конструирования» теории, в частности, в системотехнике. Что же может быть принято в качестве образца для такого рода работы? Это может быть выяснено лишь в результате методологических исследований.

В настоящее время уже осуществлен основательный методологический анализ становления естественнонаучной теории (см., например, [1, 81]), выявлены этапы и механизмы ее формирования. Аналогичные исследования начинают проводиться и в плане генезиса технической теории (см. [29, 96]). Для построения теории в системотехнике необходимо прежде всего, используя опыт, накопленный в методологических исследованиях науки, на конкретном историко-научном материале реконструировать закономерности формирования теории в классических научно-технических дисциплинах и выделить их особенности по сравнению с естественнонаучными дисциплинами, а затем определить специфику построения системотехнической теории. Проведение такого сравнительного анализа может быть полезным не только для организации теоретических исследований в новых научно-технических дисциплинах, но и для корректировки «методологического стандарта» механизма формирования теории вообще. Однако решение этой последней задачи — предмет особого исследования, выходящего за рамки данной книги. Мы ставим перед собой задачу сформулировать исходные теоретические представления об этапах и механизмах формирования технической теории, которые могли бы служить средством последующего содержательного методологического анализа. Здесь излагается не конечный результат, а скорее программа предстоящих исследований. Поскольку содержательный методологический анализ естественнонаучной теории практически уже проведен, представляется возможным использовать его результаты и для исследования технической теории. (В качестве исходных методологических средств будем использовать результаты анализа становления физической теории, полученные В.С. Степиным [81].)

Формирование и технической и естественнонаучной теории (в условиях развитой науки) начинается, как правило, с использования в качестве исходной теоретической модели из какой-либо более разработанной области с соответствующей ее корректировкой на новый класс явлений (Лишь на ранних стадиях развития науки теоретические модели создаются непосредственной схематизацией опыта. Затем в качестве средств для построения новых теоретических моделей используются уже эти исходные модели, и такой способ становится определяющим в развитии науки. Это, конечно, не означает, что теперь не производится схематизация нового эмпирического материала. Но она уже осуществляется через призму накопленных прошлыми поколениями ученых и апробированных научной практикой теоретических моделей (см. [81]). Например, Галилей заимствовал геометрокинематическую схему из астрономии, где в наиболее чистом виде рассматривались движения небесных тел по идеальным кривым в соответствии с теоремами и постулатами евклидовой геометрии (подробнее см. [1]). Примерно аналогичная ситуация сложилась к концу XVIII в. при исследовании разнообразных машин, когда Г. Монж заимствовал теоретическую модель из начертательной геометрии [18]. Эта модель соответствовала геометрокинематической схеме Галилея, однако она была несколько модифицирована с учетом потребностей инженерной практики.

Дальнейшая перестройка данной модели осуществлялась за счет конструктивного введения новых идеальных объектов. То, что этот процесс для технической теории определялся инженерной деятельностью, ни у кого не вызывает сомнений. Однако на первых этапах возникновения и естественнонаучной теории было также во многом обусловлено запросами инженерной практики. Например, работы Н. Тарталья и Галилея по свободному падению тел стимулировались необходимостью проведения более точных инженерных расчетов траекто-

рии полета артиллерийских снарядов. В этом смысле сам эксперимент был первоначально связан с инженерной деятельностью. Образец такого рода деятельности, в частности, продемонстрировал Р. Гук, который работал и как ученый экспериментатор и как инженер, совершенствуя конструкции экспериментальной техники и разрабатывая новые структурные схемы экспериментальных ситуаций. В то же время следует иметь в виду, что и инженерная и экспериментальная деятельность стали возможными именно благодаря оперированию с идеальными объектами, позволяющими создавать идеализированные экспериментальные и инженерные ситуации, еще не существовавшие в природе.

Разработка частных теоретических схем, обслуживающих инженерную деятельность, характерна и для технических и для естественных наук. Например, Гюйгенс разработал не только теорию качания маятника, но и новую, соответствующую этой теории конструкцию часов и даже создал сами часы. Построение обобщенной теоретической (онтологической) схемы и математизированной теории является общим условием зрелости научного исследования и в естественных и в научно-технических дисциплинах. В теории механизмов это позволило осуществлять не только анализ, но и теоретический синтез новых механизмов, не существовавших еще в инженерной практике. Причем аналогом естественнонаучной картины мира в теории механизмов является обобщенная классификационная (онтологическая) схема всех возможных (в том числе и потенциально) механизмов [18].

Развитие классической электродинамики в трудах М. Фарадея, Дж. Максвелла и Г. Герца шло несколько иным путем. Экспериментальные исследования проводились Фарадеем на основе созданной им универсальной теоретической модели электромагнитных явлений. Он не опирался на какой-либо математический аппарат. На базе этой модели Максвелл разработал адекватный математический аппарат на основе заимствованных им (вместе с соответствующей теоретической схемой, приспособленной к исходной модели Фарадея) из механики сплошных сред математических средств. В работах Герца эта модель была не только экспериментально подтверждена, но и обобщена на электромагнитные и оптические явления (что логически вытекало из теории Максвелла, но не было экспериментально доказано).

Экспериментальные и теоретические исследования Фарадея, Максвелла и Герца неявно содержали в себе возможность организации передачи сообщений на расстояние. Однако явным образом такая задача не ставилась и в принципе не могла быть поставлена в рамках естественнонаучной теории. В теоретической радиотехнике, развившейся в связи с инженерными приложениями электродинамики, эта задача была поставлена сознательно. И ее математический аппарат, и объяснительные теоретические схемы с самого начала были ориентированы на построение структурных схем новых инженерных объектов. Формирование теоретической радиотехники в наиболее чистом виде зависело от базовой естественнонаучной теории — электродинамики. Влияние же инженерной деятельности для нее было вторичным. К моменту первых радиотехнических изобретений уже была построена и экспериментально доказана теория распространения электромагнитных волн, но первоначально не предполагалось никаких выходов этой теории в инженерную практику. Развитой отрасли промышленности тогда еще не было, и теория не могла быть обоснованием уже созданных устройств. (В теории механизмов определяющим было влияние уже достаточно развитой к моменту ее возникновения инженерной практики, к которой была вынуждена приспособляться формирующаяся техническая теория.) В области радиотехники сама инженерная деятельность формировалась параллельно и под определяющим воздействием технической теории. Поэтому конструктивные расчленения радиотехники в значительной степени находятся в зависимости от ее теоретических схем.

