

Е. П. Балашов

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ



МОСКВА
«РАДИО И СВЯЗЬ»
1985

ББК 32.81
Б20
УДК 007

Балашов Е. П.

Б20 Эволюционный синтез систем.— М.: Радио
и связь, 1985, 328 с., ил.
В пер.: 3 р. 20 к.

Рассматривается методология синтеза систем, базирующаяся на закономерностях развития антропогенных (искусственных) систем. Используется функционально-структурный подход к синтезу структуры сложных многоуровневых систем, основное внимание уделяется системам обработки информации и биотехническим системам. Исследуются также два новых класса систем: многофункциональные регулярные вычислительные структуры и многофункциональные запоминающие устройства.

Для научных работников, занимающихся проектированием и научным прогнозированием развития информационно-управляющих систем.

Б 1502000000—040
046(01)—85 1—84

ББК 32.81
6Ф0.1

Рецензенты: докт. техн. наук проф. Э. В. ЕВРЕИНОВ, Э. Л. НАППЕЛЬБАУМ,
кандидаты техн. наук И. А. АПОКИН и В. М. РОДИОНОВ

Редакция литературы по кибернетике и вычислительной технике

ЕВГЕНИЙ ПАВЛОВИЧ БАЛАШОВ
ЭВОЛЮЦИОННЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ

Научный редактор Ю. В. Сачкоп
Редактор Н. Д. Иванушко
Худ. редактор Н. С. Шеин
Художник В. Н. Давыдов
Техн. редактор А. Н. Золотарева
Корректор Т. В. Дзедидович

ИБ № 821

Сдано в набор 06.07.84 г. Подписано в печать 07.01.85 г.
Т-04303. Формат 84×108/32. Бумага кн.-журнальная. Гарнитура литературная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 17,22. Усл. кр.-отт. 17,22. Уч.-изд. л. 19,4. Тираж 3650 экз.
Изд. № 19699. Зак. № 363. Цена 3 р. 20 к.
Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
129041, Москва, Б. Переяславская ул., д. 46

© Издательство «Радио и связь», 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

Книга посвящена методологическим проблемам технических наук, разработка которых рассматривается как одно из направлений философских исследований в Постановлении ЦК КПСС «О мерах по дальнейшему развитию общественных наук и повышению их роли в коммунистическом строительстве». Особое внимание уделяется системному методу исследования, его функционально-структурному аспекту. Исследование, основанное на диалектико-материалистической методологии и синтезе современного научного знания, служит укреплению связей общественных, естественных и технических наук, марксистско-ленинской философии и практики.

На основе материалистической диалектики как общей теории развития и обобщения данных технических наук и инженерной практики в книге разработана концепция функционально-структурного подхода к анализу и синтезу антропогенных систем. В ней сформулированы и обоснованы следующие особенности и закономерности развития технических систем:

закономерность сохранения основных функций развивающихся систем;

закономерность относительного и временного разрешения противоречий в антропогенных системах;

закономерность повышения функциональной и структурной целостности систем;

закономерность преемственности функционально-структурной организации многоуровневых систем;

закономерность адекватности функционально-структурной организации назначению систем;

принцип многофункциональности, становящийся взаимосвязь изменений функций и структуры многоуровневых систем в процессе развития и определяющий основные тенденции и этапы развития антропогенных систем.

В книге излагается разработанная автором методология эволюционного синтеза антропогенных систем. Установлена диалектическая взаимосвязь этапов анализа и синтеза антропогенных систем.

Во введении отражены современные процессы интеграции и дифференциации научного знания.

В первой главе выделены основные аспекты функционально-структурного подхода к анализу и синтезу систем. Детально исследована взаимосвязь функции и структуры в процессе развития систем.

В гл. 2—4 отражены определенные тенденции (направленность) процесса развития антропогенных систем, особенности (закономерности) развития антропогенных систем и закономерности совершенствования их функционально-структурной организации. При этом выделены основные системные процессы с последующим анализом вещественно-энергетической и информационной целостности систем.

Вторая часть работы посвящена решению малоисследованной проблемы структурного синтеза систем. На основе выявленных закономерностей развития и обобщения опыта создания сложных систем автором сформулирована и разработана методология эволюционного синтеза систем. В работе исследованы вопросы синтеза вычислительных, информационно-управляющих и биотехнических систем различного функционального назначения.

В книге рассмотрены основные тенденции развития современных технических систем:

ресурсосберегающие и экологически чистые комплексы как системы с высоким уровнем функциональной и структурной интеграции,

гибкие автоматические производственные системы и робототехнические комплексы.

Учитывая единство материального мира, проведена аналогия в процессе развития биологических и антропогенных систем.

В целом работа написана на высоком философско-методологическом уровне и является конструктивным, практическим ответом на задачи усиления единства общественных, естественных и технических наук, поставленные XXVI съездом КПСС.

Докт. филос. наук проф. Ю. В. Сачков

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящей работе рассматриваются закономерности эволюции антропогенных систем. Основное внимание уделяется техническим системам.

Анализ наиболее сложных современных систем — информационно-управляющих и биотехнических комплексов — позволяет наиболее отчетливо выявить закономерности развития антропогенных систем. В основу анализа и синтеза антропогенных систем положен функционально-структурный подход. В качестве «клеточки» рассмотрения принята функционально-структурная организация системы, соответствующая конкретному уровню рассмотрения.

В работе излагается разработанная автором методология эволюционного синтеза систем. Формулируется стратегия и рассматриваются основные фазы и этапы эволюционного синтеза. Основное внимание уделяется структурному синтезу многоуровневых систем.

Выделение основных системных процессов — преобразования (переработки), хранения (задержки), транспорта (обмена) вещества, энергии и информации, а также управления соответствующими процессами — позволяет проводить целостный анализ и синтез антропогенных систем. Это исключительно важно как при анализе сложных систем, так и при формировании структуры таких современных систем, как робототехнические комплексы, гибкие автоматические и автоматизированные производства, системы экспресс-диагностики и управления функциональным состоянием биообъекта.

Работа нацелена на осмысливание многовекового опыта создания эффективных систем, анализ закономерностей развития антропогенных систем и формирование методологии их синтеза, учитывающих преемственность их развития и ориентированных на максимальное использование ресурсосберегающих технических средств и технологий, направлена на решение задач, связанных с переходом народного хозяйства на интенсивный путь развития.

В предисловии к книге «ЭВМ пятого поколения. Концепции, проблемы, перспективы» акад. Е. П. Велихов отмечает [107], что «...все мы ... пользуемся огромным запасом неосознанных знаний, навыков и умений, сформировавшихся на протяжении длительной эволюции человечества и отвечающих основным условиям нашего существования».

Методология эволюционного синтеза, основанная на едином функционально-структурном подходе к анализу и синтезу и выявленных объективных закономерностях развития антропогенных систем, широко использует принципы функционально-структурной организации систем-прототипов и эвристические приемы интеграции и дифференциации функций и структур при создании систем нового поколения.

Комплекс вопросов, излагаемых в монографии, в отечественной и зарубежной научной литературе рассматривается впервые.

При работе над книгой были учтены многочисленные замечания и пожелания рецензентов: лауреата Ленинской премии докт. техн. наук проф. Э. В. Евреинова, а также сотрудников Всесоюзного научно-исследовательского института системных исследований и Института истории естествознания и техники АН СССР.

Автор приносит большую благодарность рецензентам и научному редактору книги зам. директора Института философии АН СССР докт. филос. наук проф. Ю. В. Сачкову.

Автор считает также своим долгом выразить благодарность за высказанные замечания и пожелания по этой работе чл.-корр. АН СССР докт. техн. наук проф. А. А. Вавилову, чл.-корр. АН СССР докт. техн. наук проф. Г. П. Лопато, чл.-корр. АН СССР докт. филос. наук проф. С. Т. Мелюхину, чл.-корр. АН СССР докт. техн. наук проф. В. И. Сифорову и лауреату Ленинской премии докт. техн. наук проф. Я. А. Хетагурову.

Ни одна мысль, ни одна попытка, ни одна неудача, ни одна ошибка не остается без последствий. Все это западает в умы людей, зреет и развивается в них незаметно и потом вдруг воплощается в новом перевороте.

Д. И. Писарев

ВВЕДЕНИЕ

АНТРОПОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Человечество находится накануне третьего тысячелетия. Этот заметный рубеж в истории требует осмысливания основных закономерностей развития систем, созданных человеком, и критической оценки свершившегося и происходящего во имя будущего.

Вся человеческая деятельность направлена на удовлетворение общественных и личных потребностей, при удовлетворении этих потребностей люди взаимодействуют с окружающей природой и вступают в определенные отношения друг с другом. В ходе такой целесообразной деятельности человеком создаются непрерывно усложняющиеся и более эффективно действующие системы — антропогенные системы (АГС)¹. Для научно обоснованного управления обществом необходимо глубокое знание закономерностей функционирования и развития социально-экономических систем, по отношению к которым антропогенные системы выступают как подсистемы.

В общем случае закономерности отражают объективно существующие, повторяющиеся, существенные связи явлений реального мира или этапов исторического развития систем определенного класса.

Игнорирование концепции развития в процессах проектирования, производства и эксплуатации систем приводит к созданию нежизнеспособных систем.

Если производительные силы в обществе развиваются стихийно, то это приводит к порождению большого числа систем аналогичного целевого назначения. В таком случае срабатывает механизм конкуренции, близкий по сути к закону «естественного отбора», что приводит к «гибели» значительного числа неконкурентоспособных систем и, следовательно, к неоправданно значительным издержкам в расходе трудовых, материальных и энергетических ресурсов.

¹ Антропогенные системы (греч. anthrôpos — человек, genesis — происхождение, становление развивающегося явления) — системы, созданные в результате сознательно направленной человеческой деятельности.

Антропогенные системы предназначаются для производства благ, удовлетворяющих экономические, социальные и оборонные потребности общества. К этим системам относятся различные материальные и идеальные системы: промышленность, сельское хозяйство, транспорт, связь, социальные институты, наука, искусство и т. д.

В настоящей работе рассматриваются антропогенные системы, которые принято относить к классу технических. Таким образом, за рамками исследования остаются другие классы антропогенных систем: социальные системы, системы логических умозаключений, системы научных истин и др. Однако основные положения и результаты работы могут быть использованы при анализе и синтезе более широкого класса антропогенных систем. При таком ограничении класс антропогенных систем (АГС) может быть определен как совокупность искусственно создаваемых и совершенствуемых материальных систем с определенной функционально-структурной организацией, используемых для удовлетворения потребностей общества.

В настоящее время существует определенный разрыв между фундаментальными принципами и законами материалистической диалектики, с одной стороны, и частными методами и методиками, используемыми в технических науках — с другой стороны, и чтобы его преодолеть, нужно обратить внимание на вещи, которыми обычно представители технических наук пренебрегают, — на исследование общих закономерностей развития систем и анализ трудностей и противоречий, возникающих на практике, в процессе разработки прикладных методов и методик создания систем определенного функционального назначения.

Конкретизация законов марксистской философии в закономерностях развития систем конкретного класса позволяет создать теоретическую базу для разработки новых методик, учитывающих концепцию и логику развития систем, что жизненно важно для общества с планомерным развитием производительных сил и производственных отношений.

Если в традиционной трактовке понятие техники связывается в основном с производством материальных благ, то предложенное выше понятие класса антропогенных систем, включающее также непродуцированную сферу, является более общим.

В данном определении отражены три свойства АГС: ее целевое назначение, взаимосвязь функций и структуры, непрерывность развития.

Если традиционные технические системы основывались на преимущественном использовании простейших форм движения материи, то для современных АГС характерно комплексное использование различных форм движения материи, включая наиболее сложные. В определенном смысле, как одну из наиболее простых АГС, можно рассматривать совокупность «человек — орудие труда — предмет труда» в процессе их взаимодействия.

Совершенствование орудий труда привело к созданию машин, систем машин, автоматизированных (человеко-машинных) систем, многоуровневых автоматических и автоматизированных систем и комплексов. Естественно, возможна классификация антропогенных систем, рассматривающая АГС с различных сторон:

- по целевому назначению (реализуемым функциям),
- по принципам функционально-структурной организации,

- по виду используемых материальных носителей,
- по типу наиболее характерных процессов и т. д.

В функциональном аспекте могут быть выделены следующие системы (классы АГС): технологические, энергетические, транспортные, информационно-управляющие, биотехнические.

Выделенные классы отражают историческое развитие АГС, обусловленное обслуживанием и замещением все более сложных видов человеческой деятельности.

АГС используются в различных отраслях народного хозяйства, в обороне страны, в государственном управлении, культурно-бытовом обслуживании населения, при выполнении научных исследований и т. д.

В свою очередь, каждый из выделенных классов может быть разбит на отдельные виды систем. Так, например, в классе энергетических систем могут быть выделены следующие:

- системы, связанные с производством первичной энергии (получение тепловой энергии в атомных и тепловых электростанциях);

- системы, осуществляющие трансформацию и преобразование одного вида энергии в другой (в частности, получение электроэнергии);

- системы передачи и распределения энергии (высоковольтные линии электропередач, системы подачи сжатого воздуха, пара);

системы конечного преобразования энергии (электродвигатели, отопительные системы, системы освещения, высокочастотные установки, холодильная техника и т. д.).

В классе информационно-управляющих систем выделяются:

системы обработки данных (электронные вычислительные машины и комплексы);

системы связи (радиосвязь, проводная и кабельная связь, оптические системы связи, спутниковые системы связи и т. д.);

системы управления (автоматические и автоматизированные системы управления подвижными объектами, технологическим оборудованием, средствами вооружения и т. д.).

Биотехнические системы (БТС) представляют собой совокупность биологических и технических элементов, объединенных в единую функциональную систему целенаправленного поведения. По характеру основной целевой функции БТС можно разделить на четыре вида:

системы диагностики (кардиомониторные системы для палат интенсивной терапии, автоматизированные системы многопрофильной оценки здоровья);

системы управления функциональным состоянием биологических объектов (системы воздействий на живой организм различными полями, системы воздействия на биологически активные точки, системы аппаратного аутотренинга, системы управления поведением живых организмов и т. д.);

системы компенсации утраченных функций (кардиостимуляторы, миостимуляторы, системы искусственного кровообращения, системы гемодиализа, системы протезирования с управлением биотоками и т. д.);

биотехнологические системы (системы биосинтеза лекарственных препаратов и кормовой массы, системы биологической очистки и т. д.).

Автор осознает целевую направленность и, следовательно, ограниченность предложенной классификационной схемы АГС. Развернутая классификационная схема АГС требует серьезной специальной проработки.

Следует отметить, что границы выделенных классов не являются жесткими, и в реальном мире существуют АГС, представляющие композицию систем различных видов. Примерами такой композиции являются единая энергетическая система страны, робототехнические комплексы, гибкие автоматические и автоматизированные производства и т. д.

В зависимости от степени стабильности функционально-структурной организации могут быть выделены две группы АГС — статические и динамические системы. Статические АГС характеризуются относительной устойчивостью функционально-структурной организации и фактическим отсутствием активного обмена веществом, энергией и информацией с внешней средой. К этой группе систем относятся: строительные конструкции, архитектурные и ирригационные сооружения, транспортные магистрали и т. д. Большинство АГС относится к группе динамических систем и для них характерны непрерывные и дискретные процессы преобразования и обмена вещества, энергии и информации. Далее в настоящей работе основное внимание уделяется наиболее многочисленной и сложной группе АГС — динамическим антропогенным системам. Однако основные положения могут быть распространены и на группу статических АГС.

ИНТЕГРАЦИЯ И ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СОВРЕМЕННОГО НАУЧНОГО ЗНАНИЯ

Антропогенные системы в процессе развития образуют техносферу как органический элемент среды обитания человека.

Естественно, что понимание сложности процессов реального мира, правильное понимание современной эпохи с учетом достижений научно-технической революции возможно только при анализе всего спектра современного научного знания. Материальное единство мира является общим обоснованием для всех областей знания.

«Наука представляет собой внутренне единое целое. Ее разделение на отдельные области обусловлено не столько природой вещей, сколько ограниченностью способности человеческого познания. В действительности существует непрерывная цепь от физики и химии, через биологию и антропологию к социальным наукам, цепь, которая ни в одном месте не может быть разорвана, разве лишь по произволу», — так характеризовал единство научного знания Макс Планк [35].

Единство мира как цельной системы не исключает, а предполагает качественное многообразие явлений. Именно это многообразие и является объективным основанием дифференциации научного знания. Диалектика единства и многообразия обуславливает общность

естествознания и обществоведения, сохраняя при этом их существенное различие.

Выяснение процессов возникновения, формирования, становления и дальнейшего развития качественно своеобразных систем, процессов развития в природе и обществе, изучение процессов перехода от простого к сложному, исследование процессов синтеза систем в реальном мире одновременно предполагает и их анализ.

«Усложнение динамики и противоречивости современного мирового развития связано и с развертыванием научно-технической революции, ставшей одним из важнейших всемирно-исторических, глобальных процессов современности. Натолкнувшись на устаревшие буржуазные производственные отношения, научно-техническая революция привела к еще большему обострению противоречий капитализма... Для мировой социалистической системы научно-техническая революция является закономерным фактором развития общества... Социализм сознательно ставит научно-техническую революцию на службу социальному прогрессу», — отметил акад. П. Н. Федосеев на годичном Общем собрании АН СССР в 1982 году. В материалах XXIV, XXV, XXVI съездов Коммунистической партии Советского Союза, в постановлениях ЦК КПСС, в решениях АН СССР неоднократно отмечалась необходимость углубления взаимосвязи общественных, естественных и технических наук в интересах решения кардинальных проблем научно-технического и социального прогресса, повышения роли марксистско-ленинской философии в развитии фундаментальных и прикладных исследований, а также в инженерной деятельности.