Главное отличие технической теории от естественнонаучной заключается в том, что процедуры отнесения теоретических моделей к конструктивным схемам реальных инженер-

ных объектов являются здесь специально нормированными. И математический аппарат, и естественнонаучное объяснение функционирования инженерных объектов имеют подчиненный характер в отличие от естественной науки, в которой главная цель — объяснение и предсказание природных явлений, а экспериментальные и математические построения выполняют вспомогательную роль, хотя в процессе становления и развития экспериментальная и инженерная деятельности иногда могут совпадать. Однако для естественной науки всякие инженерные результаты являются побочными. Для технической науки они органично вписываются в само «тело» технической теории.

Итак, заимствованная нами из сферы методологического анализа генезиса естественнонаучной теории схема [81] в результате проведенного исследования может быть следующим образом модифицирована и конкретизирована для технической теории. На первом этапе ее построения осуществляется трансляция исходной теоретической схемы из «базовой» естественнонаучной теории или, если таковая неадекватна практическим инженерным задачам, из смежной теоретической области. На втором этапе происходит ее длительная адаптация, подведение под нее и обобщение определенного эмпирического материала (конструктивно-технических и технологических знаний). Этот процесс включает в себя серию попыток описать существующие инженерные объекты с помощью исходной теоретической схемы и выделить части инженерных объектов, наиболее хорошо представляемые в ней. Третий этап — модификация исходной теоретической модели — заключается в разделении «поточной» схемы (описывающей естественный процесс, протекающий в инженерном объекте) и структурной (отображающей его конструктивные элементы и технологические связи). Затем устанавливается эквивалентность этих схем и соответствующих им способов инженерного расчета. Параллельно детально разрабатываются отдельные частные теоретические схемы.

Разработка обобщенной теоретической схемы, которая транслируется из смежных областей или «базовой» естественнонаучной теории, является четвертым этапом формирования технической теории. Если в базовой естественнонаучной дисциплине нет соответствующего этой теории раздела, то он строится заново. В научно-технической дисциплине вводятся однородные идеальные объекты, которые должны иметь типовые для всех инженерных объектов и иерархически организованные элементы и фиксированный набор связей между ними (правила сборки этих элементов). Устанавливается также обязательное соответствие идеальных объектов и конструктивных элементов реальных инженерных объектов, т. е. вводятся процедуры анализа и синтеза теоретических схем. Возможна перестройка инженерных объектов под теоретическую модель (подведение конструктивных элементов под элементы идеальных объектов). На этом этапе осуществляются попытки проецировать обобщенную теоретическую схему на класс гипотетических инженерных объектов. В результате возникает необходимость создания математизированной теории (пятый и завершающий этап). Это в свою очередь требует модификации обобщающей теоретической схемы. Задание операций эквивалентного преобразования данных схем (дедуктивный вывод) и позволяет осуществить «проецирование», т.е. синтез еще не созданных инженерных объектов. Это приводит к формированию на эмпирическом уровне технической теории массива практико-методических знаний (рекомендаций для еще неосуществленной инженерной деятельности), Апробация технической теории проводится в самой инженерной практике. Доказательство жизнеспособности и конструктивности этой теории — созданные на ее основе новые инженерные объекты.

Формирование системотехнической теории, конечно, осуществляется несколько иным, но все же сходным образом. Здесь можно провести аналогию сходства и различия в развитии классических и «неклассических» естественнонаучных дисциплин, например классической и квантовой механики (об этом см. [81]). Аналогично и системотехника может быть отнесена к «неклассическим» научно-техническим дисциплинам.

Сегодня уже ясно, что технические науки представляют собой особый тип научных дисциплин, хотя и связанных генетически с экспериментальным естествознанием, но обладающих вполне определенной спецификой и самостоятельностью развития и функционирования [29, 96]. В еще большей мере это относится к современным научно-техническим дисциплинам, отличающимся и от классических технических наук.

За последние три десятилетия в сфере научно-технических дисциплин произошли существенные изменения, которые и позволяют говорить о становлении качественно нового «неклассического» этапа в их развитии. Во-первых, количество технических наук, прикладных исследований, научно-технических дисциплин и их доля в общей массе научных исследований лавинообразно возрастает. Во-вторых, формируются новые способы организации научных знаний и исследований, направленные на повышение эффективности и результативности научной деятельности, в которые вовлекаются специалисты самых различных сфер и отраслей. Все это предопределяет более жесткую ориентацию современной науки на решение самых разнообразных практических проблем, в том числе и прежде всего инженерных. В то же время инженерные методы и методические и проектные приемы работы все более глубоко проникают в сферу «чистой» науки, коренным образом преобразуя традиционные нормы научного исследования и его ценностные ориентации. Возникает блок новых научно-технических дисциплин, использующих системные представления, методы и понятия для решения своих специфических проблем (техническая кибернетика, системотехника, системный анализ, эргономика и т.п.). Даже традиционные естественные и технические науки испытывают на себе влияние этого нового стиля мышления и способов работы. Такие новые дисциплины не укладываются часто в существующий методологический стандарт научного исследования, но тем не менее это не значит, что они не могут претендовать на статус научных дисциплин, хотя и нетрадиционного типа. Скорее наоборот, устаревшие методологические представления должны быть модифицированы с учетом новых явлений, возникающих в реальной научной деятельности. Изменился сам способ формирования научно-технических дисциплин и организации в них теоретических исследований.

Будем различать три основных способа формирования современных научно-технических дисциплин: в виде комплексного теоретического исследования, на методической основе и по псевдоклассическому образцу.

При формировании технической теории в виде комплексного теоретического исследования, как правило, первоначально возникает некоторый достаточно общий конкретно-методологический подход с «универсальной» сферой применения, которая постепенно специфицируется относительно определенной проблемной области (комплексной научно-технической проблемы). Исходным в данном случае является широкое научное движение, в результате которого возможно появление новой научно-технической дисциплины. При этом отдельные теоретические средства, методы и дисциплины, включенные в такое комплексное исследование, хотя соответствующим образом перерабатываются, переосмысливаются и испытывают обратное воздействие со стороны новой дисциплины, продолжают сохранять самостоятельность и развиваются (вне данной комплексной проблемы) обособленно. К данному типу дисциплин относится, например, системотехника и эргономика [61].

При формировании новых научно-технических дисциплин на методической основе в принципе не ставится цель создания единого (и даже комплексного) теоретического исследования. Однако это не значит, что в данном случае не проводятся теоретические исследования. Совокупность научных методов и практических приемов решения разнообразных проблем (в определенной области) консолидируется на общей методологической основе, но без создания единого математического аппарата и обобщающих онтологических схем. Функцию последних выполняют системные (или какие-либо другие общенаучные, например киберне-

тические) представления и понятия, что и гарантирует целостность и специфичность теоретического исследования, проводимого каждый раз заново и новыми средствами. Именно к такого рода дисциплинам относится, по нашему мнению, системный анализ, который характеризуется не специфическим научным аппаратом и методами (как правило, заимствованными из других наук), а особыми принципами и подходом к организации теоретического исследования слабоструктурированных проблем, возникающих прежде всего в сфере управленческой деятельности (См. Голубков Е.П. Системный анализ как направление исследований. — В кн.: Системные исследования. Ежегодник 1976. — М.: Наука, 1977; Шеин А.Б. Методологический статус системного анализа в сфере управления. — Там же; Наппельбаум Э.Л. Системный анализ как программа научных исследований — структура и ключевые понятия. — В [75], а также в [50].).

Даже при формировании новых технических теорий по псевдоклассическому образцу, т.е. с преимущественной ориентацией на определенную базовую естественнонаучную дисциплину, они испытывают сильное влияние неклассических методов организации теоретических исследований. Например, физика горных пород, которая первоначально формировалась как прикладной раздел физики твердого тела, в действительности базируется на ряде фундаментальных наук (физике, химии, геологии, минералогии, петрографии, механике сплошных сред, горном деле и т.д.) и отличается комплексностью подхода к изучению свойств и процессов в горных породах и массивах, практической направленностью на создание эффективных способов ведения горных работ, новых методов решения актуальных задач горного производства. Еще одним элементом нетрадиционности физики горных пород является ее ориентация на учет окружающей среды, проектирование систем «человек — машина — природа», необходимость этого диктуется не только появлением нового стиля мышления, но и теми практическими задачами, которые должна решать данная научно-техническая дисциплина. В то же время она стремится к созданию единого теоретического исследования по псевдоклассическому образцу [70].

Образование новой дисциплины по этому способу может происходить и за счет отпочкования новой области исследования от классической технической теории (например, радиолокации от радиотехники). При этом в качестве базовой выступает уже не естественнонаучная, а техническая теория, из которой и транслируются нормы и образцы научного исследования. Такое выделение возможно также при ориентации старой технической теории на новую базовую естественнонаучную (так появилась, например, квантовая электроника).

Таким образом, можно выделить некоторые общие черты и особенности технической теории, характерные для неклассического этапа развития современных научно-технических дисциплин.

Прежде всего это — комплексность теоретических исследований (в какой бы форме они ни проводились и каким бы способом ни формировались), направленность на решение комплексных научно-технических задач, требующих участия представителей многих научных дисциплин, группирующихся относительно единой проблемной области. Объектом комплексного исследования в современных научно-технических дисциплинах становится качественно новый «деятельностный» объект. Например, эргономика связана с исследованием и проектированием трудовой деятельности в системе «человек — машина» и включает в себя два блока знаний: знания об объекте (т. е. о трудовой деятельности) и знания о том, как исследовать и проектировать этот объект (т. е. тоже о деятельности). В кибернетике, которая первоначально была ориентирована на «машинизированное» представление инженерного объекта, наметился переход от «автоматной» кибернетики к кибернетике «деятельностной» [78].

Ситуация, сложившаяся в современных научно-технических дисциплинах, во многом

напоминает изменения в экспериментально-измерительной деятельности, характерные для неклассической физики и связанные с так называемым парадоксом неизмеримости. В классической физике предполагается, что измерительный прибор не влияет на состояние измерительного объекта, с которым он взаимодействует, и всегда можно подобрать такие условия эксперимента, что этим возмущением можно пренебречь либо учесть его, введя поправки в результаты измерения. Однако для микросистем достичь этого не удастся. Поэтому результаты уже проведенного измерения не всегда точно можно воспроизвести, а только предсказать с определенной степенью вероятности и возмущающим воздействием экспериментально-измерительной деятельности нельзя пренебречь. Объект измерения не может рассматриваться отдельно от этой деятельности: он не является себе тождественным до, во время и после эксперимента [81].