Развитие науки, как отмечалось на XXVI съезде КПСС, — основа основ научно-технического прогресса. Исторические решения съезда подчеркнули необходимость укрепления взаимодействия естественных, общественных и технических наук. Взаимодействие наук является важным условием успешного движения в сложном процессе познания и сознательного использования объективных закономерностей природы и общества.

Необходимо отметить, что основные «точки роста» современной науки уже сейчас — и чем дальше, тем больше — обнаруживаются на «стыках» разных научных дисциплин, как в пределах естествознания, так и вне его. Поэтому важное значение приобретает в наши дни

взаимодействие наук — комплексный подход к решению междисциплинарных проблем.

При рассмотрении философских аспектов научного и инженерного творчества справедливым остается высказывание Ф. Энгельса, что «именно диалектика является для современного естествознания наиболее важной формой мышления, ибо только она представляет аналог и тем самым метод объяснения для происходящих в природе процессов развития, для всеобщих связей природы, для переходов от одной области исследования к другой»¹.

Развитие различных отраслей знания возможно только при условии единства и глубочайшего взаимопроникновения наук, изучающих природу, общество и технику.

Основной задачей философского знания является глубокое и всестороннее осмысливание достижений общественных, естественных и технических наук с целью направленного преобразования мира: «Философы лишь различным образом объясняли мир, но дело заключается в том, чтобы изменить его»².

Создание современных многоуровневых антропогенных систем невозможно без глубокого и всестороннего осмысливания закономерностей развития этих систем и последствий их влияния на биосферу. Идеология, стратегия разработки сложных систем должны иметь прочный философский фундамент. В. И. Ленин отмечал: «Кто берется за частные вопросы без предварительного решения общих, тот неминуемо будет на каждом шагу бессознательно для себя «натякаться» на эти общие вопросы...»³.

В 1844 г. Ф. Энгельсом была сформулирована одна из существенных количественных характеристик современной науки: «... Наука движется вперед пропорционально массе знаний, унаследованных ею от предшествующего поколения, следовательно, при самых обыкновенных условиях она также растет в геометрической прогрессии»⁴.

Указанная закономерность характеризует количественно-преемственность научного знания, подчеркивает эволюционный характер формирования новых систем и сжатия по временной оси этапов их развития.

Усиление взаимосвязи общественных, естественных и технических наук составляет важнейшую закономерность современного научного познания.

¹ К. Маркс, Ф. Энгельс, Соч., 2-е изд., т. 20, с. 367.

² К. Маркс, Ф. Энгельс, Соч., 2-е изд., т. 3, с. 4.

³ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 15, с. 368.

⁴ К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., 2-е изд., т. 1, с. 568.

Если в начале XX в. насчитывалось около 150 отраслей науки, то в настоящее время их свыше 1500. Число технических наук на сегодняшний день превышает общее число наук на начало века.

Развитие технических наук идет следующими путями: разделением традиционных технических дисциплин в процессе развития;

выделением прикладных знаний естественных наук в самостоятельные технические дисциплины;

дифференциацией и интеграцией научных знаний естественных, общественных и технических наук.

Если революция в естествознании на рубеже XIX—XX вв. привела к углублению связи естественных наук и философии, то современная научно-техническая революция приводит к тесной взаимосвязи технических, естественных и общественных наук.

Разработка методологических проблем технических наук рассматривается как одно из основных направлений философских исследований. С другой стороны, результаты таких исследований могут оказать положительное влияние и на дальнейшее развитие материалистической диалектики. Идеи В. И. Ленина о взаимодействии естественных наук и философии сохраняют свое общее методологическое значение и для союза технических и общественных наук. «В науке, — писал К. Маркс, — каждая новая точка зрения влечет за собой революцию в ее технических терминах»¹.

Взаимодействие трех основных групп наук необходимо также для комплексных исследований таких глобальных явлений современности, как исследование космического пространства, проблем экологии, науковедения, научно-технического, художественного творчества и др. Объективные основы единства технических и общественных наук исследованы в работах [70, 72, 74, 75, 80, 81].

Техника является одним из основных элементов производительных сил общества, продуктом и средством общественной деятельности людей, служит материальным средством решения социально-экономических задач. Она развивается не сама по себе, а в системе «человек — техника — биосфера». Поэтому необходимо учитывать комплексный характер проблемы последствий развития антропогенных систем. Отметим, что техника является одним из наиболее динамичных элементов производства.

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., 2-е изд., т. 23, с. 31.

Развитие техники как производительной силы общества непрерывно ускоряется. Техническое творчество может опережать общественные потребности и, отражаясь в социальных, духовных и экономических сторонах человеческой жизни, оно изменяет спектр духовных и материальных потребностей. Необходимо обратить внимание и на обратный процесс — на влияние практической деятельности людей, развития техники и технического знания на общественные науки, которые испытывая непосредственное воздействие научно-технической революции, получают большую точность, конкретность и приобретают прикладной характер.

Следует отметить, что процесс реального сближения общественных и технических наук, к сожалению, идет медленнее, чем это требует современное развитие общества. Представители общественных наук в своей научной и практической деятельности часто ограничиваются наборами иллюстраций из области прикладных наук и «статическим» рассмотрением отдельных примеров эффективных технических систем для интерпретации разрабатываемых концепций. Практически отсутствуют конструктивные философские исследования по закономерностям развития систем различного функционального назначения, по методологии научного и технического творчества, изобретательской деятельности, практически полезные для многомиллионной армии инженерно-технических специалистов и студентов инженерных вузов. Исключение составляют работы Ю. С. Мелешенко, В. И. Белозерцева, Б. И. Иванова, В. В. Чешева, Г. И. Шеменева и М. Л. Шубаса, а также серия вышедших в последние годы историко-технических очерков Советского национального объединения историков естествознания и техники, подготовленных Институтом истории естествознания и техники АН СССР. Однако и указанные работы, несмотря на их благородный замысел и интересные результаты, адресованы прежде всего научным работникам и оказываются малоэффективными в практической инженерной деятельности.

Специалисты в области прикладного знания и инженерно-технические работники, участвующие в создании элементов, устройств и подсистем непрерывно усложняющихся машин и комплексов, обычно получают «узкое» конкретное задание на разработку, которое должно быть выполнено в сжатые сроки, и поэтому, естественно, редко представляют систему в целом и не имеют возмож-

ностей для радикального совершенствования системы. Современные крупные системы полностью представляет очень ограниченный круг главных конструкторов и их заместителей. Эти очень занятые высококвалифицированные специалисты прекрасно представляют закономерности развития систем определенного функционального назначения, обладают системным мышлением и подсознательно оперируют философскими категориями и законами материалистической диалектики. Однако способ формирования их интуитивных, как правило, рациональных решений обычно остается недоступным даже их коллегам. Определенная дистанция, существующая между общими философскими категориями и традиционными понятиями прикладных наук, усугубляет ситуацию.

Автору настоящей работы прийти к диалектике помогли «оппоненты», перед которыми приходилось отстаивать новые принципы функционально-структурной организации вычислительных и управляющих систем.

Анализ ведущих обобщающих идей в эволюции динамично развивающихся электронных систем, информационно-управляющих систем, робототехнических комплексов и гибких автоматизированных и автоматических производств, анализ развития авиационно-космической техники, а также энергетических комплексов позволяет выявить объективные закономерности развития антропогенных систем и определить особенности современного стиля инженерно-технического творчества (стиля мышления).

Интенсивное развитие естественных и технических наук расширяет спектр и обогащает содержание философских категорий. Одновременно понятия прикладных наук приобретают философское содержание, превращаясь в арсенал общенаучных средств. Такие емкие понятия, как функция, элемент, структура, система, структурно-функциональный метод, статика, динамика, объект управления, обратная связь, устойчивость, надежность, живучесть, являются в равной степени понятными (хотя очень часто нечетко или узко определяемыми) для представителей общественных и прикладных наук.

Глава I

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ И СИНТЕЗУ СИСТЕМ

ПОНЯТИЕ СИСТЕМЫ

Развитие общества постоянно сопровождается возникновением различного рода потребностей, которые материализуются и удовлетворяются создаваемыми техническими и другими средствами — антропогенными системами.

Понятие системы играет важную роль в современной науке, философии и технике и имеет длительную историю. С. В. Емельянов, В. Н. Садовский и Э. Л. Напельбаум отмечают [53, 55, 57], что в современной научной литературе можно насчитать с полсотни в общем довольно похожих друг на друга, но все же различных определений понятия системы. В этих работах дается также анализ различных определений. В настоящей работе приняты следующие определения. Система — целостный материальный объект, представляющий собой закономерно обусловленную совокупность функционально взаимодействующих элементов.

Элементы системы — относительно обособленные части системы, которые, не являясь системами данного типа, при их непосредственном взаимодействии порождают систему определенного функционального назначения.

Подсистема — совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, реализующих определенную группу функций системы.

Принадлежность системы (подсистемы) к тому или иному типу определяется наличием совокупности определяющих свойств. Переход от систем одного типа к системам другого типа может происходить в пределах одной формы движения материи или при переходе к новой форме.



Для системы характерно не только наличие связей между составляющими ее элементами (определенная организованность системы), но и неразрывное единство со средой, во взаимоотношениях с которой система выражает свою целостность.

Каждая система может рассматриваться как подсистема (элемент) другой системы более высокого порядка, и одновременно элементы рассматриваемой системы могут выступать в качестве системы более низкого порядка. Многоуровневость (иерархичность) является характерной чертой сложных систем. Отдельные уровни системы реализуют определенные функции, а целостное функционирование системы представляет результат взаимодействия отдельных ее сторон и элементов всех иерархических уровней.

Для всех динамических систем естественной, технической и социальной природы характерна реализация в них функций обработки, передачи, хранения и управления информационными, энергетическими и технологическими процессами.

Сложность функционирования и развития системного объекта проявляется не только в том, что он состоит из большого числа элементов (ряда подсистем), но и в том, что в процессе формирования структуры сложной системы разрешается ряд противоречий на отдельных этапах создания и развития системы, а также на различных уровнях ее функционально-структурной организации.

ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ

Понятие функции близко к понятию цели. Оба эти понятия тесно связаны друг с другом. При рассмотрении цели определенной системы *A* с позиций системы *B* более высокого уровня цель системы *A* может рассматриваться как функция по отношению к системе *B*. Основные функции системы (макрофункции) определяют функции, реализуемые элементами системы (микрофункции).

Отмеченное выше назначение антропогенной системы, заключающееся в удовлетворении потребностей общества, предопределяет в свою очередь, реализацию системой определенной совокупности функций. Так как функциональное назначение системы определяется человеком (коллективом), работающим в конкретной области,

в конкретных условиях, в определенной социальной системе при соответствующем уровне развития науки, техники и технологии, то в этих условиях назначение системы определяется совокупностью субъективных и объективных факторов и представлений о пользе и потребности в реализации конкретного класса систем. Это подтверждает возможность субъективных представлений заказчика и изготовителя о функциональном назначении и основных характеристиках систем.

Стратегия эволюционного синтеза на первых же этапах проектирования определяет совокупность основных и дополнительных функций проектируемой системы с учетом развития систем аналогичного (близкого) класса. В процессе эволюции наиболее жизнеспособными оказываются системы, определяемые насущными потребностями общества, а совокупность функций, реализуемых системами, уточняется во времени. Субъективизм фильтруется эволюционным процессом.

Функция системы (*functio* — лат. — исполнение, совершение) характеризует проявление ее свойств в данной совокупности отношений и представляет собой способ действия системы при взаимодействии с внешней средой. Функция системы является проявлением свойств, качеств системы во взаимодействии с другими объектами системного и несистемного порядка. Наиболее общее истолкование функции как внешнего проявления свойств объекта в определенной системе отношений позволяет рассматривать функции, реализуемые системами, как совокупность собственно функциональных возможностей системы и как совокупность их свойств, которые могут быть выражены как качественными, так и количественными характеристиками. Так, например, в техническом задании на разработку систем обработки информации перечисляются функции, реализуемые системой (арифметическая и логическая обработка числовой и символьной информации, обработка массивов информации, способ общения системы с пользователем и т. д.), и указываются конкретные количественные характеристики — показатели качества системы: скорость выполнения определенных операций, объемы хранимых массивов, длительность их хранения, количественные характеристики надежности функционирования и другие показатели, характеризующие эффективность системы.

Таким образом, при создании системы необходимо тщательно проанализировать совокупность всех функций,

реализуемых системой, и определить количественные характеристики отдельных показателей качества системы.

Функции системы как целого определяют функции отдельных подсистем. Функции подсистем в свою очередь определяют функции, которые возлагаются на элементы системы. М. И. Сетров отмечает [38], что «функцию в системном ее понимании можно определить как такое отношение части к целому, при котором само существование или какой-либо вид проявления части обеспечивает существование или какую-либо форму проявления целого». Функции системы представляют интегративную совокупность функций отдельных элементов, образующих систему.

В классическом структурно-функциональном анализе понятие функции имеет два значения: назначение одного из объектов (элементов) системы по отношению к другим объектам или к системе в целом; зависимость в рамках определенной системы, при которой изменения одних элементов системы оказываются производными (функцией) от изменений других элементов.

При функционально-структурном подходе к синтезу систем понятие функции в основном рассматривается в первой интерпретации.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Понятие структуры отражает упорядоченность, организованность системы. Система предполагает определенную организацию составляющих ее элементов. Под организацией (*ordanizo* — лат. — сообщаю стройный вид, устраиваю) понимается внутренняя упорядоченность, согласованность взаимодействия отдельных элементов системы. Внутренняя форма организации системы, выступающая как единство состава системы и устойчивых взаимосвязей между ее элементами, определяет структуру (*structura* — лат. — строение) системы. Составляющие элементы системы (их тип и количество) и связи между ними определяют свойства системы.

Структурность — неотъемлемый атрибут всех реально существующих объектов и систем. В каждой из естественных, технических и общественных наук исследуются специфические особенности соответствующих структур и систем, а также законы их изменений, составляющие предмет данной науки. В понятии «структура», как правило, фиксируются относительно инвариант-

ные и статические, т. е. относящиеся к строению, способам взаимосвязи частей закономерности, а в понятии «организация» — динамические, относящиеся к функционированию и взаимодействию частей.

При объединении элементов в целостную систему ее свойства оказываются отличными от простой суммы свойств составляющих элементов. Структурные отношения самой целостной системы вызывают изменения внутренних особенностей составляющих ее элементов, которые подчиняются общему закону функционирования системы. Пространственная согласованность частей системы — необходимая черта ее структуры, однако последняя не сводится лишь к пространственным отношениям. Целостная система характеризуется не только пространственной, но и временной организованностью. Процессы в антропогенных системах осуществляются либо синхронно с определенной периодичностью повторения, либо асинхронно, т. е. следующий процесс начинается по мере завершения предыдущего. В реальных системах синхронные и асинхронные процессы взаимно дополняют друг друга.

Таким образом, структура предполагает определенную динамическую устойчивость пространственно-временных связей элементов системы.

Для сложных многоуровневых структур характерны три свойства: целостность, трансформация, саморегуляция.

Трансформация подчеркивает динамические свойства системы. Примером структуры, трансформирующейся в процессе функционирования, является цифровая вычислительная система. На каждом такте работы под действием управляющей программы осуществляется необходимая коммутация (связь) функциональных элементов системы.

Свойство саморегуляции связано с внутренними преобразованиями структуры, которые не выходят за пределы ее границ, реализуются элементами структуры и направлены на сохранение работоспособности системы. В кибернетических системах для саморегуляции широко используется принцип отрицательной обратной связи. В наиболее совершенных системах осуществляется компенсация утраченных функций за счет их перераспределения между элементами системы.

Каждой конкретной целостной системе соответствует специфическая структура. В процессе развития системы увеличивается число элементов системы, происходит

дифференциация (специализация) функций отдельных элементов, что приводит к усложнению структуры системы.

Анализ закономерностей развития антропогенных систем показывает, что наряду с процессами специализации в ходе эволюции искусственных систем имеют место и интегративные процессы — процессы повышения функциональной и структурной целостности систем.

Относительная самостоятельность и устойчивость структуры имеет особое значение для сохранения и функционирования целостной системы. В процессе развития антропогенных систем происходит совершенствование принципов построения и технической реализации отдельных элементов и подсистем. Однако структура системы не сразу, не прямо и автоматически следует за изменением частей целого, а в определенных границах остается постоянной, сохраняя систему в целом. В. Г. Афанасьев [8] указывает, что наличие структуры представляется «условием накопления количественных изменений внутри целого, являющихся необходимой предпосылкой для его коренных качественных преобразований». Именно таким путем и идет развитие и совершенствование не только социальных, но и технических систем.