Аналогичная ситуация наблюдается и в современной инженерной деятельности. Она становится эволюционным системным проектированием — проектирование не прекращается и тогда, когда система уже создана. Поскольку система может устареть еще до того, как она с создана, в проекте должны быть предусмотрены возможные модификации ее. Так как в проекте сложной системы невозможно учесть все особенности ее функционирования, то необходима особая деятельность — внедрение. Она направлена на корректировку проектных решений в процессе отладки системы и в соответствии с изменениями условий функционирования. Поэтому сложный инженерный объект является системой «человек — машина — окружающая среда». И деятельность использования, и деятельность создания и совершенствования таких систем являются как бы слитыми, неразрывно связанными с самими системами. Наиболее ярко эта тенденция проявляется в сфере социально-инженерных разработок, например в градостроительном проектировании, использующем знания социальных и технических дисциплин. Здесь уже невозможно пренебречь возмущающим воздействием исследования и проектирования, поскольку и объект проектирования (исследования), и проектировщик (исследователь) имеют однопорядковую деятельностьную сущность.

Подобно тому, как в неклассической физике все большее значение придается методу математической гипотезы (минуя промежуточные интерпретации) и идеализированным экспериментам (без воспроизведения их на всех промежуточных стадиях в виде реальных экспериментов), в современных научно-технических дисциплинах определяющую роль начинает играть имитационное моделирование на ЭВМ, позволяющее проанализировать различные варианты будущего функционирования сложной системы. При этом промежуточные интерпретации, как правило, опускаются.

Аналогию между неклассическими естественнонаучными и научно-техническими дисциплинами можно провести по той роли, которую играет в них научная картина мира (универсальная онтологическая схема). Современные неклассические научно-технические дисциплины используют сложную совокупность различных типов знания и методов для решения комплексных научно-технических проблем. Поэтому первым условием эффективной организации теоретического исследования в них является необходимость реконструкции той единой действительности, в которой возможно соотнесение всех «частичных» подходов и особое целостное видение объекта исследования (и проектирования). Причем поскольку эти дисциплины имеют дело с множеством теоретических представлений, выполняющих функцию частных онтологических схем по отношению к комплексному исследованию, то формирование неклассической технической теории начинается с этапа разработки обобщенной онтологической схемы. Атак как базовой теории, как правило, нет, то она транслируется из методологической сферы. Эту функцию чаще всего выполняют системный подход и общая теория систем, имеющие общенаучный статус, иногда кибернетические представления и понятия. Универсальная онтологическая схема, зафиксированная в различных вариантах общей

теории систем и в методах, понятиях и представлениях системного подхода, специфицируется под соответствующий класс решаемых научно-технических задач и начинает выполнять функцию обобщенной онтологической схемы. В системотехнике она несколько иная, чем в кибернетике, системном анализе или эргономике, но все же системная обобщенная онтологическая схема (отсюда и разные варианты общей теории систем, ориентированные на различные классы проблем).

Одной из важных особенностей современных научно-технических дисциплин является их явно выраженная методологическая ориентация. В рамках этих дисциплин осуществляются конкретно-методологические исследования (часто с непосредственным выходом на практику через методологические разработки и проектирование). Это относится и к кибернетике, и к системотехнике, и к системному анализу, и к эргономике [15, с. 67; 50, с. 55; 61, с. 75-80]. Более того, методологические знания вплетены в само «тело» технической теории, иногда они даже замещают теорию ввиду неразработанности общих теоретических средств.

Особенности современных научно-технических дисциплин определяют и специфику проводимых в них теоретических исследований. Последние, как отмечается в целом ряде работ (например, [90]), уже не могут строиться по образцу естественнонаучной (главным образом, в физической) теории, как это зачастую предполагалось и до сих пор [36]. В настоящее время выдвигаются два основных методологических идеала организации такого рода теоретических исследований.

1. В качестве методологической нормы построения современной научно-технической дисциплины рассматривается «синкретизм» развиваемых в них теоретических представлений, связанный с необходимостью использования самых различных наук и знаний при решении комплексных по самой своей сути инженерно-проектных задач. Кроме того, эти представления фиксируются в концептуальных схемах данного вида научно-технической деятельности, построенных на основе систематизации и методической обработки единичного опыта-работы (прецедентов) (об этом см. статьи Н.Г. Алексеева в [61]). Причем дальше построения общих концептуальных схем, специально приспособленных для фиксации соответствующих методических приемов и предписаний (как правило, системно ориентированных), дело в принципе не идет.

2. Второй идеал организации теоретических исследований связан с разработкой особых способов абстрактного изображения таких «синкретических» представлений, что стимулируется в первую очередь необходимостью применения в данной научно-технической дисциплине определенного математического аппарата и программных средств имитационного моделирования на ЭВМ. С этой целью строятся особые идеальные объекты второго уровня (по отношению к идеальным объектам теорий, используемых при решении данного класса комплексных научно-технических задач), в которых фиксируется однородное отображение «синкретического» представления, относящегося к первому уровню. Они включают в себя абстрактные структурные и абстрактные поточные (алгоритмические) схемы.

Структурные схемы необходимы для анализа конфигурации, степени связности элементов, выбора наиболее рационального строения системы, определения надежности его структуры и т.д. безотносительно к ее специфическому наполнению, т.е. отвлекаясь от «морфологии» конкретной системы [48, 49]. Алгоритмические схемы отображают обобщенные процедуры функционирования любой системы. Фактически в данном случае речь идет о своеобразной объективации процедур деятельности, но не в форме естественного (скажем, физического) процесса, а в виде соответствующих системных или кибернетических представлений [57]. Поэтому такого типа теоретические исследования будут системными, но «настроенными» на вполне определенный класс научно-технических проблем.

Поскольку современная техническая теория имеет дело с качественно новым «деятель-

ностным» объектом исследования и проектирования, то возникает проблема «системно-деятельностного» его представления [105]. В рамках отдельно взятой такого рода теории это выражается в необходимости совмещения обобщенных структурной и алгоритмической схем одного и того же объекта в едином описании. Это обуславливает и специфику идеальных объектов второго уровня — в них неразрывно переплетены объектные и деятельностные представления, объект как бы «сплавлен» с деятельностью его проектирования, совершенствования и использования. Он является, кроме того, «индивидуальным», уникальным в отличие от объектов естественных и классических технических наук.