Однако структура антропогенной системы представляет не только устойчивое образование, сохраняющее качественную определенность системы. Структура системы динамична, подвижна, изменчива. И. В. Блауберг и другие отмечают [46], что «структурная характеристика — это помимо всего прочего динамическая характеристика». Это находит свое отражение в таких понятиях, как «динамическая структура», «хроноструктура» и т. п. Структура системы изменяется в процессе функционирования, в процессе взаимодействия с внешней средой, при изменении свойств ее элементов и перераспределении функций между ними. Структура системы претерпевает количественные и качественные изменения в процессе развития, в периоды совершенствования или деградации.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ФУНКЦИИ И СТРУКТУРЫ КАК ВЗАИМОСВЯЗЬ СОДЕРЖАНИЯ И ФОРМЫ

Понятие функции системы следует рассматривать как единство функциональных возможностей и свойств системы. Каждая система (элемент) обладает бесконеч-

ным количеством свойств, единство которых определяет качество системы (элемента). Содержание, являющееся определяющей стороной целого, представляет единство всех составных свойств объекта (системы, элемента), внутренних процессов, связей, противоречий и тенденций развития.

К. Маркс и Ф. Энгельс углубили введенное Гегелем различие содержания и материального субстрата вещи (материи): содержанием, согласно классикам марксизма, является не сам по себе субстрат, а его внутреннее состояние, совокупность процессов, которые характеризуют взаимодействие образующих субстрат элементов между собой и со средой и обуславливают их существование, развитие и смену; в этом смысле само содержание выступает как процесс. Таким образом, в материалистической диалектике проводится различие между содержанием и вещественно-материальным субстратом (материей). Это имеет методологическое значение при анализе и синтезе систем. Вместе с тем философское понятие содержания как процесса делает его в определенной степени тождественным рассмотренному выше понятию функции применительно к системам (элементам).

Понятие структуры целостной системы весьма близко к понятию формы, однако не тождественно ему. Форма представляет способ существования и выражения содержания в его различных модификациях. Понятие формы употребляется также в значении внутренней организации содержания и в этом смысле форма получает дальнейшее развитие в категории структуры. Диалектико-материалистическое понимание формы предполагает рассмотрение ее как развивающейся, становящейся структуры: необходимо, по мысли К. Маркса: «... генетически вывести различные формы...» и понять «... действительный процесс формообразования в его различных фазах»¹.

При рассмотрении конкретных систем целесообразно использовать не понятие формы, а конкретизацию этого понятия — структуру. Таким образом, рассмотрение традиционных философских категорий «содержание» и «форма» при анализе и синтезе систем может быть сведено к рассмотрению понятий «функция» и «структура». При анализе и синтезе конкретных систем понятия функции и структуры уточняются в соответствии с

¹ К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч., 2-е изд., т. 26, ч. 3, с. 526.

достигнутым уровнем развития соответствующей области знания. Такой подход является конкретным, предметным, конструктивным.

Исследование процессов возникновения, развития и разрешения противоречий между функциями, реализуемыми системой, и соответствующими структурами, предназначенными для реализации этих функций, является исключительно важным для диалектической теории развития систем. Во взаимосвязи функции и структуры функции отводятся, как правило, ведущая, определяющая роль, а структура трансформируется, видоизменяется в соответствии с реализуемыми функциями и конкретными условиями функционирования системы. Таким образом, имеется объективная субординация функции и структуры, соответствующая субординации содержания и формы.

Взаимоотношения функции и структуры в процессе развития характеризуются не только единством, но и противоречиями между ними. Единство функции и структуры относительно, преходяще. В ходе развития между ними неизбежно возникают противоречия. Как правило, эти противоречия и несоответствия разрешаются «сбрасыванием» старой и формированием новой структуры, адекватной новым функциям, реализуемым системой. В живой природе и в антропогенных системах всегда изменяющиеся условия неизбежно требуют изменения спектра функций развивающейся системы, а следовательно, и соответствующего изменения ее структуры.

Так как не существует жестких связей между функциями и структурой системы, то разрешение противоречий возможно и путем полного или частичного «сбрасывания» реализуемого набора функций. При этом структура, обычно несколько видоизмененная, может использоваться для реализации иной совокупности функций. Таким образом, разрешение противоречий между функцией и структурой может осуществляться различными путями — от полного отказа от старой структуры, переставшей соответствовать новому содержанию, до использования этой старой структуры, несмотря на существенно изменившиеся функции. Конечно, и в последнем случае структура не остается неизменной, она модифицируется, приспосабливается к новому содержанию. Так, например, отслужившие срок эксплуатации двигатели реактивных самолетов используются для очистки взлетных полос от ледяной корки, для транспортировки в мощной газовой струе полезных ископаемых

в открытых карьерах, для очистки воды в замкнутых технологических системах и т. д.

Диалектическая противоречивость взаимоотношения функции и структуры (содержания и формы) особенно отчетливо обнаруживается в процессах становления и развития сложных систем, обладающих четко выраженной целостностью. Целостность определяет свойства и закономерности развития системы в целом и отсутствует у отдельно взятых элементов и связей целого. Целостность проявляется в сложности и иерархичности строения системы, в наличии нескольких уровней ее организации, находящихся в сложных генетических, причинных, функциональных и структурных взаимозависимостях. Сформировавшаяся целостность — существенный фактор последующего функционирования и развития системного объекта.

Структура служит тем формообразующим фактором, который изменяет элементы в соответствии с функциональным назначением системы (подсистемы). В процессе развития системы структура приобретает значительно большую самостоятельность и активность относительно реализуемых функций. Именно совокупность определенным образом упорядоченных, иерархически соподчиненных и взаимообусловленных связей элементов системы и формирует структуру целостной системы, сохраняет ее как целое, обеспечивает ее функционирование, совершенствование и развитие. Чем сложнее система, тем в большей степени ее свойства определяются принципами функционально-структурной организации. К. Маркс показал, что любой системный объект представляет сложную совокупность связей, в которой взаимозависимость элементов выступает в виде своеобразного замкнутого круга. Элементы, образующие системы и подсистемы, вступают в сложные и многообразные отношения взаимозависимости и взаимообусловленности, формируя развивающийся целостный организм.

Как отмечалось выше, функция является определяющей по отношению к структуре. Изменение функции приводит к изменению структуры. Диалектика не исключает инверсию взаимосвязи между функцией и структурой. Для характеристики такого типа взаимосвязи содержания и формы в развитии и функционировании сложных системных объектов К. Маркс ввел специальное понятие «превращенной формы». Учитывая определенную степень тождественности категорий «функция» и «структура»

соответственно категориям «содержание» и «форма» можно также утверждать, что структура имеет право на самостоятельное существование, независимое от функционального назначения системы. Такая «превращенная структура» реализует новые функции, полностью или частично отличные от функций, соответствующих исходному назначению системы. Так, например, в годы Великой Отечественной войны большинство промышленных предприятий, не изменяя своей структуры, перешло на выпуск продукции военного назначения, т. е. изменило свои функции. Структура «динамомашин» (генератора), вырабатывающей электрическую энергию за счет механической энергии, без принципиальных изменений оказалась способной реализовать инверсную функцию. Так появился электродвигатель, преобразующий электрическую энергию в механическую. Принцип обратимости широко используется в современной технике.

Для правильного понимания взаимосвязи функции и структуры системного объекта необходим эволюционный подход, тщательное рассмотрение развития систем определенного класса. Диалектико-материалистические представления о взаимосвязи функции и структуры определяют наиболее общие принципы процесса научного познания и технического творчества. Рассматриваемый в настоящей работе функционально-структурный подход к анализу и синтезу сложных систем базируется на взаимосвязи функции и структуры как типичной взаимосвязи диалектических противоположностей.

При анализе и синтезе систем должна соблюдаться адекватность рассматриваемых функций уровню структурной организации системы. Преувеличенное внимание к структуре или функции порождает такие крайние методологические ориентации, как структурализм и функционализм.

Структурализм выдвигает в качестве задачи научного исследования выявление структуры объектов. Широкое распространение структурных методов в различных сферах знания (в естествознании, математике, физике, гуманитарных дисциплинах и т. д.) породило необоснованные попытки возвести структурализм в ранг философской системы. Такому антиэволюционному подходу структурализма, отрицанию внутренних противоречий как источника развития и познания структуры систем марксистская философия противопоставляет методологические принципы диалектического анализа и формирования структуры.

Функционализм базируется на утверждении первичности функции по отношению к структуре. Это направление получило наибольшее развитие в архитектуре конца XIX — начала XX века, сторонники которого провозгласили формулу: «форму определяет функция». Основанные на этой формуле принципы функциональности разрабатывались и пропагандировались Ле Корбюзье (Франция) и другими. Так, принцип зонирования территории с выделением особого пространства для каждой из главных жизненных функций (жить, работать, отдыхать, передвигаться) был перенесен в область градостроительства. Функционализм оказал большое влияние на современную архитектуру и привел к своеобразному «международному стилю». Однако повсеместное, не зависящее от условий среды, климата и национальных особенностей, возведение функционально-целесообразных сооружений привело к известным крайностям. Несмотря на многие рациональные моменты функционализма с его повышенным вниманием к функциональному назначению создаваемых систем, функционализм, не учитывающий диалектики развития систем и конкретных условий их применения, не мог стать полноценным, жизнеспособным, творческим методом.

Функциональный аспект в системах подробно исследован в работе М. И. Сетрова [38]. В работе рассматривается сущность функциональности как основного свойства организации систем, принципы совместности, актуализации и сосредоточения функций, нейтрализации дисфункций и лабилизации функций. М. И. Сетров рассматривает процесс развития системы как актуализацию функций. В. Г. Афанасьев [8] справедливо отмечает, что функция может быть воспроизведена в неразрывной связи и взаимодействии со структурой, с внешней средой. Структура, интегрируя элементы системы, модифицирует их, причем не только в субстратном, но и в функциональном аспекте. В ряде работ отмечается, что для объяснения (не фиксирования, а именно объяснения) и обоснования функций необходимо знание истории системы, ее зарождения, становления и развития, знание о социальном и природном окружении, о характере и особенностях взаимодействия со средой и т. д.

Абсолютизировать функцию в системных исследованиях — значит отдавать известную дань телеологии, постулирующей целевую причинность. Главным в функцио-

нальном подходе к исследованию систем является не ответ на вопросы, из каких элементов состоит система и как осуществляется их взаимодействие, а вопрос, для чего, ради какой цели создается и функционирует система. Цель, целевая функция антропогенной системы обуславливается объективно потребностями общества. Любая функция системы и составляющих ее элементов подчинены цели функционирования системы. Однако цель осуществима только тогда, когда имеются объективные возможности для ее реализации, а эти возможности определяются структурой системы, характеристиками ее элементов и внешней средой, с которой система находится в непрерывном вещественно-энергетическом и информационном обмене.

ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЬ ФУНКЦИИ И СТРУКТУРЫ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ

Изменение внешних условий влечет за собой изменение способа действия системы при ее взаимодействии с внешней средой, т. е. приводит к изменению функций системы. Функция представляет собой наиболее изменчивую, более мобильную сторону системы. Изменение взаимодействия системы со средой неизбежно должно отразиться в изменении структуры системы, так как эта структура становится неадекватной ее функциям. При изменении условий в определенных пределах структура системы может оставаться неизменной, что имеет место при возможности реализации функций системы старым способом. В антропогенных системах при изменении внешних условий функции и структура, как правило, не изменяются. Исключение составляют только адаптивные системы. В конкретных образцах антропогенных систем возможны изменения структуры и функций только при изменении внешних условий, непосредственно воздействующих на систему: воздействие температуры, радиации, электромагнитных полей, изменение химического состава среды и т. д. В общем случае к внешним условиям могут быть отнесены общественные потребности, социальные условия, политическая обстановка, требования обороны, конъюнктура рынка, различные стороны государственно-политической инфраструктуры, изменения которых влияют на конкретную систему опосредованно. Поэтому несоответствие функций и структуры может возникнуть не в самой

системе, а вне ее. Это приводит к моральному старению антропогенных систем. В биологических системах этого нет. Если их функции не отвечают изменившимся условиям, то биосистемы (популяции) погибают. Остаются жизнеспособными только те системы, структура которых может реализовать новые функции.

Возникающие противоречия между функцией и структурой в антропогенных системах разрешаются снятием структуры. В этом плане функция первична, является приматом над структурой. Вместе с тем, структура, являясь способом существования функции, оказывает на нее обратное влияние. Так, удачная структура системы, позволяющая реализовать совокупность функций с определенным запасом, может стимулировать развитие потребностей в такой реализации. Возникновение новой потребности может рассматриваться как изменение внешних условий, как формирование нового социального заказа. Таким образом, существует опосредованная обратная связь между структурой и функциями систем в процессе развития. Если структура системы перестает удовлетворять требованиям реализации новой развитой функции, то она оказывает тормозящее воздействие на ее дальнейшее развитие. В том случае, когда потенциальные возможности структуры больше, чем реализуемые ею функции, можно говорить о ведущей роли структуры в развитии функции, если направленность этого развития отвечает объективным закономерностям развития систем данного класса или тенденциям в изменениях окружающей среды. В противном случае сложившееся несоответствие структуры и функции разрешается снятием структуры.

В биосистемах возникающая в результате мутаций новая структура, возможности которой превышают функциональные требования к условиям существования, оказывается потенциально способной к развитию новых функций. Если новые функции позволяют биообъекту доминировать в среде аналогичных объектов, то это можно рассматривать как изменение внешних условий для последних. Таким образом, биообъект (биосистема) может использовать функциональные возможности, заложенные в его структуре, в отличие от антропогенных систем, потенциальные возможности которых могут быть использованы только человеком. Это доказывает, что влияние структуры на функции биосистем значительно сильнее, чем аналогичное влияние в антропогенных системах.

Все изложенное подтверждает, что функция и структура систем находятся в диалектической взаимосвязи и оказывают влияние друг на друга в процессе развития систем. Однако роль функции как более подвижной (более гибкой, более изменчивой) стороны этой взаимосвязи является первичной в процессе развития.

Взаимодействие функции и структуры в процессе развития системы диалектично и имеет циклический характер, причем на каждом цикле развития первопричиной могут выступать как функция, так и структура. Если конкретная система является составной частью многоуровневой системы, то внутренние условия развития последней выступают в качестве внешней причины изменения функций соответствующей системы (подсистемы). Необходимость изменения функций приводит к перестройке структуры подсистемы. Таким образом, имеет место цикл развития первого рода — от функции к структуре. В свою очередь, изменение структуры системы приводит к возможности реализации новых функций, к более эффективной реализации определенной совокупности старых функций и к редукции (ослаблению) других функций. Таким образом, изменение структуры приводит к актуализации потенциальных функций старой структуры и к минимизации ее дисфункций, снижающих эффективность функционирования системы. Изменение функций системы при изменении ее структуры и составляет цикл развития второго рода.

При взаимодействии одноуровневой системы с внешней средой имеет место итеративный процесс совершенствования функционально-структурной организации системы, включающий рассмотренные циклы первого и второго рода. Процесс совершенствования функционально-структурной организации многоуровневых систем представляет совокупность «вложенных циклов». В конечном итоге формируется эффективная структура системы, адекватная изменившимся внешним условиям. Многократные итеративные изменения функций и структуры отдельных подсистем, базирующиеся на чередовании циклов первого и второго рода, приводят к повышению функциональной и структурной целостности многоуровневой системы.

Процесс эволюции биологических объектов приводит к непрерывному усложнению их организации. При освоении факторов внешней среды в живых системах

происходит последовательная замена внешних факторов развития внутренними «... Новые функциональные дифференцировки возникают всегда на базе жизнедеятельности самого организма. В связи с новым расчленением функций устанавливаются и новые структуры как результат функциональной деятельности организма. Функциональные дифференцировки возникают под влиянием самой функции, а в дальнейшей эволюции происходит их стабилизация и включение через смену морфогенных факторов в число автономно развивающихся структур», — отмечает И. И. Шмальгаузен [45]. Существует глубокая внутренняя аналогия между закономерностями развития живых организмов и технических систем: усложнение в обоих случаях начинается с усложнения (расширения спектра) функций, которые должны быть реализованы определенным органом (подсистемой) при изменившихся условиях функционирования. Далее происходит «вычленение» некоторых из них и образование на их основе новой специализированной подсистемы (превращение внешнего во внутреннее по И. И. Шмальгаузену). «... Окончательная шлифовка структур идет в значительной мере под влиянием функции, т. е. регулируется «упражнением» или «неупражнением» органов» [45]. В ходе эволюции живых систем происходит не только совершенствование взаимодействия организма со средой (адаптация), но и совершенствование взаимодействия между подсистемами организма — коадаптация.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭТАПОВ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СИСТЕМ

В науке, в теории систем, в практике инженерного проектирования все задачи принято делить на две группы: задачи анализа и задачи синтеза. Анализ и синтез в самом общем понимании — процессы мысленного или фактического разложения целого на составные части и воссоединения целого из частей. Целостность и расчлененность предметов и явлений являются объективной основой анализа и синтеза. Анализ является логическим способом воспроизведения в мышлении расчлененной объективно существующей целостной системы. В процессе синтеза в мышлении воспроизводится действительное взаимодействие расчлененных в процессе анализа компонентов, движение и развитие целостной системы в многосложной системе природы. К. Маркс

отмечал¹, что анализ всегда исходит из готовых результатов процесса развития. Синтез предполагает рассмотрение систем в процессе развития.

Анализ и синтез могут быть предметными (физическими) и мысленными. Сущность анализа состоит в расчленении целого на образующие его компоненты, части, в выделении и изучении функций каждой из частей. При предметном анализе система расчленяется на образующие компоненты (элементы). Расчленение системного объекта (физическое или мысленное) производится не произвольно, а в соответствии с присущими ему закономерностями, его функциями и его структурой, с учетом состава компонентов и внутрисистемных связей. Анализ производится с тем расчетом, чтобы было возможно воссоздание системы в ее исходном облике — синтез системы.