Наконец, в силу комплексного характера теоретического исследования в современных научно-технических дисциплинах и отмеченной уникальности объекта такого исследования — сложной системы — их задача заключается не только в том, чтобы выявить различные аспекты и режимы работы, подлежащие обобщенному описанию и расчету, но и «собрать» все полученные результаты в единую многоаспектную и многоплановую имитационную модель — задача, которая в рамках классической технической теории в принципе не ставилась.

По нашему мнению, второй идеал не обязательно должен рассматриваться как более зрелый этап и цель развития первого. Скорее они являются рядоположенными, взаимодополняющими способами организации теоретических знаний в современных научно-технических дисциплинах. Развивая в данной книге концептуальную схему системных представлений, мы фактически ориентировались на первый идеал. Поэтому рассмотрим подробнее лишь перспективы построения системотехнической теории в соответствии со вторым идеалом.

В практической системотехнической деятельности решение задачи создания новой системы заключается в сочетании представлений различных научных дисциплин с инженерными представлениями без сведения их к единому теоретическому изображению. Чтобы решить эту задачу в теоретической сфере, необходимо представить данную «синкретическую» схему в виде системы однородных описаний (для разных режимов функционирования). В системотехнике используется два типа таких однородных схем — обобщенные поточные (или алгоритмические) и структурные схемы. Первые были обобщены в кибернетике и стали рассматриваться в плане преобразования вещества, энергии и информации. Они фактически являются идеализированным представлением функционирования любой системы и исходным пунктом программирования на ЭВМ (это обеспечивает связь с соответствующими функциональными схемами, зафиксированными в теории программирования [25, 39]). Вторые на основе обобщения различного рода структурных схем — теории автоматического регулирования [16, 53], теории сетей связи [55], теории синтеза релейно-контактных схем [102] и логических схем вычислительных машин [27], а также применяемых в конкретных социально-экономических исследованиях [92] — развиваются в так называемый структурный анализ сложных систем [48, 49, 93]. Такие унифицированные абстрактные структурные схемы позволяют «изучать объект в наиболее общем и чистом виде». «Так, при структурных исследованиях систем автоматического регулирования в них не остается иного содержания, кроме связей, их числа, дифференциального порядка, знака и конфигурации... Уделяя основное внимание выявлению взаимных связей между элементами системы и тем самым выдвигая на первое место структуру системы, а не состав ее отдельных компонентов, получаем возможность единообразно исследовать различные по своей природе системы» [48, с. 11-12]. Дальнейшая манипуляция с моделью может быть осуществлена с помощью адекватных решаемой задаче алгоритмических языков имитационного моделирования. В них на основе данной структурной схемы составляется поточная (алгоритмическая) схема функционирования модели (системы), которая автоматически преобразуется в соответствующую функциональную (математическую) схему.

Таким образом, чтобы разработать систему однородных описаний сложных систем, необходимо:

1) провести обобщение различного типа структурных и алгоритмических (поточных) схем, применяемых в различных областях науки и техники;

2) задать (выявить) четкие правила эквивалентного преобразования «синкретических» схем системотехники в однородные структурные и поточные схемы, т.е. правила их построения и операции тождественного преобразования (такие исследования уже проводятся в рамках вышеупомянутого структурного анализа и теории программирования);

3) поставить их в соответствие функциональным (математическим) схемам, наиболее часто употребляемым в системотехнике (Классификация таких математических схем дана, например, в работе [8]) (для этого необходимо проанализировать и обобщить концептуальный аппарат и соответствующий ему «образ объекта», содержащийся имплицитно в различных алгоритмических языках имитационного моделирования, адекватных указанным выше математическим схемам).

Тогда «синкретическое» описание любой сложной системы, принадлежащей к классу системотехнических, может быть представлено в зависимости от режима ее функционирования и решаемой инженерной задачи по установленным правилам в виде определенной однородной сначала структурной, а затем и поточной схемы. Для каждой данной системы может быть построено несколько взаимодополняющих схем, которые в свою очередь могут быть по специально разработанным для этого правилам с помощью наиболее подходящего для данного случая алгоритмического языка имитационного моделирования преобразованы в соответствующую математическую модель, с которой осуществляется (если, конечно, в этом есть необходимость) ряд манипуляций на ЭВМ. Синтезированные ЭВМ решения (или несколько альтернативных решений) с помощью однородных поточных и структурных схем системотехники (которые еще только требуется создать) транслируются на уровень «синкретических» структурных схем и лишь после этого становятся пригодными для использования в инженерной практике.

Таким образом, в настоящее время образовался определенный «разрыв» между слоями «синкретических» структурных схем системотехники, ориентированных на конкретные инженерные задачи, и различных функциональных схем сложного инженерного объекта. Для преодоления этого «разрыва» необходимо развитие особого промежуточного слоя системных представлений, зафиксированных в специфическом графическом изображении, — однородных поточных и структурных схемах. Они в системотехнике обладают определенной спецификой по сравнению с классическими научно-техническими дисциплинами, поскольку не могут быть заимствованы из какой-либо естественнонаучной теории, а транслируются из методологической сферы системного подхода и общей теории систем.

Независимо от того, будет ли построена в итоге универсальная математическая модель (эта точка зрения выражена, например, в работах [7, 8, 36]) или сохранится многообразие математических моделей, зафиксированных в различных языках имитационного моделирования, слои поточных и структурных схем позволят синтезировать различные функциональные (математические) схемы сложной системы и транслировать полученные результаты на уровень «синкретических» схем (это относится и к проблеме описания и моделирования и самой системотехнической деятельности [57]). Здесь весьма продуктивным, с нашей точки зрения, является применение широко известного в методологической литературе понятия «конфигуратор» (см., например, [59, с. 15-23, 61-67, 73-78]).