Конкретные формы анализа определяются как целями, которые ставятся при исследовании целостной системы, так и природой системы. В одном случае стоит задача анализа функционально-структурной организации системы. В другом — анализ взаимосвязи и взаимодействия системы с внешней средой. В третьем случае — необходимо установить генетическую связь подсистем, выявить в них остатки прошлого, основу настоящего и зародыш будущего, определить тем самым тенденции развития. Различные методы анализа (функциональный, структурный, генетический и др.) предполагают выделение частей (подсистем), свойств, признаков исследуемого объекта. Конкретные приемы, методы анализа, используемый аппарат аналитических преобразований определяются классом исследуемых систем, зависят от принципов функционально-структурной организации системы и ее материального субстрата.

На первом этапе анализа система разлагается на компоненты. Расчленение системы имеет предел, выход за который означает потерю качественной специфики системы. В соответствии с данным в начале главы определением элемент является конечным носителем данного качества системы. Декомпозиция элементов на составные части обычно при анализе систем нецелесообразна. На втором этапе анализа выделяются признаки системы и ее элементов, присущие реальной системе свойства и отношения.

¹ К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч., 2-е изд., т. 13, с. 499.

Правильно организованный анализ систем характеризуется единством логического и исторического исследования. Анализ всегда связан с определенным огрублением, упрощением исследуемой системы. Вычленение основного компонента целого позволяет увязать между собой как компоненты, части целого, так и этапы и периоды его исторического становления и развития. Основной компонент системы концентрирует противоречия системы, которые обуславливают специфику системы, служат ее источником движения и развития и в итоге определяют ее превращение в другую более организованную и совершенную систему. «В основном компоненте системы заключена, таким образом, вся история системы, весь путь ее развития — от ее зарождения, начала, до ее гибели, конца», — отвечает В. Г. Афанасьев [8].

Синтез является предметным или мысленным воссоединением частей, компонентов, вычлененных в процессе анализа, в единую целостную систему. Проблема синтеза заложена в самом понятии «система». Чем выше степень организации системы, тем сложнее и разнообразнее ее внутренние связи. Синтез, так же как анализ, представляет сложный многоэтапный процесс. Многоэтапность синтеза обусловлена многоуровневостью сложных систем, их непрерывным развитием. Средства, используемые при мыслительном и предметном (физическом) синтезе, зависят от конкретных задач, от целей, конкретно стоящих перед исследователем и практиком.

Этапы анализа и синтеза диалектически взаимосвязаны. Противоречивость этапов анализа и синтеза является проявлением противоречивости процесса познания. Единство анализа и синтеза обусловлено единством части и целого. Процессы анализа и синтеза взаимно дополняют друг друга. В результате анализа и синтеза не только решается вопрос о том, из каких частей (элементов) состоит целостная система, но и вскрывается взаимодействие частей (элементов), решается вопрос о принципах функционально-структурной организации системы.

В процессе анализа в системе выделяются функции и характеристики компонентов как системных объектов. При синтезе на основе выделенного набора компонентов формируется структура целостной системы, устанавливаются пространственные и временные взаимосвязи между компонентами. Еще Гегель характеризовал ди-

электрический метод одновременно как аналитический и как синтетический¹. Однако Гегель рассматривал единый аналитико-синтетический метод не как способ познания объективной реальности, а как способ аналитико-синтетических манипуляций с понятиями. Классики марксизма-ленинизма неоднократно подчеркивали взаимосвязь процессов анализа и синтеза, основанную на единстве материального мира, его системности и дифференцированности, его непрерывности и прерывности. «Мышление состоит столько же в разложении предметов сознания на их элементы, сколько в объединении связанных друг с другом элементов в некоторое единство».² Анализ не является самоцелью. Подобно тому, как части подчиняются целому, служат ему, анализ в конечном счете служит синтезу, свершается во имя синтеза, направляется и контролируется синтезом.

Практика, материальная, производственная деятельность людей являются объективной основой анализа и синтеза. В процессе деятельности человек постоянно сталкивается с предметами и явлениями природы, познает их (этап анализа) и преобразует их (этап синтеза) в определенные системные образования (материальные и идеальные). Практика, вызвавшая к жизни анализ и синтез, служит основой их дальнейшего развития и совершенствования. В настоящее время интенсивно развивается системный анализ. Д. М. Гвишиани отмечает [49], что системный анализ в основном связан с разработкой теоретико-методологических средств исследования, конструирования систем и управления системами, включающими человеческий фактор. Главной целью системного анализа является обеспечение эффективного взаимодействия человека с реально существующей системой.

Системный анализ позволяет разделить сложную задачу на совокупность простых задач, расчленив сложную систему на элементы. Таким образом, анализ выступает как процесс последовательного расчленения решаемой проблемы на частные подпроблемы. Структурирование проблемы в системном анализе органически сочетается с синтезом, объединяющим в единую систему множество частных решений. В системном анализе используется метод декомпозиции целей, в основе

¹ Гегель. Соч., т. 6, с. 265.

² К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., 2-е изд., т. 20, с. 41.

которого лежит построение «дерева целей». Дерево целей превращает процесс решения сложной проблемы в системный целостный процесс. Системный анализ имеет специфический научный инструментарий, включающий неформальные эвристические методы: метод экспертных оценок, метод перекрестных сравнений, матричные и сетевые методы, метод агрегирования переменных в комплексные факторы и др. По существу, на всех этапах системного анализа используется метод моделирования. В качестве моделей используются оптимизационные, имитационные, игровые и потоковые модели. Следует отметить, что системный анализ, как и системный подход в его «классическом» варианте, является в основном методами анализа систем. Проблема синтеза систем остается открытой. Большой арсенал используемых в настоящее время эвристических и аналитических методов системного анализа отражает, с одной стороны, сложность решаемых задач и, с другой стороны, то, что метод еще находится в стадии становления.

Оригинальный аналитико-синтетический метод исследования систем и управления этими системами — диакоптика — предложен Г. Кроном. Идея метода заключается в расчленении системы по строго определенным правилам на ряд подсистем с построением топологических графовых моделей исходной системы. Диакоптика предполагает не непосредственный анализ сложных систем в их целостности, а познание их путем разделения по частям и изучение частей, отражение частей в относительно простых скалярных выражениях. Главная цель диакоптики состоит в том, чтобы заставить в явном виде работать силы связи, которые бывают скрыты при обычных подходах.

Подведем некоторые итоги. Применяемые в настоящее время методы анализа и синтеза систем используют невзаимосвязанные модели систем, отражающие различные стороны их функциональной и структурной организации. Большинство моделей не учитывает основного свойства систем — целостности, взаимосвязи и взаимозависимости процессов преобразования вещества, энергии и информации. В современных методах анализа и синтеза систем не нашла должного отражения диалектическая концепция развития систем. Основные теоретические результаты получены при исследовании вопросов системного подхода к анализу

социальных и смешанных (естественных и технических) систем.

Вопросы анализа закономерностей развития и структурного синтеза антропогенных систем до настоящего времени остаются практически неразработанными. Методы формального синтеза разработаны только для простейших линейных электронных цепей, относительно простых линейных систем автоматического управления, конечных автоматов с ограниченным числом состояний и комбинационных схем. Формализованными в настоящее время являются отдельные этапы конструкторского проектирования радиоэлектронных систем (компоновка модулей, размещение элементов, трассировка соединений печатных плат, разработка фотошаблонов интегральных схем). По-видимому, можно доказать, что формальные методы синтеза могут быть разработаны только для сравнительно несложных систем и процессов. Заметим, что понятие сложности системы относительно и зависит от этапа развития техники, технологии и уровня наших знаний.

В современной практике создания сложных систем синтез этих систем представляет сочетание содержательных (эвристических, интуитивных) и формальных (алгоритмических) методов. Задача синтеза структуры системы должна рассматриваться как основная задача при создании систем. Синтезировать систему — значит определить структуру системы и процессы ее функционирования, т. е. реализовать заданную совокупность функций системы на основе совокупности элементов ее будущей структуры.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД

В материалистической философии, теории систем и экономике получил распространение структурно-функциональный подход (СФП). Своим происхождением СФП обязан, по-видимому, классическим работам в области биологии и экономики. Исследователи с целью изучения поведения сложных систем выделяют отдельные структурные уровни подсистемы, определяют их функциональное назначение. Сложный объект последовательно декомпозируется (расчленяется) на отдельные составляющие с целью анализа процессов, происходящих в элементах системы. Подобный подход является естественным и оправданным при анализе функционально-структурной организации сложных систем. Следует отметить, что

любая декомпозиция целого неизбежно связана с утратой определенной части знания об объекте; СФП, несмотря на свою полезность, при грубой аппроксимации структуры и функций может привести к принципиальным ошибкам в анализе сложных систем. В таком случае модель системы оказывается неадекватной реальной системе, не отражает всей ее полноты и богатства. Последнее положение особенно справедливо для систем и объектов живой природы. Лучшим подтверждением этого тезиса является отсутствие до настоящего времени структурных моделей, описывающих поведение биологических объектов (отдельных клеток, органов, подсистем и систем живых объектов). Только правильное, глубоко философское понимание концепции развития в сочетании с высоким уровнем специальных знаний позволяет избежать грубых ошибок в биологии, физиологии, в теории и практике биотехнических систем.

СФП предполагает первичность структурного аспекта организации в том смысле, что при его отсутствии система исчезает. При таком подходе функциональный аспект рассматривается как вторичный. В соответствии с принципом структурной детерминации СФП базируется на единстве и внутреннем соответствии структуры и функции объекта. Это порождает принципиальную возможность раскрытия структуры объекта в процессе изучения его функциональных характеристик. Выявление структуры в процессе познания осуществляется в результате последовательного развертывания соотношения структуры и функции как диалектического единства противоположностей. Ограниченность структурно-функционального подхода как концепции анализа сложных объектов и систем не позволяет эффективно использовать этот подход при создании антропогенных систем.

Потребности практики давно породили интуитивные приемы и научно-обоснованные методы создания антропогенных систем различного функционального назначения. Накопление знаний, усложнение объектов проектирования и ужесточение требований к качеству и срокам разработки систем, а также разделение труда вследствие вовлечения все большего числа разработчиков в процессы создания систем приводят к необходимости формулировки, глубокого философского обоснования, теоретической и методической проработки концепций нового — функционально-структурного подхода.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД

Для большинства наук (в частности, естественных и социальных) анализ является одним из основных методов научного познания. В этих областях человеческой культуры наибольшее развитие и применение получил структурно-функциональный анализ, базирующийся на выделении в естественных и социальных системах структурных составляющих и определении их роли (функции) относительно друг друга. В практической деятельности людей и в технических науках анализ часто играет вспомогательную роль и используется на этапе изучения природы и материальных объектов естественного и искусственного происхождения с целью создания (синтеза) новых объектов и систем определенного функционального назначения. Таким образом, при создании систем основным является рассмотрение развития функций и структуры системы с целью синтеза структуры, наилучшим образом удовлетворяющей функциональному назначению и заданным показателям качества. Сложность и многоуровневость систем требуют последовательного многократного анализа функций и структуры систем, адекватных уровням рассмотрения.

В отличие от структурно-функционального подхода функционально-структурный подход основывается на предположении первичности функционального назначения системы по отношению к ее структурной организации. Следует отметить, что и при практическом применении классического структурно-функционального подхода исследователь фактически использует гипотезу об определенном функциональном назначении частей структуры исследуемой системы.

Процесс структурно-функционального анализа состоит из следующих итеративных этапов:

- формирование гипотезы о совокупности функций, реализуемых системой и отдельными ее фрагментами (подсистемами);

- исследование поведения объекта в различных режимах (экспериментальная проверка исходной гипотезы);

- анализ результатов исследования на соответствие рассматриваемой гипотезе;

- уточнение рабочей гипотезы (отбрасывание, модификация) или принятие ее за истинную.

Таким образом, несмотря на то что при структурно-функциональном подходе исходной для анализа является

структура объекта, функции (гипотетические или реальные) отдельных фрагментов (компонентов, подсистем) являются определяющими при проведении исследования.

Функционально-структурный подход (ФСП) представляет собой совокупность философских концепций, объективных закономерностей развития систем, научных положений и выводов, определяющих стратегию и методологию анализа и синтеза антропогенных систем. Мировоззренческой основой ФСП является диалектический материализм. ФСП базируется на основных категориях и законах диалектики.

Характерными особенностями функционально-структурного подхода являются:

- учет диалектической взаимосвязи функций и структуры объектов при определяющей роли функции по отношению к структуре;

- целостный подход к анализу и синтезу многоуровневых систем;

- учет вещественно-энергетических и информационных связей между элементами системы;

- учет взаимосвязи исследуемой (создаваемой) системы с внешней средой;

- рассмотрение систем в развитии;

- единство философского и специального знания, проявляющееся в совместном использовании общих законов материального мира и закономерностей развития систем определенного класса;

- общность подхода к анализу и синтезу систем.

Исходной посылкой ФСП является диалектическое единство функции и структуры системы при определяющей роли функции. Единство функции и структуры имеет первостепенное значение для анализа и синтеза сложных систем. Это единство обуславливает существование и необходимость рассмотрения особой — функционально-структурной организации систем.

Функционально-структурная организация (ФСО) может рассматриваться как единство функциональной (ФО) и структурной (СО) организации системы. Для организации в широком смысле слова структурный аспект уже не может рассматриваться как первичный. Функциональная организация системы — это совокупность функций системы и связей между ними. Структурная организация характеризует инвариантный аспект состава системы и связи между ее элементами.

ФСР базируется на диалектической концепции интеграции и дифференциации функций системы в процессе развития — концепции многофункциональности и специализации элементов, подсистем и систем. Целостность подхода к анализу и синтезу многоуровневых систем обеспечивается формированием «дерева функций», представляющего декомпозицию целевой функции системы. В процессе многоуровневой декомпозиции формируются основные и дополнительные функции, реализуемые отдельными подсистемами, а также макро- и микрофункции отдельных элементов, находящихся на различных уровнях функционально-структурной организации системы. Важной отличительной особенностью ФСР является совместный учет при анализе и синтезе систем вещественных, энергетических и информационных потоков как внутри системы между элементами и отдельными подсистемами, так и в процессе обмена системы с внешней средой.

В настоящее время получило большое распространение стратифицированное представление процессов и структуры сложных систем [54]. Стратифицированный подход является достаточно оправданным и дал положительные результаты при анализе сложных систем, например автоматизированных систем управления производством (АСУП). Однако при анализе и синтезе автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) стратифицированное представление системы уже не дает полного представления о взаимосвязи процессов в системе. Стратифицированные модели систем оказываются односторонними. Суперпозиция этих моделей не воспроизводит всей совокупности вещественных, энергетических и информационных процессов в целостных системах.

Одним из возможных путей создания более совершенных моделей является использование совмещенных вещественно-энергетических, информационно-энергетических, информационно-вещественных и комплексных операторов, отражающих основные системные процессы переработки, хранения и обмена вещества, энергии и информации, а также управление указанными процессами. Такой подход следует рассматривать как одно из возможных направлений на сложном пути создания более совершенных моделей целостных систем.

ФСР рассматривает системы в процессе развития. При изменении условий существования систем их

жизнеспособность может быть обеспечена лишь изменением совокупности реализуемых ими функций, что неизбежно приводит к изменению структуры системы. Это положение справедливо как для биологических, так и для антропогенных систем.

Генетический подход является основным не только при анализе и преобразовании биологических и социальных систем. Этот подход является правомерным и естественным для различных классов антропогенных систем и, в частности, для анализа и синтеза технических систем.

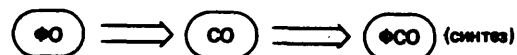
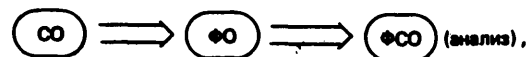
Единство материального мира обуславливает общность законов развития. Вместе с тем, рассматривая развитие конкретных систем, необходимо учитывать особенности и специфические закономерности развития систем данного класса. ФСР базируется на основных закономерностях материального мира и позволяет одновременно выявить (на этапе анализа) и учитывать (на этапе синтеза) закономерности развития систем конкретного класса и определенного функционального назначения.

При анализе и синтезе систем определенного класса ФСР опирается на данные конкретных наук, на весь теоретический и практический материал, накопленный в процессе развития соответствующей области знания и смежных областей.

Таким образом, функционально-структурный подход представляет собой новую логико-эмпирическую концепцию познания объективного мира, основанную на примате функциональной целостности материальных систем, которая может быть использована как на этапе анализа функционально-структурной организации системы, так и на этапе формирования (синтеза) структуры системы.

Схематично процесс анализа систем может быть представлен переходом от структурной организации системы к ее функциональной организации, а затем к функционально-структурной организации системы. При синтезе систем процесс развертывается в обратной последовательности, т. е. как переход от функциональной организации системы к структурной и далее опять к функционально-структурной ее организации.

Следует отметить, что такое представление:



характеризует общую направленность процессов анализа и синтеза, имеющих итеративный характер.

Образцом применения функционально-структурного подхода к анализу сложных процессов является работа Ф. Энгельса «Диалектика природы». В главе «Роль труда в процессе превращения обезьяны в человека» Ф. Энгельс анализирует функции рук и ног обезьяны, процесс разделения функций между руками и ногами, отмечает изменение структуры руки в процессе реализации функций трудовой деятельности, благодаря которому рука достигла высшей степени совершенства.