Полученные в результате имитационного моделирования различные схемы сложного инженерного объекта (отражающие разные его аспекты и режимы функционирования) должны быть представлены в виде особого «устройства» — конфигуратора, синтезирующего

эти схемы в единое системное изображение («конфигуроид»). Такого рода синтез будет достаточно сложным, поэтому, вероятно, он также должен осуществляться с помощью ЭВМ.

Таким образом, задача построения математизированной системотехнической теории заключается сегодня главным образом в развитии обобщенных структурных и поточных теоретических схем (и соответствующих им способов графического изображения), поскольку самую большую трудность в настоящее время вызывает в первую очередь содержательное системное описание имитационной модели в некоторой стандартной форме. (Формализация этого описания не составляет большого труда, так как может производиться автоматически.) Причем конфигуратор, который строится из обобщенных структурных и поточных схем, с одной стороны, должен синтезировать различные математические имитационные модели, а с другой — комплексные системные модели сложного инженерного объекта. Проблема заключается в том, чтобы нормировать и унифицировать процедуры построения такого конфигулятора.

Системотехника является продуктом развития традиционной инженерной деятельности и проектирования и первоначально мало отличалась от них. Однако с возрастанием сложности систем, появлением новых прикладных дисциплин, выработкой системных принципов и т.д. системотехника постепенно становится качественно новым этапом в развитии инженерной деятельности.

Такие виды и области инженерной деятельности, как, с одной стороны, проектирование, конструирование, разработка технологии, отладка и т.п., а с другой — радиоэлектроника, химическая технология, инженерная экономика, разработка средств общения человека и машины и т.д., претерпевают в системотехнике существенные изменения. Они оказывают значительное влияние друг на друга. Необходимость ориентации на системотехническую деятельность в целом предъявляет к ним специфические требования, видоизменяет их.

В то же время традиционные виды и области инженерной деятельности продолжают существовать и развиваться и вне системотехники, независимо от нее. Естественно, что, скажем, проектирование радиоэлектронных устройств как самостоятельная сфера инженерной деятельности в рамках системотехники существенно отличаются друг от друга. В последнем случае специалист по радиоэлектронике должен учитывать влияние и потребности других видов системотехнической деятельности и их общий конечный продукт. Поэтому особое значение приобретает деятельность, направленная на организацию, научно-тематическую координацию и руководство всеми видами системотехнической деятельности, а также на стыковку и интеграцию частей системы в единое целое. Именно эта деятельность является «ядром» системотехники и определяет в конечном счете ее специфику, ее комплексный и системный характер.

Таким образом, системотехника, развиваясь неклассическим, нестандартным путем, отличается от классических научно-технических дисциплин прежде всего тем, что в последних теория строилась под влиянием определенной базовой естественнонаучной дисциплины и именно из нее заимствовались первоначально теоретические средства и образцы научной деятельности. Для системотехники такой базовой дисциплины нет, так как она обусловлена необходимостью решения комплексных инженерных задач, требующих участия представителей многих научных дисциплин (математических, технических, естественных и даже общественных). Инженерная деятельность по самому своему смыслу должна опираться на научные разработки, поэтому в системотехнике и возникает задача проведения особого комплексного теоретического исследования сложных систем.

Использование и развитие системного подхода в системотехнике определяет ее специфику как комплексной научно-технической дисциплины. Как это видно из исследования, проведенного в книге, системные представления являются конкретно-методологическим

средством описания как сложного инженерного объекта, так и системотехнической деятельности.

В результате исследования проблемы синтеза в системотехнике мы выделили два уровня синтеза системотехнических знаний: первый соответствует одноаспектному, а второй — комплексному теоретическому исследованию. Одноаспектное исследование должно проводиться в системотехнике не только в плане исследования, т.е. представления сложного инженерного объекта в различных научных дисциплинах, но и в планах проектирования, изобретения, конструирования, изготовления и эксплуатации сложного инженерного объекта. Специфика данного исследования заключается не только в его комплексности, но и в более жесткой, чем у любых других исследований, ориентации на инженерную практику.

Список литературы

1. Ахутин А.В. История принципов физического эксперимента (от античности до XVII в.). — М.: Наука, 1976.
2. Баженов Л.Б. Строеие и функции естественнонаучной теории. — М.: Наука, 1978.
3. Блауберг И.В., Садовский В. Н., Юдин Б. Г. Философский принцип системности и системный подход. — Вопросы философии, 1978, № 8.
4. Блауберг И.В., Юдин Б.Г. Понятие целостности и его роль в научном познании. — М.: Знание, 1972.
5. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. — М.: Наука, 1973.
6. Большие системы: Теория, методология, моделирование. — М.: Наука, 1971.
7. Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. — М.: Наука, 1977.
8. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. — М.: Наука, 1978.
9. Быстров Г. В., Покровский В. А. Конспект лекций по курсу «Планирование, организация и управление созданием больших технических систем». — М.: МАИ, 1971.
10. Виговский В.Г. Методологические проблемы исследования сложных технических систем. — Вопросы философии, 1978, № 9.
11. Вильяме Т. Дж. Проектирование химико-технологических процессов средствами системотехники: Пер. с англ./Под ред. И.И. Иоффе и Б.В. Вольтера. — М., Л.: Химия, 1967.
12. Волчков Б.А., Романенко И.П. Основы разработки автоматизированных систем планирования. — М.: Экономика, 1974.
13. Вопросы конкретных системных исследований: Материалы семинара. — М.: МДНТП, 1970.
14. Второй семинар по системотехнике: Тезисы докл. — Л.: НТОРЭС им. А. С. Попова, 1971.
15. Гаазе-Рапопорт М.Г. Кибернетика и теория систем. — В кн.: Системные исследования. Ежегодник 1973. — М.: Наука, 1973.
16. Гальперин И. И. Синтез систем автоматики. — М., Л.: Энергоиздат, 1960.
17. Гаспарский В. Праксеологический анализ проектно-конструкторских разработок: Пер. с польск./Под ред. А. И. Половинкина. — М.: Мир, 1978.
18. Горохов В.Г. Проблема формирования теории в технической науке. — В кн.: Методологические проблемы взаимодействия общественных, естественных и технических наук. — М.: Наука, 1981.
19. Горохов В.Г. Системотехника и управление. — М.: Знание 1979.