В процессе эволюции появилась потребность людей что-то сказать друг другу. Функция речи изменила структуру гортани обезьяны. Функции трудовой деятельности и членораздельная речь совершенствовались функционально-структурную организацию мозга.

«Благодаря совместной деятельности руки, органов речи и мозга не только у каждого в отдельности, но также в обществе, люди приобрели способность выполнять все более сложные операции, ставить себе все более высокие цели и достигать их. Самый труд становился от поколения к поколению более разнообразным, более совершенным, более многосторонним.»¹

Известный советский антрополог проф. С. А. Семенов внедрил в практику научных исследований новый метод определения функционального назначения орудий — метод археотраснологических исследований. Используя по существу функционально-структурный подход, С. А. Семенов доказал теоретически и экспериментально возможность достижения сравнительно высокой производительности труда в условиях «каменной цивилизации», отвергнув столетиями утвердившиеся взгляды о низкой эффективности трудовых процессов в каменном веке. Эти открытия позволили установить ясно видимые связи «каменной цивилизации» с современной технической цивилизацией.

¹ Ф. Энгельс. Диалектика природы. — М.: Политиздат, 1982, с. 151.

Открытие в 1953 г. Джеймсом Уотсоном и Френсисом Криком двойной спирали ДНК навсегда останется примером того, как функционально-структурный подход в сочетании с физическим подходом к чисто биологической проблеме — в данном случае к проблеме передачи потомству наследственной информации — может дать неожиданные результаты.

Используя данные, накопленные в работах целого ряда исследователей, Дж. Уотсон и Ф. Крик сумели вообразить целостную пространственную структуру — сумели свести воедино, объединить в пространстве множество отдельных деталей так, что представленная ими структура в форме двойной спирали имела единую организацию и единство действия.

Так как данная работа посвящена проблеме эволюционного синтеза систем, следует отметить, уже в 1934 г. советский биолог Н. К. Кольцов на Третьем съезде зоологов нашей страны говорил: «В основе каждой хромосомы лежит тончайшая нить, которая представляет собой спиральный ряд огромных органических молекул — генов. Возможно, вся спираль является одной гигантской длины молекулой... При размножении клетки и хромосомы эта спиральная молекула делится продольно или, точнее, на нее накладывается под влиянием сил кристаллизационного сцепления второй такой же ряд генов».

Главная мысль работ Н. К. Кольцова: каждая наследственная молекула — из молекулы же. Теперь мы знаем, что Н. К. Кольцов был прав — он почти во всех чертах сумел провидеть и сформулировать основные закономерности в организации механизма наследственности.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ

Б. М. Кедров [27] отмечает, что «клеточка» изложения диалектики, по Ленину, должна быть «клеточкой» мышления (суждения), отражающей элемент внешнего мира (объекта), но не материальной «клеточкой». Только в этом случае в «клеточке» будет представлен не один объект, но и он и его отражение в сознании субъекта.

По глубокому убеждению автора настоящей работы при анализе и синтезе антропогенных систем такой

«клеточкой» является функционально-структурная организация системы. Функциональная организация выражает проявление свойств системы во внешней среде, а структурная организация — состав и взаимосвязи элементов в системе. Функционально-структурная организация выражает как особенности строения (структуры) и взаимодействия (поведения) системы с внешней средой, так и внутреннее взаимодействие элементов в процессе функционирования системы.

Функциональная организация системы может быть описана алгоритмически, аналитически, графически, таблично, посредством временных диаграмм функционирования и вербально (словесно). Для описания структурной организации системы используются графическое или табличное представление связей между элементами системы. В автоматизированных системах проектирования для описания функционально-структурной организации используется аппарат теории графов.

Для описания функционально-структурной организации систем, помимо перечисленных, необходима разработка новых средств описания внутреннего взаимодействия элементов в процессе функционирования системы.

В классической теории систем принято выделять следующие виды представлений иерархических систем: структурированное, отражающее иерархию структурных решений; многослойное, отражающее иерархию целей системы; многоэшелонное, описывающее совместно функциональную и структурную иерархию.

Описание должно соответствовать концепции развития систем определенного класса и удовлетворять следующим требованиям. Оно должно быть открытым и допускать возможность расширения (сужения) спектра функций, реализуемых системой, и предусматривать возможность перехода от одного уровня рассмотрения системы к другому, т. е. обеспечивать построение виртуальных моделей систем любого уровня.

В настоящей работе для описания функционально-структурной организации антропогенных систем используются:

многоуровневое представление функций системы — дерево функций;

операторные модели функционирования системы; представление структуры на основе функциональных и конструктивных модулей;

временные диаграммы активности системы.

Основу описания функционально-структурной организации составляет дерево функций, представляющее собой многоуровневую декомпозицию макрофункций системы, адекватное по своей структуре принципам иерархической организации систем.

Анализ развития систем с позиций функционально-структурного подхода приводит к следующим выводам:

1. Структура системы определяется совокупностью реализуемых функций.

2. Между реализуемыми функциями и структурой системы не существует взаимно-однозначного соответствия. Один и тот же набор функций может быть реализован различными совокупностями многофункциональных и специализированных элементов, объединенных в систему.

3. При изменении условий существования системы осуществляется изменение спектра реализуемых системой функций, приводящее к соответствующим изменениям в структуре системы. Таким образом, осуществляется адаптация функционально-структурной организации системы к изменяющимся условиям существования.

4. В процессе развития систем формируются различные классы и виды систем, функционально-структурная организация которых наиболее адекватна определенным условиям существования («экологическим нишам»).

Для антропогенных систем эти закономерности интерпретируются следующим образом. В процессе развития происходит изменение набора функций, реализуемых антропогенными системами определенного назначения, приводящее к соответствующим изменениям функционально-структурной организации системы. Изменение ФСО антропогенных систем имеет место и при совершенствовании технологий. Использование ФСП предполагает проведение глубокого предварительного анализа основных и дополнительных функций системы и связей между ними.

При создании новых систем имеет место целенаправленный процесс воспроизведения заданной совокупности функций создаваемой системы. Определяющим, первичным при создании системы является ее функциональная (проблемная) ориентация. Каждая антропогенная система должна эффективно и экономично реализовать заданную совокупность основных и дополнительных функций, т. е. должна удовлетворять определенным функциональным требованиям. При невыполнении этих условий система либо перестает существовать, либо

требует создания дополнительных подсистем для удовлетворения полного совокупного набора функций. Если в процессе проектирования не придается должного внимания определенной, казалось бы второстепенной функции, то система становится неэффективной в процессе эксплуатации и обречена в своем существовании. Закономерность первичности функционального назначения создаваемой системы и вторичности формирования ее структуры на основе определенного субстрата обуславливает необходимость функционально-структурного подхода к синтезу системы.

Заданная совокупность функций системы может быть реализована как многофункциональными, так и специализированными компонентами. Количественное соотношение между специализированными и многофункциональными компонентами зависит от возможностей технологии создания системы и, в свою очередь, влияет на качество создаваемой системы. В рационально созданных системах преобладают многофункциональные компоненты. При идентичных (равных) многофункциональных возможностях наиболее эффективна и экономична система с минимальной структурой.

Такая система при заданной совокупности реализуемых функций и определенной производительности содержит наименьшее число компонентов. Естественно, что сравнение должно проводиться для компонентов одного уровня сложности с эквивалентными конструктивными, надежностными и экономическими показателями.

Таким образом, ФСП является естественным и единственно возможным при создании развивающихся систем. Функциональное назначение системы (совокупность реализуемых функций) и условия существования (функционирования) определяют структурную организацию антропогенной системы. Система может удовлетворять своему функциональному назначению, имея различную структурную организацию.

Глава 2.

РАЗВИТИЕ АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ

При решении задач анализа и синтеза необходимо исходить с позиций развития систем. Этот подход является единственно оправданным и в науке, и в практике. Так, например, успехи современной биологии во многом обязаны признанию и влиянию концепции развития на функционально-структурную организацию биосистем. Насостоятельно необходимым становится исследование закономерностей развития систем, созданных человеком. «...Самое важное...» — отмечал В. И. Ленин, — это — не забывать основной исторической связи, смотреть на каждый вопрос с точки зрения того, как известное явление в истории возникло, какие главные этапы в своем развитии это явление проходило, и с точки зрения этого его развития смотреть, чем данная вещь стала теперь».¹

Большие сроки создания сложных систем (от двух до пяти и более лет) заставляют пересмотреть традиционный подход к проектированию. Техническая база, являющаяся основой создания систем, непрерывно совершенствуется. Например, в системах обработки информации и управления развитие электронных компьютеров идет такими темпами, что каждые 2 — 3 года появляется новое поколение интегральных микросхем (ИМС) и микропроцессорных комплектов больших интегральных схем (МПК БИС).

Анализ закономерностей развития антропогенных систем необходим не только для научного прогнозирования эволюции систем определенного класса. При указанном

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 39, с. 67.

выше быстром моральном старении систем необходимо создание новой стратегии из синтеза и технического проектирования. Необходимо обеспечить преемственность в развитии систем и сократить сроки их проектирования, создания и внедрения. В качестве такой новой стратегии в настоящей работе предлагается методология эволюционного синтеза.

Необходимо различать законы функционирования и закономерности развития систем определенного класса. Законы функционирования антропогенных систем определенного класса отражают структуру системы, состав и взаимодействие ее элементов, пространственно-временные и причинные связи между элементами системы, процессы взаимодействия системы с внешней средой. Законы функционирования систем определяются фундаментальными законами природы и являются предметом изучения естественных и технических наук.

В отличие от законов функционирования законы развития характеризуют механизмы качественного преобразования систем определенного класса. Законы развития — законы смены качества системы. Законы развития антропогенных систем отражают не только смену поколений систем определенного функционального назначения, но и количественные и качественные (прогрессивные или регрессивные) изменения в рамках основного качества системы.

Законы функционирования и законы развития систем органически взаимосвязаны. Законы развития как бы подчиняют функциональные законы, определяют основные направления совершенствования антропогенных систем. Исследование законов функционирования, в свою очередь, позволяет проникнуть в сущность системных процессов и выявить основные направления развития систем соответствующего класса. Необходимо отметить, что искусственные системы конструируются из материалов естественной природы, при их создании используются объективные закономерности материального мира. Потребности общества в конечном счете обуславливаются также объективными причинами.

Законы функционирования и развития систем нужно изучать. Познание законов развития антропогенных систем позволяет определить путь качественного преобразования систем определенного функционального назначения, научно обосновать прогноз их развития и правильно организовать этапы проектирования, создания и эк-

сплуатации систем. Знание закономерностей развития позволяет сформулировать новую концепцию создания антропогенных систем — перейти к созданию «развивающихся», наращиваемых систем, систем с адаптивно перестраиваемой функционально-структурной организацией. Саморазвитие антропогенной системы имеет место, когда происходит повышение степени адаптации системы к условиям взаимодействия с внешней средой и при повышении эффективности функционирования системы.

Изменение потребностей общества в процессе развития приводит к необходимости объективного расширения и усложнения функций, реализуемых системами (качественные изменения), и усилению требований к их количественным показателям. В процессе совершенствования антропогенных систем и, в частности, орудий труда расширяется совокупность реализуемых ими функций. Общественное производство организуется таким образом, что по мере развития орудий труда рабочий передает машинам все большую часть своих функций по обработке предмета труда. В свою очередь, функции рабочего зависят от вида используемых орудий труда, от того, какие функции и в каком объеме могут быть переданы машине, станку, обрабатываемому центру, робототехническому комплексу.

Развитие техники промышленного производства как элемента производительных сил идет в следующей последовательности: орудия ручного труда, частичная механизация, комплексная механизация, подготовительный этап автоматизации, автоматические станки, система автоматических станков, система автоматизированных цехов, гибкие автоматизированные и автоматические производства.

В процессе общественного развития происходит непрерывное совершенствование орудий труда. Рабочий затрачивает все меньше усилий на производство единичной продукции и превращается по мере совершенствования общественного производства в оператора и настройщика автоматизированных систем и комплексов различного функционального назначения. Непрерывно происходит перераспределение функций между человеком и технической системой. В современных автоматизированных комплексах на человека-оператора возлагаются наиболее ответственные функции контроля за ходом процесса и принятия решения в экстремальных, непредвиденных ситуациях. Средства труда являются показателем тех общественных отношений, при которых совершается труд.

К. Маркс отмечал, что «экономические эпохи различаются не тем, что производится, а тем, как производится, какими средствами труда»¹.

Исследование технологической системы должно начинаться с такого элементарного ее компонента, как продукта. Продукт является исходным и ключевым моментом системы. Именно ради движения от исходного к конечному продукту формируется, сохраняется, совершенствуется и развивается сложнейшая система взаимосвязей компонентов системы друг с другом, компонентов с системой в целом, системы в целом с окружающей средой.

Прослеживая процесс образования и функционирования индустриальных систем, И. Хорват отмечает, что зависимости, выявленные К. Марксом, «... являются не только свойствами данной экономической системы и характеризуют не только данную экономическую систему, но также и исторический процесс развития экономических систем. Компоненты предшествующего состояния экономической системы воспроизводятся на каждом этапе развития и в настоящее время выступают как основа развития в будущем» [60]. Структура индустриальной системы развивается под взаимным влиянием двух взаимообусловленных связей — функциональных и технологических.

Несмотря на то, что творчество, создание простейших орудий труда, предметов вооружения имеют историю, исчисляемую тысячелетиями, только современное интенсивное развитие систем, быстрая смена их поколений заставили исследователей и творцов техники задуматься над закономерностями развития антропогенных систем. Однако, к сожалению, до настоящего времени практически отсутствуют серьезные исследования по проблеме закономерностей развития антропогенных систем.

Задержка в формировании методологии анализа и синтеза антропогенных систем объясняется многими факторами. Отметим некоторые из них.

1. Появление сложных многоуровневых искусственных систем относится к середине XX в., следовательно, проблема синтеза сложных систем — сравнительно новая проблема.

2. Существенно сказывается разобщенность проектировщиков и создателей сложных систем. При создании

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., 2-е изд., т. 23, с. 191.

сложных систем каждый делает свою подсистему, свой узел, и только единицы очень занятых специалистов представляют систему в целом. Главный конструктор, к сожалению, зачастую выполняет и функции администратора, у него нет времени для обобщения опыта.

3. При разработке методов анализа и синтеза системы чрезвычайно важным является выбор стратегии проектирования.

Следует отметить, что в отечественной и зарубежной литературе вопросы развития антропогенных систем не получили должного отражения. Закономерности развития технических систем практически не исследованы до настоящего времени.

Отдельные работы, имеющие философскую направленность, содержат обобщения, которые не могут быть эффективно использованы при анализе развития систем конкретного класса и тем более не являются конструктивными для создателей реальных систем.

Наиболее значительными работами в рассматриваемой области являются монография Ю. С. Мелещенко «Техника и закономерности ее развития» (Ленинздат, 1970) и монография Б. И. Иванова и В. В. Чешева «Становление и развитие технических наук» (Л: Наука, 1977).

Вопросы развития электронных и электротехнических систем получили наибольшее обобщение в специальных юбилейных изданиях [75, 82] Трудов Института радионинженеров (IRE) и журнала «Электроника» (Electronics). Однако указанные издания представляют фактически хронологическую подборку материала по исследованиям, проводимым при создании технических систем определенного функционального назначения: электродвигателей, электрогенераторов, радиолокационных станций, систем телевидения и т. д. Из отечественных исследований необходимо отметить труды Института истории естествознания и техники АН СССР по анализу общетеоретических проблем развития науки и техники, исследованию специфики наук и ряд коллективных монографий (историко-технических очерков) по истории развития авиационной и ракетно-космической науки и техники [76]. Эти работы представляют сборники трудов, авторами которых являются известные специалисты в соответствующих разделах технических наук, а также ученые-практики. Такие статьи представляют несомненный исторический и научный интерес и могут служить материалом для более глубоких обобщений. Однако отсутствие единой методологии при исследовании процессов развития технических систем, естественно, сказывается на качестве анализа.

Акад. В. И. Вернадский отмечал, что важно не только изучение научной истины, но и усвоение научных закономерностей применительно к потребностям жизни. Объективные закономерности развития систем могут быть выявлены только при исследовании эволюционного процесса различных классов функционально-ориентированных систем, при единой методологии анализа, при правильном выборе «клеточки» диалектического рассуждения [27, 28]. В качестве такой «клеточки» в работе принята

функционально-структурная организация систем. Основой анализа развития антропогенных систем является функционально-структурный подход, базирующийся на примате функции по отношению к структуре.

Функционально-структурная организация системы, внутренние связи системы являются основными системообразующими факторами, формирующими интегративные, системообразующие качества, не присущие отдельным элементам системы. Для функционально-структурной организации систем свойственны специфические связи и отношения. Наиболее характерными из них являются координация и субординация [8].

Координация выражает пространственную упорядоченность элементов системы, упорядоченность «по горизонтали» элементов одного уровня функционально-структурной организации.

Субординация отражает «вертикальную» организованность системы и характеризует организацию управления элементами более низкого уровня системной организации со стороны элементов более высокого уровня. Как правило, сложные антропогенные системы имеют иерархическую функционально-структурную организацию [54].

Необходимость реализации непрерывно расширяющегося спектра функций приводит к практическому использованию на различных уровнях функционально-структурной организации антропогенных систем комплексного взаимодействия процессов различной природы — физических, химических, биологических — соответствующих различным формам движения материи. В динамических антропогенных системах осуществляется непрерывное взаимодействие вещественно-энергетических и информационных процессов.

ЭВОЛЮЦИЯ ФУНКЦИЙ И ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

В антропогенных системах сосуществуют два параллельно идущих эволюционных процесса: эволюция функций и эволюция технологий.

Анализ развития антропогенных систем показывает, что *темпы эволюции функций опережают темпы эволюции технологий*. Всегда потребности общества в реализации новых, возникающих в процессе развития человечества, функций опережают возможности их эффективной реализации.

Эволюция функций антропогенных систем определяется прежде всего непрерывным расширением потребностей общества в производственной и непроизводственной сферах. Необходимость решения новых задач порождает новые функции, которые должны быть реализованы в материальных системах. Наряду с порождением новых функций усиливаются требования к количественным характеристикам ранее реализованных функций, что стимулирует в отдельных случаях создание систем принципиально нового класса.

Так, например, в текущем столетии перед обществом встали следующие задачи:

получение, преобразование и передача на большие расстояния энергии в непрерывно возрастающих масштабах;

дальнейшее повышение производительности труда в промышленности и сельском хозяйстве;

транспортировка больших потоков пассажиров и грузов на дальние расстояния в сжатые сроки;

обеспечение эффективной связи и передачи больших объемов информации при значительном удалении абонентов;

повышение производительности вычислительных работ и обработка больших информационных массивов; управление сложным технологическим и специальным оборудованием, управление подвижными объектами; совершенствование средств и систем вооружения; освоение глубин мирового океана и космического пространства;

диагностика и управление функциональным состоянием биообъекта, компенсация утраченных функций человеческого организма;

совершенствование системы образования и повышение уровня культуры населения;

повышение уровня сервисного обслуживания и другие.

Для решения перечисленных задач надо было реализовать соответствующие множества функций. В результате были разработаны и созданы следующие системы:

мощные энергетические установки, гидроэлектрические станции, атомные электростанции, высоковольтные линии электропередачи постоянного и переменного тока. Единая энергетическая система страны и т. д.;

мощные промышленные комплексы, высокопроизводительное технологическое оборудование, автоматические и автоматизированные технологические линии, агропро-

мышленные комплексы, современная сельскохозяйственная техника, автоматизированные системы управления технологическими процессами и т. д.;

автомобильные и железнодорожные магистрали, магистральные тепловозы и электровозы, специализированный вагонный парк, большегрузные автомобили и вездеходы, воздушные пассажирские лайнеры и аэробусы, транспортная авиация, трубопроводы, сухогрузы, танкеры, контейнеровозы и комфортабельные трансатлантические пассажирские суда;

системы проводной связи (радиосвязь, многоканальные кабельные и радиорелейные линии связи, оптоэлектронные и спутниковые системы связи);

аналоговые и цифровые механические и электро-механические счетно-решающие устройства, аналоговые и цифровые электронные вычислительные машины, Единая система ЭВМ, многомашинные и многопроцессорные системы, распределенные вычислительные системы;

системы числового программного управления технологическим оборудованием, микро- и мини-ЭВМ, функционально-ориентированные микропроцессорные информационно-управляющие системы, автоматические системы управления, системы стабилизации подвижных объектов, системы навигации, системы ориентации, бортовые информационно-управляющие системы;

акваланги, глубоководные водолазные и космические скафандры, подводные лодки и батискафы, исследовательские буи и искусственные спутники Земли, космические корабли и орбитальные станции, научно-исследовательские суда и ракетодомы, системы телеметрии и системы управления полетами, системы жизнеобеспечения космонавтов и акванавтов;

медицинские приборы и аппараты, рентгеновская аппаратура и вычислительные томографы, аппараты искусственного кровообращения и гемодиализа, кардиомониторы, кардио- и миостимуляторы, аппаратура воздействия на биологически активные точки, протезы конечностей с управлением биотоками, «электронное» ухо и другие системы компенсации утраченных функций;

технические средства обучения, терминальные системы с доступом к банкам данных, кино, радио, телевидение и другие средства массовой информации;

бытовая техника, специализированные службы и транспортные средства, видеотелефон, информационно-справочные системы и т. д.

Перечисленные аппараты, машины и системы, отражающие далеко не полный перечень технических систем современного мира, показывают, сколь велики и разнообразны функции антропогенных систем. Спектр этих функций непрерывно расширяется.

Следует отметить, что не только потребности общества являются причиной динамичного развития и совершенствования антропогенных систем. Непосредственно само развитие таких систем, новые научные открытия и изобретения, усовершенствование существующих и появление новых технологий также стимулируют развитие АГС и расширение спектра реализуемых ими функций. Естественно, что экономические соображения и технологические возможности при наличии спроса во многом определяют темпы развития систем определенного функционального назначения. Совершенствуются старые, хорошо зарекомендовавшие себя технологические процессы добычи полезных ископаемых, технологические процессы в металлургии, металлообработке, в сельском хозяйстве и т. д. Одновременно интенсивно развиваются и также непрерывно совершенствуются новые и новейшие технологические направления: электрическая сварка, порошковая металлургия, производство пластических материалов, высокочастотная обработка материалов, электроэрозионная обработка металлов, интегральная технология производства радиоэлектронных компонентов, лазерная технология, биотехнология и т. д.

Новые технологии применяются во всех сферах производства материальных благ и оказания услуг — от лазерной закалки деталей машин до создания искусственных органов человеческого организма. Все совершенствования технологий направлены в конечном счете на повышение производительности труда и качества изделий, сбережение трудовых, материальных и энергетических ресурсов, а также на снижение уровня отрицательных воздействий на окружающую среду. И все же потребности общества в необходимости реализации новых функций опережают, как правило, возможности существующих технологий. Это несоответствие и является основной движущей силой научно-технического прогресса. Так, например, исключительно высокая сложность и ненадежность радиоэлектронных и вычислительных систем стимулировали в 1950-х гг. развитие полупроводниковой электроники, 1960-х гг. развитие и широкое производство интегральных микросхем и в 1970-х гг. — развитие микро-

процессорной техники и однокристалльных микро-ЭВМ. Теперь во всем мире идет «микропроцессорная революция». Использование микропроцессорной техники позволяет существенно расширить спектр основных и дополнительных функций системы, создать «интеллектуальные» приборы и комплексы.

Рассмотрим кратко возможности новых технологий на примере изготовления интегральных микросхем различной степени интеграции. В настоящее время реализуются большие интегральные схемы (БИС) и супер-БИС со степенью интеграции сотни и тысячи вентилях на 1 мм^2 . В ближайшие годы реальна разработка БИС и супер-БИС с функциональной плотностью $10^5 - 10^6$ вентилях на кристалл. Разработка таких схем должна стать одним из решающих факторов создания сверхвысокопроизводительных информационно-управляющих систем четвертого и пятого поколений. Начиная с 1976 года разрабатываются и серийно выпускаются 16-разрядные микро-ЭВМ, реализованные на одном кристалле.

Достижение высокой функциональной плотности возможно только при комплексном совершенствовании технологии изготовления БИС и широком использовании АСУ на этапах проектирования, изготовления и контроля БИС. Существенное уменьшение размеров схемных элементов и улучшение их характеристик может быть достигнуто за счет усовершенствования процессов диффузии, травления, легирования и применения прецизионных методов литографии, в частности электронно-лучевой и рентгенолучевой литографий. В работах [89—93] автором подробно рассмотрены вопросы эволюции функциональных и конструктивных модулей и развитие технологической базы информационно-управляющих систем, совершенствование интегральной технологии, эволюция функций и технической реализации средств обработки информации и систем управления, а также эволюция общения пользователей с системами обработки данных и принятия решений.

ЦЕЛЕВАЯ, ОСНОВНЫЕ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ

Выше отмечалось, что непрерывное расширение функций является одной из закономерностей развития сложных систем. Все функции, реализуемые сложной системой, могут быть условно разделены на три группы: целевая функция, основные (базовые) функции системы, дополнительные функции системы.

Целевая функция системы соответствует основному функциональному назначению системы. Основные функции отражают ориентацию системы и представляют совокупность макрофункций, реализуемых системой. Эти функции обуславливают существование систем определенного класса. Дополнительные сервисные функции расширяют функциональные возможности систем, сферу их применения и способствуют улучшению показателей качества систем. Обычно дополнительные функции могут рассматриваться как сервисные функции, повышающие эффективность и уровень эксплуатации систем. Так, например, основными функциями медицинского прибора тонометра являются измерение верхнего и нижнего уровней артериального давления. В настоящее время созданы приборы — полуавтоматы для измерения артериального давления, в которых реализуются следующие дополнительные функции: автоматическое закрепление манжеты, автоматическое формирование программы измерения верхнего и нижнего уровня давлений, цифровая индикация и регистрация измеряемых параметров, сравнение измеренных значений с нормой конкретного пациента, документирование результатов измерения.

Деление функций на дополнительные и основные является условным, и при определенных требованиях к проектируемой системе и экстремальных условиях ее эксплуатации дополнительные функции могут переходить в разряд основных. При проектировании систем учет дополнительных функций является желательным, но не обязательным для обеспечения функционирования системы. Следует отметить, что расширение набора основных функций определяет новый этап развития систем, соответствующий новым потребностям общества, новому уровню знаний и новым возможностям технологий. Дополнительные (сервисные) функции непрерывно расширяются. Проследим эволюцию функций на примере развития радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

Целевая функция радиоприемного устройства — прием сигналов радиостанций. Базовыми функциями радиоприемных устройств являются: усиление сигнала высокой частоты; селекция сигналов (обеспечение избирательного приема); демодуляция сигналов; усиление сигналов низкой частоты; воспроизведение низкочастотных сигналов. К дополнительным функциям радиоприемных устройств можно отнести: обеспечение автоматической регулировки усиления, обеспечение работоспособности при изменении на-

прямая сеть, ретрансляция сигнала в другие помещения, фиксированная настройка и т. д.

Развитие техники звукозаписи позволило в 1930-х гг. создать новый класс РЭА — радиолы, в которых дополнительно реализуется новая базовая функция — воспроизведение граммофонной записи. Совершенствование техники магнитной записи, снижение скорости движения носителя и повышение плотности записи на носитель, а также уменьшение стоимости аппаратуры магнитной записи позволило в 1950-х гг. обеспечить выпуск магнитол, представляющих комбинацию радиоприемника и магнитофона. В период 50 — 60-х гг. получили развитие радиокомбайны, совмещающие следующие функциональные и конструктивные модули: приемник — проигрыватель, приемник — магнитофонная панель, приемник — телевизор, а также другие возможные комбинации перечисленных модулей. В высококачественных радиолх тех лет обеспечивалась дополнительная функция — автоматическая смена граммпластинок. Дальнейшее развитие звукозаписи, появление долгоиграющих пластинок привело к отмиранию этой функции.

Появление полупроводниковых приборов, успехи в развитии технологии производства РЭА, миниатюризация РЭА, совершенствование техники магнитной записи позволили создать новый класс радиотехнических устройств и систем — переносную РЭА; переносные радиоприемники, кассетные магнитофоны и т. д. Требования малого веса и габаритов, легкости переноски и транспортировки рассматриваются как основные требования к созданию этого класса аппаратуры. Непрерывно расширялись и дополнительные функции РЭА: бесшумная настройка приемников, введение автостопа в проигрывателях, автоматическое включение и выключение аппаратуры в заданное время и др.

В 50 — 60-х гг. был освоен УКВ диапазон и созданы радиовещательные станции с частотной модуляцией сигнала, обеспечивающие высококачественное воспроизведение моно- и стереопрограмм. Функция приема сигналов в УКВ диапазоне стала основной для радиоприемной аппаратуры 1-го и 2-го классов. В радиоприемной аппаратуре 1-го и высшего классов основной стала функция приема стереофонических программ. Следует отметить очень важное требование — требование совместности воспроизведения моно- и стереофонических программ в современной радиоприемной аппаратуре и требо-

вание приема черно-белых и цветных программ в телевизионных приемниках. Обеспечение требования совместности рассматривается в качестве базовой функции при создании соответствующей РЭА. Функция совместности является обязательной и для аппаратуры звукозаписи.

Необходимо отметить, что для относительно простых, одноуровневых систем целевая и основная функция могут совпадать.

ДЕРЕВО ФУНКЦИЙ СИСТЕМЫ

Дерево функций системы (ДФС) представляет декомпозицию функций системы. ДФС формируется с целью детального исследования функциональных возможностей системы и анализа совокупности функций, реализуемых на различных уровнях иерархии системы. На базе ДФС осуществляется формирование структуры системы на основе функциональных модулей. В дальнейшем структура на основе таких модулей покрывается конструктивными модулями системы. Таким образом, этап формирования дерева функций является одним из наиболее ответственных не только при анализе, но и при синтезе структуры системы. Ошибки на этом этапе приводят к созданию «систем-инвалидов», неспособных к полной функциональной адаптации с другими системами, пользователем и окружающей средой. Исходными для формирования дерева функций являются основные и дополнительные функции системы. Техническое задание на систему должно подвергаться тщательному анализу. Часто заказчик ограничивается формулировкой только наиболее существенных функций системы. В этом случае исполнитель должен тщательно проанализировать полную совокупность функций, которая должна быть реализована системой. При этом необходимо учесть вопросы взаимодействия пользователя с системой (психофизиологический и эргономический аспекты), а также проблемы, возникающие при взаимодействии антропогенной системы с окружающей средой.

Рассматриваемые ниже уровни декомпозиций функций могут быть весьма полезными при таком анализе. Основное правило, определяющее стратегию формирования дерева функций: «Нельзя ничего забыть, ни на одном уровне иерархии системы».

Формирование дерева функций представляет процесс декомпозиции целевой (F^0) и множества основных и до-

полнительных $\{F^i\}$ функций на более элементарные функции, реализуемые на последующих уровнях декомпозиции. Реализуемая на i -м уровне функция (F^i) представляет собой одну из элементарных функций (микрофункций) по отношению к порождающей ее макрофункции (F^{i-1}) . Функция (F^i) в свою очередь рассматривается как макрофункция по отношению к функциям последующего нижнего $(i+1)$ -го уровня. Следовательно, при формировании дерева функций каждая из функций конкретно взятого (i) -го уровня может рассматриваться как макрофункция по отношению к реализующим ее функциям $(i+1)$ -го уровня и как элементарная функция по отношению к соответствующей функции верхнего $(i-1)$ -го уровня.

Процесс декомпозиции функций представляется в виде дерева функций системы. Как правило, в процессе декомпозиции выделяются следующие группы уровней системы, определяющие степень детализации описания реализуемых функций. Первая группа включает нулевой уровень. Этому уровню соответствует целевая функция системы F^0 . На уровнях второй группы осуществляется декомпозиция целевой функции и формирование основных и дополнительных функций. Основные функции представляют общие функции для систем рассматриваемого класса. Их дальнейшая декомпозиция отражает проблемную ориентацию и специализацию конкретной создаваемой системы. Уровни второй группы соответствуют функциям отдельных подсистем. Уровни третьей группы отражают функции, воспроизводимые элементами системы.

Тщательный анализ функций систем-прототипов, формирование обобщенного дерева функций систем рассматриваемого класса оказываются весьма полезными при создании новых систем. Дерево функций не обязательно представлять в виде развернутого графа. Возможно представление дерева функций в виде специальных таблиц, структурированных схем и т. д. Каждый из проектировщиков систем выбирает наиболее близкий и удобный для него способ отображения. Важно одно — полнота представления информации о функционировании системы.

В последующих разделах работы рассмотрены деревья функций ряда современных информационно-управляющих систем:

универсальной вычислительной системы;

многофункционального контроллера;
автоматизированной системы управления технологическими процессами;
системы экспресс-диагностики и управления функциональным состоянием биообъекта;
системы управления микроклиматом зимних теплиц и др.

ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ВЛОЖЕНИЯ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИЙ РАЗВИВАЮЩИХСЯ СИСТЕМ

Каждое новое поколение систем определенного класса воспроизводит совокупность основных функций, реализуемых системами предшествующих поколений.

Стабильность состава основных функций обуславливает относительную устойчивость функций подсистем многоуровневой системы. Основные и дополнительные функции многоуровневой системы декомпозируются в дерево функций, реализуемых отдельными подсистемами и элементами, находящимися на различных уровнях системной иерархии. Потребности общества определяют целевую функцию антропогенной системы. Координация и субординация как принципы организации взаимодействия элементов могут рассматриваться не только как средство согласования функционального взаимодействия отдельных элементов и уровней структурной организации, но и как средство согласования подцелей элементов и подсистем антропогенной системы.

Реальное число уровней декомпозиции целевой функции системы до уровня функций, реализуемых функциональными и конструктивными модулями системы, составляет не более 5—7 уровней. На последних уровнях декомпозиции реализуются элементарные функции (операторы) систем соответствующего класса. Расширение функциональных возможностей системы приводит к разветвлению дерева функций. Наиболее интенсивным изменениям подвергаются дополнительные функции. Эти изменения направлены на увеличение производительности системы и совершенствование взаимодействия пользователя с системой. Можно утверждать, что существует взаимное вложение деревьев функций развивающихся систем определенного класса.

Закономерность взаимного вложения деревьев функций развивающихся систем подтверждается тем, что как правило, все изобретения имеют прототипы. Целью изобре-

гений обычно являются расширение функциональных возможностей системы (прибора, машины, аппарата), повышение производительности или улучшение технико-экономических и эксплуатационных показателей системы: повышение мощности и эксплуатационных показателей системы; коэффициента полезного действия, надежности, живучести, снижение габаритно-весовых характеристик, улучшение потребительских свойств системы и т. д.