20. Горохов В.Г., Ренжин В.И. Этапы и фазы разработки АСУ. — Вопросы радиоэлектроники. Сер. ОТ (АСУ), 1974, вып. 11.
21. Гуд Г.Х., Макол Р.Э. Системотехника. Введение в проектирование больших систем: Пер. с англ./Под ред. Г. Н. Поварова. — М.: Сов. радио, 1962.
22. Дал У. И. Языки моделирования систем с дискретными событиями. — В кн.: Языки программирования. — М.: Мир, 1972.
23. Дал У.И., Мюрхауг Б., Нигард К. Симула-67. Универсальный язык программирования: Пер. с англ./Пер. К. С. Кузьмина и Е. И. Яковлева. — М.: Мир, 1969.
24. Дал У.И., Нигард К. Симула — язык программирования и описания систем с дискретными событиями. — Алгоритмы и алгоритмические языки/ВЦ АН СССР. — М., 1967, вып. 2.
25. Ершов А.П. Введение в теоретическое программирование. — М.: Наука, 1977.
26. Дружинин В. В., Конторов Д. С. Проблемы системотехники (проблемы теории сложных систем). — М.: Сов. радио, 1976.
27. Захаров В.Н., Поспелов Д.Н., Хазацкий В.Е. Системы управления: Задание. Проектирование. Реализация. — М.: Энергия, 1980.
28. Зеленецкий Я. Организация трудовых коллективов. Введение в теорию организации управления: Пер. с польск./Под ред. Г. Э. Слезингера. — М.: Прогресс, 1971.
29. Иванов Б.И., Чешев В.В. Становление и развитие технических наук. — Л.: Наука, 1977.
30. Инженерно-психологическое проектирование. — М.: МГУ, 1970, вып. 1, 2.
31. Исследования по общей теории систем: Пер. с англ./Под ред. В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина. — М.: Прогресс, 1969.
32. Каган Б.М., Михайлюк А.В. Систематика языков описания и моделирования вычислительных систем. — В кн.: Обработка данных в системах управления: Материалы семинара. — М.: МДНТП, 1973.
33. Коммуникации в современной науке. — М.: Прогресс, 1976.
34. Квасницкий В.Н., Левинтов А.Г., Юрин О.Н. Электрические схемы в радиоэлектронике и приборостроении. — М.: Связь, 1971.
35. Кулик В.Г. Современная теория организации систем — системотехника. — Киев: КДНТП, 1971.
36. Кухтенко А.И. Об аксиоматическом построении математической теории систем. — В кн.: Кибернетика и вычислительная техника. — Киев: Наукова Думка, 1976, вып. 31.
37. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. — М.: Политиздат, 1975.
38. Логика и методология науки. — М.: Наука, 1967.
39. Ляпунов А. А. Проблемы теоретической и прикладной кибернетики. — М.: Наука, 1980.
40. Маркович Г., Хауснер Б., Карр Г. СИМСКРИПТ — алгоритмический язык для моделирования: Пер. с англ./Под ред. Н. П. Бусленко. — М.: Сов. радио, 1965.
41. Мартин Ф. Моделирование на вычислительных машинах: Пер. с англ./Под ред. И.Н. Коваленко. — М.: Сов. радио, 1972.
42. Методологические проблемы исследования деятельности. — Труды ВНИИТЭ. Эргономика. — М., 1976, вып. 10.
43. Методологические проблемы системотехники. — Л.: Судостроение, 1970.
44. Микулинский С.Р. Некоторые проблемы организации научной деятельности и ее изучение. — В кн.: Организация научной" деятельности. — М.: Наука, 1968.
45. Мирский Э.М. Междисциплинарные исследования и дисциплинарная организация науки. — М.: Наука, 1980.

46. Наука — техника — управление. Интеграция науки, техники и технологии, организации и управления в Соединенных Штатах Америки: Пер. с англ./Под ред. В.С. Казаковцева. — М.: Сов. радио, 1966.
47. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделям» экономических систем: Пер. с англ./Под ред. А. А. Петрова. — М.: Мир, 1975.
48. Нечипоренко В. И. Структурный анализ и методы построения. надежных систем. — М.: Сов. радио, 1968.
49. Нечипоренко В. И. Структурный анализ систем (эффективность и надежность). — М.: Сов. радио, 1977.
50. Никаноров С. П. Системный анализ и системный подход. — В кн.: Системные исследования. Ежегодник 1971 — М.: Наука, 1972.
51. Николаев В. И. Основы науки управления: Учебное пособие. — В 2-х ч. — Л.: СЗПИ, 1976, 1977.
52. Паладиев Н. М. К вопросу о системотехнике как науке. — Проблемы деятельности ученого и научных коллективов/ИИЕТ АН СССР. — Л., 1971, вып. 4.
53. Петров Б. Н. О построении и преобразовании структурных схем. — Изв. АН СССР, 1945, № 12.
54. Петров Б. Н., Поспелов Г. С. О путях развития больших систем управления. — Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1966, № 2.
55. Поваров Г. Н. О структурной теории сетей связи. — Проблемы передачи информации. — М.: Изд-во АН СССР, 1959, вып. 1.
56. Полляк Ю. Г. Вероятностное моделирование на ЭВМ. — М.: Сов. радио, 1971.
57. Поспелов Г. С., Тейман А. Н. Автоматизация процесса управления разработками больших систем или сложных комплексов. — Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1963, № 4.
58. Проблемы больших систем: Материалы семинара. — М.: МДНТП, 1974.
59. Проблемы исследования систем и структур: Материалы конференции. — М.: Изд-во АН СССР, 1965.
60. Проблемы исследования структуры науки. — Новосибирск: Гос. ун-т, 1967.
61. Проблемы методологии в эргономике. — М., 1979. — (Труды ВНИИТЭ. Эргономика, вып. 17).
62. Проблемы методологии системного исследования. М.: Мысль, 1970.
63. Проблемы системотехники. — Л.: Судостроение, 1972, вып. 1-3.
64. Проблемы системотехники: Материалы III Всесоюз. симп., II—13 дек. 1974 г. — Л.: Судостроение, 1976.
65. Проблемы системотехники. — Л.: Судостроение, 1980.
66. Проблемы системотехники и АСУ/СЗПИ. — Л., 1978.
67. Программные средства моделирования непрерывно дискретных систем/Глушков В. М., Гусев В. В., Марьянович Т. П. — Киев: Наукова Думка, 1975.
68. Радиоэлектронная промышленность США. — М., Л.: Госэнер-гоиздат, 1958.
69. Разработка и внедрение автоматизированных систем в проектировании (теория и методология). — М.: Стройиздат, 1975.
70. Ржевский В. В. Задачи горной науки в деле дальнейшего совершенствования горного производства. — Научные труды/ МИРЭГМ. — 1962, № 46.
71. Рузавин Г. И. Математизация научного знания. — Общественные науки, 1978, № 2.
72. Рыбальский В. И. Проектирование и создание больших производственных систем. — М.: Экономика, 1971.
73. Садовский В. Н. Основания общей теории систем. — М.: Наука, 1974.