Учитывая взаимосвязь и взаимопереходы количественных и качественных характеристик, можно считать, что развитие антропогенных систем идет в направлении расширения или сужения, совмещения или разделения спектра реализуемых функций. Основным источником развития антропогенных систем является борьба диалектических противоположностей — «многофункциональность — специализация» (см. гл. 4).

Типовая формулировка предмета изобретения включает перечисление модулей и связей прототипа в ограничительной части и отличительные признаки (новые элементы и связи), предназначенные для реализации дополнительных функций.

Большинство систем в своей функционально-структурной организации повторяет прототипы. Вновь созданные системы могут отличаться:

- набором дополнительных функций;
- усилением основных функций, улучшением количественных характеристик воспроизведения основных функций, технической реализацией;
- улучшением технико-экономических показателей.

Все изобретения укладываются в определенные классы. Исключение составляют только «пионерские» изобретения, рождающие новые системы, машины, приборы и устройства, работающие на новых принципах и предназначенные для реализации новых базовых функций. Число принципиально новых систем, решенных на уровне изобретений, сравнительно невелико. Примерно одно изобретение на десять тысяч изобретений [64]. Введение новых основных функций в систему порождает новые классы (подклассы) систем. Так, например, введение в состав основных функций универсальных вычислительных машин (автоматическая обработка, хранение, ввод и вывод информации) новой основной функции (сопряжение с управляемой системой) привело в 1960-х гг. к созданию управляющих цифровых вычислительных машин (УЦВМ), которые в настоящее время представлены семействами

(рядами) управляющих вычислительных комплексов (УВК).

ВЗАИМОСВЯЗЬ И ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ

Основные показатели качества антропогенных систем — характеристики производительности, энергетические характеристики, характеристики надежности и эффективности систем, экономические показатели систем — взаимосвязаны и взаимозависимы. Улучшение одной группы показателей качества, например повышение производительности системы, неизбежно приводит к ухудшению других — увеличению потребляемой энергии, усложнению конструкции, снижению надежности и т. д.

Противоречия функционально-структурной организации систем — противоречия между необходимостью эффективной и экономичной реализации определенной совокупности функций и сложностью соответствующей структуры, предназначенной для их реализации, — обуславливают взаимозависимость и противоречивый характер показателей качества антропогенных систем. Конкретные технологические возможности, ограничения на энергетические, материальные и трудовые ресурсы, а также квалификация исполнителей работ обостряют указанные противоречия.

Известен закон динамического уравнивания [52]. Этот закон указывает на определенную тенденцию изменения системы в направлении состояния равновесия, т. е. уменьшения количественных характеристик ее противоречий. В мире живой природы приспособление, адаптация, естественный отбор, гомеостатическое регулирование по своей сути выступают как динамическое уравнивание различных процессов и сторон. Такое приведение в соответствие взаимопроникающих противоположностей способствует разрешению противоречий и в функционально-структурной организации антропогенных систем, и в системе «АГС — внешняя среда».

Методологическое значение принципа уравнивания состоит в том, что он позволяет объяснить отдельные закономерности эволюционных процессов в живой и неживой природе. Следует отметить [52], что «возникновение новой системы в неживой природе подчиняется в каждый данный момент времени принципу наименьшего действия, а это значит, что самодвижение

к равновесному состоянию в любой произвольно взятый момент... происходит наиболее «выгодно», с минимальными отклонениями от данного оптимального пути. Можно сказать, что движение к равновесию происходит по пути наименьшего сопротивления или, что то же, наиболее «равновесным путем».

Закон динамического уравнивания является законом функционирования и развития конечных в пространстве и времени систем «вещь — среда» и по существу относится к развитию вещей, их превращению и взаимопревращению. В историческом материализме этот закон нашел отражение в формулировке законов соответствия уровней развития производительных сил и производственных отношений, общественного бытия и общественного сознания и др. В ряде работ отмечается, что закон динамического уравнивания следует переименовать, так как термин «уравнивание» содержит в себе упрощенное представление о сущности движения, не схватывает всех особенностей его действия как характеристики процесса развития.

Применительно к развитию антропогенных систем принципу динамического уравнивания соответствует рассматриваемая закономерность взаимосвязи и взаимозависимости показателей качества. Впервые эти вопросы были исследованы автором в начале 1960-х гг.

Предложен подход к оценке работоспособности устройств и систем обработки информации, учитывающий взаимосвязь и взаимозависимость характеристик: информационной и конструктивной эффективности, информационной и конструктивной надежности.

Указанная взаимосвязь исследована аналитически и графически. Так, например, граф взаимосвязи, основных характеристик надежности и эффективности системы памяти на основе магнитополупроводниковых элементов содержит 24 вершины и более 100 основных связей.

В работах [96—99], посвященных проблемам технического проектирования, автором подробно исследованы вопросы количественной оценки характеристик информационной и конструктивной надежности и эффективности систем хранения и переработки информации, построены графы взаимозависимостей указанных характеристик, установлены взаимосвязь и противоречивый характер показателей надежности и эффективности информационно-управляющих систем.

В работе [99] исследованы взаимосвязь и взаимозависимость показателей качества сложных прецизионных динамических систем — быстродействующих накопителей информации большого объема на магнитных дисках и магнитной ленте. Сложность анализа и синтеза подобных систем обусловлена тем, что они состоят из подсистем различной физической природы — электронных и электромеханических, в которых осуществляются информационные и энергетические преобразования. Противоречия, которые должны быть разрешены на отдельных этапах проектирования и на различных фазах технологического процесса, усиливают взаимосвязь и взаимозависимость показателей качества антропогенных систем. Проблема проектирования систем сводится к «уравниванию» противоречивых показателей качества. В частности, на различных этапах проектирования систем обработки информации конструкторы добиваются «оптимального» соотношения между характеристиками информационной и конструктивной эффективности. При проектировании энергетических систем осуществляется балансирование мощностных, габаритно-весовых, надежностных и экономических характеристик.

В гл. 6 показано, что использование принципа многофункциональности является эффективным путем разрешения противоречий функционально-структурной организации систем. Только экономичное совмещение функций на различных уровнях функционально-структурной организации позволяет создавать жизнеспособные системы.

Вторым важнейшим направлением совершенствования показателей качества антропогенных систем является миниатюризация и микроминиатюризация элементов, подсистем и систем в целом, что соответствует основной направленности развития антропогенных систем — использованию более сложных форм движения материи, проникновению в микромир, и закономерности повышения функциональной и структурной целостности систем. К этому же аспекту улучшения характеристик технической работоспособности систем относится стратегия повышения «единичной мощности», «единичной производительности» систем, т. е. увеличение выхода полезной продукции (вещества, энергии, информации) с единицы затрат объема, веса, потребляемой энергии и т. д.

Третьим направлением совершенствования систем является повышение степени однородности и регуляр-

ности их структуры. Использование однотипных (унифицированных) элементов с простыми связями между ними способствует повышению технологичности их изготовления и гарантирует их высокую надежность и живучесть в процессе эксплуатации.

Вопросы проектирования информационно-управляющих и вычислительных систем с регулярной структурой на основе многофункциональных модулей рассмотрены в монографиях [93 — 95].

ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОГО И ВРЕМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ПРОТИВОРЕЧИЙ В АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

Противоречия, возникающие в антропогенных системах в процессе развития, разрешаются временно, на определенных этапах развития систем конкретного класса и проявляются в дальнейшем в трансформированном виде на новом качественном уровне развития систем.

Относительный характер разрешения противоречий при создании технических систем можно вскрыть, рассматривая развитие систем определенного класса, с одной стороны, и некоторый конкретный образец системы данного класса, находящийся в эксплуатации.

Конструктор при создании конкретного образца системы приходит к определенному компромиссу в выборе количественных значений показателей качества отдельных подсистем, пытаясь уравновесить противоречивые стороны. Такой подход соответствует подсознательному использованию принципа динамического уравнивания.

Развитие любой системы, в которую специально не заложены свойства самосовершенствования и самоорганизации, после создания такой системы может идти двояко. В развитии может доминировать регрессивная тенденция, приводящая систему к постепенной деградации и конечному выходу из строя. Противодействовать этой тенденции с целью продления срока функционирования системы призван обслуживающий персонал. В развитии системы может в течение определенного периода превалировать прогрессивная тенденция, состоящая в расширении функциональных возможностей системы в количественном и качественном аспектах.

Непрерывное повышение требований к системам, совершенствование средств производства и формирование

новых научных концепций позволяет по-новому разрешить противоречия, возникающие при создании систем определенного класса. Таким образом, можно утверждать, что основное противоречие системы практически на удаётся разрешить раз и навсегда при создании определенного класса систем. Разрешение противоречий возможно лишь при построении определенного образца системы на период его эксплуатации, т. е. временно, относительно.

По аналогии с деревом функций систем можно ввести в рассмотрение и «дерево противоречий систем». Противоречия антропогенных систем по своей сути представляют противоречия между функциями, которые должны быть реализованы на различных уровнях или различных этапах проектирования систем, и соответствующей структурой, реализующей определенную совокупность функций. Противоречия между функциями и структурой являются, по существу, противоречиями между содержанием и формой. Разрешение противоречий между функциями и структурой приводит к созданию более совершенных систем. Необходимость разрешения противоречий на верхних уровнях системной организации приводит к необходимости разрешения цепочки противоречий, возникающих при создании системы.

По сути своей творческий процесс проектирования систем есть процесс последовательного разрешения противоречий отдельных этапов их создания, с одной стороны, и процесс разрешения противоречий, возникающих на различных уровнях системной организации при создании модулей (элементов) соответствующего уровня — с другой стороны.

Показывая источник самодвижения, саморазвития вещей и явлений, В. И. Ленин указывает, что единство противоположностей может существовать только как «развертывание этих противоречивых стремлений»¹. Именно эту диалектическую сущность единства противоположностей отмечает он, подчеркивая, что «единство (совпадение, тождество, равнодействие) противоположностей условно, временно, преходяще, релятивно»². Движение можно понять только как единство прерывности и непрерывности. Этим подчеркивается связь и преемственность всякого развития, объективность каждого момента в процессе развития. В каждый данный момент

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, с. 202.

² В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, с. 317.

имеется определенное единство противоположностей, и оно, и только оно, есть источник дальнейшего развития. В периоды медленных количественных изменений и в моменты возникновения нового качества развитие характеризуется противоположностью сторон рассматриваемого целого, их борьбой, которая приводит к изменению функционально-структурной организации систем.

Основное диалектическое противоречие системы порождает ветвящуюся цепь противоречий системы. Дерево противоречий системы отражает противоречия отдельных уровней функционально-структурной организации системы. В этом дереве находят свое выражение противоречия развития рассматриваемого класса систем, с одной стороны, и противоречия процессов проектирования, изготовления и эксплуатации — с другой.

Типовое противоречие каждого уровня системы отражает противоречия между функциями, реализуемыми на данном уровне, и структурной организацией соответствующего уровня.

Как отмечалось выше, несмотря на кажущееся разнообразие антропогенных систем, число их основных классов весьма ограничено. Различные классы систем представляют по существу сочетание базовых систем: энергетических, производственных, транспортных, информационных.

Целевые функции, основные и дополнительные функции базовых систем не меняются в своей основе. Всегда необходимо производить больше продукции с наименьшими затратами, получать, хранить и передавать на требуемое расстояние дешевую энергию, осуществлять быструю транспортировку людей и грузов на различные расстояния, иметь возможность реализовать сбор, хранение, оперативную обработку и передачу информации. Незменность совокупности основных функций в каждой базовой системе обуславливает относительную стабильность их декомпозиции — деревьев функций системы. Каждому уровню декомпозиции функций соответствуют определенные подсистемы, реализующие совокупность функций определенного уровня.

Диалектические противоречия системы представляют совокупность противоречий отдельных подсистем сложной системы — противоречия между функциями, реализуемыми подсистемой, и трудностями материализации ее структуры. Устойчивость базовых функций, реализуемых системами определенного класса, определяет относительную

устойчивость их функционально-структурной организации и обуславливает относительное постоянство дерева противоречий системы определенного класса. Изменение состава базовых функций системы указывает на качественный скачок в расширении функциональных возможностей системы и свидетельствует об образовании систем нового типа или класса.

В общем виде совокупность противоречий, которые должны быть преодолены при создании антропогенных систем, может быть определена следующим образом: необходимо создать в конкретные сроки при минимальных затратах систему с наиболее простой функционально-структурной организацией, реализующую определенную совокупность основных и дополнительных функций и предназначенную для работы в заданных условиях эксплуатации.

Противоречия на всех уровнях системы есть противоречия между задачами, которые необходимо решить, т. е. теми функциями, которые должны воспроизводиться на определенном уровне, и структурной организацией соответствующего уровня системы. Так, например, пусть необходимо создать быстродействующую систему обработки информации для управления научным экспериментом в реальном масштабе времени.

При создании рассматриваемой системы необходимо будет разрешить, в частности, следующие противоречия: между быстродействием операционного устройства и сложностью его структуры; между объемом и быстродействием подсистемы памяти.

Перед специалистами в области систем обработки информации и биоинженерами стояли и будут стоять всегда следующие задачи.

1. Создание быстродействующих операционных устройств при минимальных затратах оборудования.
2. Создание быстродействующей памяти большой емкости.
3. Неискаженная передача информации на большие расстояния с подвижного объекта.
4. Точная и надежная регистрация в широком частотном диапазоне сигналов биоэлектрической активности и др.

Так как системы находятся в непрерывном развитии, то спектр задач и перечень противоречий, подлежащих разрешению, являются открытыми.

В гл. 6 проводится анализ «узких» мест в существующих системах и излагается стратегия преодоления проти-

воречий, возникающих в процессе развития систем. Рассмотрение вопросов эволюции функционально-ориентированных систем и формирование методологии эволюционного синтеза систем ведется на основе концепции разрешения диалектических противоречий развивающихся систем.

Глава 3.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ

ОСНОВНЫЕ СИСТЕМНЫЕ ПРОЦЕССЫ

В соответствии с функционально-структурным подходом каждая антропогенная динамическая система реализует определенную совокупность функций. Их воспроизведение осуществляется совокупностью многофункциональных и специализированных элементов, объединенных в соответствующую структуру.

При взаимодействии элементов системы могут быть выделены следующие процессы:

преобразование (изменение структуры, состава и свойств) вещества PV .

преобразование (взаимопереходы, трансформация) энергии P_e ;

преобразование (обработка, преобразование формы представления) информации P_i ;

хранение (задержка поступления во времени) вещества MV ;

аккумулирование (накопление) энергии M_e ;

хранение (запоминание) информации M_i ;

транспортировка (перемещение) вещества TV ;

передача энергии T_e ;

передача (обмен) информации T_i .

Для координации функционирования элементов во времени и пространстве необходимо формирование определенных управляющих воздействий CV , C_e , C_i . Эти воздействия формируются внутри системы соответствующей совокупностью элементов, образующих подсистему управления, связанную с окружающей средой.

В эргатических (человеко-машинных) системах функции управления распределяются между техническими

средствами управления и лицом, принимающим решения (человеком-оператором).

В сложных многоуровневых системах в управляющую подсистему поступает информация о состоянии элементов системы и о внешних воздействиях на рассматриваемую систему. Таким образом, осуществляются вещественный, энергетический и информационный обмены между элементами как внутри системы, так и с внешней средой.

Все процессы преобразования вещества и энергии подчиняются законам сохранения. Вещество может изменять свое агрегатное состояние, вступать в химические реакции, одни вещества могут заменяться другими, но при химических реакциях масса каждого отдельного химического элемента остается постоянной. Энергия может преобразовываться из одних форм в другие. Однако при всех преобразованиях вещества и энергии эти процессы подчиняются физическим и химическим законам сохранения. По отношению к информации законы сохранения неприменимы. Информацию можно размножать, перекодировать, уничтожать. Полностью утраченная информация восстановлена быть не может. Перекодирование информации в определенной степени аналогично преобразованию материи и энергии из одной формы в другую.

Совокупность выделенных вещественно-энергетических и информационных процессов позволяет эффективно осуществлять анализ функционально-структурной организации целостных систем и является основой для формирования совокупности базовых операторов, используемых при синтезе антропогенных систем. Все процессы преобразования вещества, энергии и информации взаимосвязаны. Рассмотрим несколько подробнее процессы преобразования и использования энергии. При анализе целесообразно ввести следующие понятия: первичная энергия, вторичная энергия, конечная энергия, полезная энергия.

Первичная энергия — энергия, содержащаяся в первичных природных источниках, например воде, падающей через плотину, только что добытом угле, нефти, природном газе, природном уране. Только в редких случаях первичная энергия может выступать в роли конечной энергии, т. е. энергии, обеспечивающей энергетические нужды потребителя. В большинстве случаев осуществляется преобразование первичной энергии во вторичную. Вторичная энергия — это такая форма энергии, которая может

найти широкое применение. Наиболее характерными примерами вторичной энергии в современных условиях являются электричество и бензин. Для удовлетворения запросов потребителя энергия должна быть преобразована в такую форму, которая удобна для транспортировки, распределения и потребления. Очевидна тенденция создания энергосистем, причем наибольшее распространение получили системы электроснабжения, газоснабжения и централизованного теплоснабжения. Жидкие виды горючего ввиду удобства их хранения, погрузки и транспортировки также нашли широкое применение.