74. Синтез современного научного знания. — М.: Наука, 1973.
75. Системные исследования: Методологические проблемы. Ежегодник 1979. — М.: Наука, 1980.
76. Системный анализ и научное знание. — М.: Наука, 1978.
77. Смольков Л.П., Роженков Е.Т. Элементы системотехники: Учеб. пособие. — Минск: Радиотехн. ин-т, 1974.
78. Смолян Г. Л. Человек и компьютер (Социально-философские аспекты автоматизации управления и обработки информации). — М.: Политиздат, 1981.
79. Специфика технических наук/ИИЕТ. — М., 1974.
80. Справочник по системотехнике: Пер. с англ./Под ред. А. В. Шилейко. — М.: Сов. радио, 1970.
81. Степин В. С. Становление научной теории. — Минск: БГУ, 1976.
82. Темников Ф. Е. Вопросы теории и методологии систем: системотехника. — Труды МЭИ, 1973, вып. 158.
83. Темников Ф. Е. Проблемы управления народным хозяйством и радиоэлектроника. — М.: Знание, 1975.
84. Третий семинар по системотехнике: Тезисы докл. — Л.: НТОРЭС им. А. С. Попова, 1972.
85. Уемов А. И. Системный подход и общая теория систем. — М.: Мысль, 1978.
86. Уилсон А., Уилсон М. Информация, вычислительные машины и проектирование систем: Пер. с англ./П&р. И. Н. Коваленко, М. В. Воронова. — М.: Мир, 1968.
87. Управление, информация, интеллект. — М.: Мысль, 1976.
88. Урсул А.Д. Общенаучный статус и функции системного подхода. — В кн.: Системные исследования. Ежегодник 1977. — М.: Наука, 1977.
89. Федоренко Н.П. Проблема автоматизации проектирования АСУ и пути ее решения. — В кн.: Типизация и автоматизация процессов проектирования АСУ: Материалы Всесоюз. семинара. — Душанбе: Дониш, 1972.
90. Флейшман Б.С. Сложность, эффективность и осуществимость. — Автоматика, 1980, № 4.
91. Холл А.Д. Опыт методологии для системотехники: Пер. с англ./Под ред. Г. Н. Поварова. — М.: Сов. радио, 1975.
92. Хофер А., Герхард Г. Графические методы в управлении: Пер. с нем./Пер. Ю. Битюкова, К. Ивановой, Ю. Черняка. — М.: Экономика, 1971.
93. Цвиркуи А.Д. Структура сложных систем. — М.: Сов. радио, 1975.
94. Черняк В.С. О природе научной теории. — Вопросы философии, 1977, № 6.
95. Честнат Г. Техника больших систем (средства системотехники): Пер. с англ./Под ред. О.И. Авена. — М.: Энергия, 1969.
96. Чешев В. В. Техническое знание как объект методологического анализа. — Томск: Гос. ун-т, 1981.
97. Шаркшанэ А.С., Железнов И.Г., Ивницкий В.А. Сложные системы: Учеб. пособие. — М.: Высшая школа, 1977.
98. Швырев В. С. Теоретическое и эмпирическое в научном познании. — Вопросы философии, 1975, № 2.
99. Шеменев Г.И. Философия и технические науки. — М.: Высшая школа, 1979.
100. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем: искусство и наука. — М.: Мир, 1978.
101. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на QPSS: Пер. с англ./Под ред. М. А. Файнберга. — М.: Машиностроение, 1980.

102. Шэннон К. Работы по теории информации и кибернетике. — М.: Сов. радио, 1963.
103. Щедровицкий Г.П. Об исходных принципах анализа проблемы обучения и развития в рамках теории деятельности. — В кн.: Обучение и развитие. — М.: Просвещение, 1966.
104. Щедровицкий Г.П. Проблемы методологии системного исследования. — М.: Знание, 1964.
105. Щедровицкий Г.П. Проблемы построения системной теории сложного популяционного объекта. — В кн.: Системные исследования. Ежегодник 1975. — М.: Наука, 1976.
106. Щедровицкий Л.П. и др. Проблемы системного инженерно-психологического проектирования. — М.: МГУ, 1971.
107. Юдин Б.Г. Понятие целостности в структуре научного знания. — Вопросы философии, 1970, № 12.
108. Юдин Э.Г. Системный подход и принцип деятельности. — М.: Наука, 1978.