Преобразование первичной энергии во вторичную осуществляется различными способами. Например, крупные тепловые электростанции вырабатывают электроэнергию и тепло для систем центрального отопления. Нефтеперерабатывающие предприятия преобразуют нефть в более удобные виды жидкого топлива — в бензин, керосин, дизельное топливо. В ряде случаев процесс преобразования является конечным звеном совокупности процессов — примером может служить энергия расщепления ядра, производству которой на атомной электростанции предшествуют процессы химического преобразования, изотопного обогащения и производства самого топлива; в других случаях — при использовании гидрогенераторов, ветряных двигателей — преобразование первичной энергии во вторичную осуществляется непосредственно. Потери, связанные с преобразованиями первичной энергии во вторичную и с передачей энергии потребителю, являются своего рода платой за эффективное использование энергии конечным потребителем. Процесс завершается преобразованием вторичной энергии в «конечную» (энергию мотора, печи, электрической лампочки, информационно-управляющей системы) и преобразованием конечной энергии в полезную, т. е. энергию, которая фактически переходит в продукцию или используется в обслуживании.

Следует отметить, что энергия является не просто продуктом потребления, а скорее средством более эффективного использования рабочей силы, технического мастерства, капитальных вложений. Простейшим подтверждением этого тезиса может служить хорошее освещение рабочего места.

Необходимым условием работоспособности энергетической системы является передача энергии на всех уровнях (частях) системы. Передача энергии от одного элемента (подсистемы) к другому (другой подсистеме) может осуществляться следующим образом:

механически (вещественно) посредством рычагов, валов, шкивов, шестеренок, а также путем транспорта рабочего тела — газа, пара, сжатого воздуха и т. д.;

с помощью электромагнитного поля, электрического тока, как это имеет место в силовых трансформаторах, в радиоэлектронных приемно-передающих системах, тепловых системах с воздействием электромагнитным полем различной частоты и в бесчисленных примерах проводной передачи электрической энергии от источников (генераторов) к потребителям;

вещественно-полевым способом, например при передаче энергии с помощью потока заряженных частиц.

Возможно также совмещение энергетических и информационных каналов. Так, например, линии передачи электрической энергии используются в качестве информационных каналов для передачи диспетчерской и управляющей информации. По-видимому, также возможна передача информационных сигналов по трубопроводам, осуществляющим транспорт различных веществ (газ, нефть, и т. д.).

В процессе развития общества резко возрастает индивидуальное потребление энергии его членами. По данным Юнеско, прирост индивидуального потребления энергии характеризуется следующими данными. Первобытный человек-охотник и первобытный земледelec расходовали в сутки не более 12 тыс. ккал. Индивидуальное потребление энергии культурным земледельцем и человеком индустриального общества составляет соответственно 26 и 77 тыс. ккал в сутки. Такой существенный прирост энергии связан со значительным увеличением затрат на бытовое и культурное обслуживание и повышение энерговооруженности промышленности, сельского хозяйства и транспорта.

ВЕЩЕСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ИНФОРМАЦИОННАЯ ЦЕЛОСТНОСТЬ СИСТЕМ

Целостность систем обусловлена взаимосвязью протекающих в них вещественных, энергетических и информационных процессов преобразования, хранения, обмена и управления.

В реальных системах процессы преобразования, хранения и обмена вещества, энергии и информации взаимосвязаны. Управление указанными процессами осу-

ществляется информационными потоками, материализуемыми вещественными и энергетическими носителями.

Сформулированная закономерность вещественно-энергетической и информационной целостности систем соответствует диалектической концепции материального единства мира.

Целостность представляет обобщенную характеристику объектов, обладающих сложной внутренней структурой, и выражает внутреннее единство интегративных свойств и автономность этих объектов.

Понятие целостности играет существенную роль в тех случаях, когда ставится задача получения синтетического знания о системе и когда сама система является достаточно сложной. В настоящее время предпринимаются попытки применения понятия целостности не только к объектам, но и к процессам, происходящим в сложных системах. В связи с непрерывным усложнением систем концепция целостности является одной из определяющих в современных системных исследованиях. Следует отметить, что концепция целостности систем не является глубоко исследованной до настоящего времени, что не позволяет ее конструктивно использовать при анализе и синтезе систем.

Закономерность вещественно-энергетической и информационной целостности подтверждается последними исследованиями в различных областях человеческой практики. Преобразование структуры вещества сопровождается процессами поглощения или выделения энергии. При ядерном распаде энергия выделяется тогда, когда в ядро попадает нейтрон, расщепляя его надвое. При ядерном синтезе два легких ядра сливаются в более тяжелое ядро, обладающее меньшей энергией. Этот процесс сопровождается также высвобождением энергии.

Сравнительно недавно, в начале 1980-х гг., коллективу сотрудников лаборатории динамических испытаний Института проблем механики АН СССР при исследовании «эффекта Степанова» (явление ударной поляризации вещества) удалось доказать возникновение электромагнитного излучения практически при всякой динамической деформации тел. Таким образом было доказано формирование электромагнитных сигналов при энергетическом воздействии на вещество.

В реальных системах процессы обмена, хранения и преобразования информации осуществляются материальными носителями — изменением структуры, состава

и свойств вещества или изменением вида или количества передаваемой энергии. Как правило, в современных технических системах осуществляется преобразование различных видов энергии, определяемых функциональным назначением и структурой элементов системы, в электрическую энергию, несущую информацию о состоянии управляемых подсистем и элементов. Прямые и обратные информационные (управляющие) связи обеспечивают функциональную целостность систем.

Использование процессов переработки информации с целью повышения качества управления системой является характерной чертой для высокоорганизованных систем — биологических, социальных и современных кибернетических информационно-управляющих систем.

Для хранения, передачи и преобразования информации необходимы материальные носители. Информация не существует вне материи, однако носителями информации могут выступать различные объекты. Так, наследственная информация в живой природе кодируется определенной структурой молекул ДНК.

Понятия массы и энергии в некотором смысле абсолютны, так как количественное выражение данной порции массы или энергии есть некоторый инвариант при всех природных процессах, в которых эта порция может участвовать. Информация всегда относительна. Ценность информации определяется тем, какой системой она воспринимается, и в существенно меньшей степени информация зависит от вида носителя, способа передачи и способа кодирования.

Весьма важная информация (важная по тем последствиям, которые она может вызвать, попав в соответствующую среду) может иметь в качестве носителя очень малую порцию вещества или энергии. Так, наследственная информация, которая играет определяющую роль в возникновении индивидуальных особенностей будущего организма, кодируется сравнительно небольшим числом молекул ДНК. Между массой и энергией носителя информации и ее содержанием связь практически отсутствует. Существует очень слабая связь между свойствами носителя информации и количеством знаков, фиксируемых на носителе. Эта связь зависит от принятого способа кодирования информации и физической природы носителя.

Единство вещественных, энергетических и информационных процессов характерно для биообъектов. Извест-

но, что информационные сигналы, регулирующие работу тканей и органов, представляют собой электрические сигналы, которые распространяются по нервным волокнам. В месте контакта между нервной клеткой и клеткой-мишенью (например, мышечным волокном) происходит смена способа передачи информации — с электрического (энергетического) на химический (вещественный). Достигнув нервного окончания, электрический сигнал вызывает выделение некоторого количества медиатора из везикул. Молекулы медиатора взаимодействуют с белковыми молекулами-рецепторами. В результате этого взаимодействия клетка изменяет свою активность. Причем деятельность различных органов и тканей регулируется различными медиаторами.

Рассмотрим взаимосвязь процессов преобразования вещества, энергии и информации на примере информационно-управляющих систем. На вход системы поступает информация о состоянии объекта управления и параметрах внешней среды. Информация может поступать непосредственно к оператору в виде телефонного или телеграфного сообщения, печатного документа, показаний приборов или специальных средств отображения информации. Имеются также каналы автоматического ввода информации в систему.

В процессе функционирования системы хранение, передача и преобразование информации осуществляются материальными носителями различной природы. Так, например, на этапе ввода используются следующие способы представления и преобразования информации: дистанционная передача электромагнитных сигналов по каналам связи (энергетический обмен), ввод информации со специальных носителей перфорационного и магнитного типа (вещественный обмен) и ручной ввод информации оператором с клавиатуры терминального устройства (информационный обмен).

В подсистеме ввода информации осуществляется декодирование входных информационных потоков (воздействий на систему) с целью унифицированного представления информации в системе для ее дальнейшей обработки. Осуществляется преобразование входного информационного потока в электромагнитные сигналы, фиксируемые в электронной памяти после предварительной обработки.

В процессе обработки информации при энергетическом воздействии осуществляется переключение логических и запоминающих элементов операционного и управляющего устройств.

Если рассматривать, в свою очередь, внутреннюю структуру логических и запоминающих элементов, то нетрудно видеть, что различным информационным состояниям этих элементов соответствуют определенные изменения в структуре вещества, из которых созданы эти элементы. В полупроводниковых приборах осуществляется изменение проводимости $p-n$ -перехода, в магнитных элементах — изменение направления намагниченности доменов.

Закономерность вещественно-энергетической и информационной целостности систем удачно иллюстрируется, в частности, единством и взаимосвязью энергетических и информационных процессов в электровакуумных и твердотельных приборах, используемых в радиотехнических и информационно-управляющих комплексах, в интегральных микросхемах различной степени интеграции, осуществляющих переработку информации, представленной в аналоговой или дискретной форме. При выдаче информации и генерации управляющих воздействий формируются соответствующие информационные последовательности с целью дальнейшего преобразования в энергетические и вещественные воздействия на объект управления с параллельным отображением информации о ходе процесса (преобразование формы представления информации). Итак, антропогенная система может рассматриваться «как комплекс взаимосвязанных технических средств, обеспечивающих преобразование массы, энергии и информации» [66].

Закономерность вещественно-энергетической и информационной целостности систем справедлива для систем любого типа. Рассмотрим кратко взаимосвязь вещественно-энергетических и информационных процессов в такой сложной системе, как народное хозяйство.

В народном хозяйстве действуют две компоненты: материально-энергетическая и организационно-информационная. Непрерывно возрастают масштабы переработки природного сырья и материалов, а также количество энергии, необходимое для такой переработки. Для повышения эффективности и экономичности этих процессов необходима глубоко продуманная организация информационного процесса, оперативное управление на всех уровнях функционально-структурной организации такой сложной системы, как народное хозяйство. Таким образом, информация может рассматриваться как полноценный, заменяемый ресурс вещественных, энергетических и трудовых ресурсов. Чем выше производительность

информационно-управляющей системы, тем больше принимается правильных решений, тем экономичнее работает комплекс. Акад. В. М. Глушковым показано, что объем информации, необходимой для управления хозяйством страны, растет пропорционально квадрату сложности развивающейся народнохозяйственной системы. Однако уже в середине 1970-х гг. только в системе управления промышленностью циркулировало 200 млрд. данных в год! Только индустриализация управления, только машинная информатика в сочетании с экономическими стимулами и современными принципами оценки ситуации и принятия решений позволяют экономно управлять на всех уровнях общественного производства.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ПОЛНОТА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ

На каждом из уровней антропогенной системы реализуется совокупность функций преобразования и обмена вещества Y , энергии E и информации I . Целостность системы и необходимость осуществления взаимосвязи между элементами системы обуславливают необходимость обмена веществом, энергией и информацией между уровнями системы. Таким образом, любая динамическая система может рассматриваться как преобразователь вещества, энергии и информации.

В зависимости от функционального назначения может быть выделен ряд классов систем. Целевыми (основными) функциями систем могут являться:

- преобразование (переработка) и транспорт вещества;
- преобразование и передача энергии;
- получение, передача и переработка информации с целью принятия решений.

В соответствии с перечисленными целевыми функциями выделяются, как отмечалось выше, следующие классы антропогенных систем:

- технологические;
- энергетические;
- информационно-управляющие.

Для организации системы необходимо, чтобы ее структура включала следующие функциональные подсистемы: процессор, осуществляющий переработку вещества, энергии или информации в соответствии с функциональным назначением системы;

накопитель, предназначенный для кратковременного

или долговременного хранения материала, участвующего в технологическом процессе;

распределитель, осуществляющий коммутацию исходного материала и конечного продукта между элементами системы;

контроллер, выполняющий функции управления системными процессами.

Фактически основной функцией контроллера является управление ресурсами отдельных элементов и системы в целом. Различные стратегии управления отличаются способом инициирования управляемого процесса. Анализ принципов организации антропогенных систем позволяет выделить четыре подхода к организации инициирования процессов обработки: по запросу на «технологический продукт» (материал обработки), по готовности исходного материала для обработки, по поступлению информации о готовности исходного материала, по формированию сигнала активности в фиксированные моменты времени. При управлении реальными достаточно сложными системами (подсистемами) используются смешанные стратегии управления.

Функциональная полнота элементов системы не является столь очевидной, как это может показаться. Так, например, дебаты об обмене информацией между элементами живых систем ведутся долгие годы. Только результаты исследований последних лет доказали существование функции обмена информацией между отдельными подсистемами и клетками живого организма.

Французский иммунопатолог, руководитель работ по лечению злокачественных новообразований в Национальном научно-исследовательском центре Ж. К. Саломон отмечает: «Клетки животных и человека окружены клеточной мембраной, которая играет очень сложную роль в жизни и делении клетки. Это не только, как думали ранее, область проникновения питательных веществ или выделения продуктов метаболизма, но также область обмена многочисленной информацией».

Информационный обмен производится с соседними клетками, находящимися рядом постоянно или временно. Клетки, вступающие в контакт посредством своих мембран, могут узнавать друг друга и в зависимости от получаемой информации вызывать контактную ингибицию или разрушение, если только одна из клеток способна стимулировать деление второй клетки или ее дифференциацию, т. е. изменения ее конфигурации (струк-

туры.— Е. Б.), или функций... Межклеточный обмен информацией имеет физико-химическую природу. Этот вид обмена известен уже много лет. Он связывает нервные клетки между собой и с мышечными клетками».

Не в этом ли ключ к исследованию физических полей биологического происхождения, оживленные дискуссии о которых не сходят со страниц печати!?

Следует отметить, что в живой и неживой природе многообразие мира во многом обязано своим существованием «функционально полному» набору элементарных частиц, атомов и молекул.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ПОЛНОТА ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОУРОВНЕВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрим вопросы функциональной полноты элементов систем обработки информации. Покажем, что на каждом иерархическом уровне систем обработки информации реализуется совокупность функций элементарной машины, выраженная операторами: обработки информации P , управления процессом C , хранения информации M , обмена информации T .

Для доказательства покажем, что функциональный модуль i -го уровня ($ФМ_i$) системы обработки информации должен реализовать следующую совокупность функциональных операторов: обработки информации P_i , хранения M_i , управления C_i , обмена с предыдущим T_{i-1} и последующим T_{i+1} уровнями системы.

Действительно, реализация оператора P_i модулем $ФМ_i$ определяется функциональным назначением модуля определенного уровня. Для организации обработки информации в $ФМ_i$ необходимо хранение операндов и управляющих слов, что обуславливает необходимость реализации оператора M_i . Операторы T_{i-1} и T_{i+1} необходимы для обмена операндами и управляющими словами модуля $ФМ_i$ с модулями $(i-1)$ -го и $(i+1)$ -го уровней системы.

Реализация оператора C_i определяется не только необходимостью организации процессов управления функциональным модулем i -го уровня, но и необходимостью координации процессов управления модулями $(i+1)$ -го уровня.

Операторы обработки последующих уровней логично формируются из операторов предыдущих уровней

путем их последовательной конкретизации. Формальное описание структуры и логики функционирования системы позволяет уточнить работу отдельных уровней и функциональных модулей системы, облегчает обмен информации между проектировщиками и при дальнейшей доработке методов формальных преобразований операторов позволит алгоритмизировать и автоматизировать этап структурного синтеза информационных систем.

Сформулированная теорема была доказана автором в конце 1970-х гг. [90] и явилась основой для формирования методологии структурного синтеза функционально-ориентированных информационно-управляющих систем. До настоящего времени эта задача решалась интуитивно.

ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ И СТРУКТУРНОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ СИСТЕМ

В процессе развития антропогенных систем повышается вещественно-энергетическая и информационная целостность систем, проявляющаяся в функциональном и структурном отношениях.

Закономерность повышения функционально-структурной целостности в процессе развития антропогенных систем выражается в функциональной и структурной интеграции отдельных подсистем и сокращении числа промежуточных уровней и видов преобразования вещества, энергии и информации в процессе функционирования систем.

Функциональная целостность системы рассматривается в ее отношении к внешнему окружению и обуславливается единством и взаимосвязью функций системы и ее отдельных подсистем. Отражением этой взаимосвязи является модель дерева функций системы.

Структурная целостность системы рассматривается в отношении к ее составным частям и обуславливается неразрывностью и взаимосвязанностью частей и целого.

Функциональный аспект при рассмотрении целостности антропогенных систем является первичным, так как функциональная целостность определяет относительную самостоятельность, автономность отдельных подсистем. Функциональная целостность как характеристика связи системы со средой выступает в роли системообразующего фактора.

Повышение функциональной целостности антропогенных систем выражается в расширении функциональных возможностей системы, соответствующих требованиям внешней среды, при минимальных усложнениях ее структурной организации. Эта тенденция соответствует сформулированному автором принципу многофункциональности [86, 90, 94].

Повышение структурной целостности достигается уменьшением числа элементов и упрощением связей между ними, т. е. увеличением степени однородности структуры. Повышению структурной целостности способствует сокращение числа физических принципов, используемых для создания системы.

Между функциональной и структурной целостностью существует взаимосвязь, аналогичная взаимосвязи функции и структуры, содержания и формы. Во взаимосвязи функциональной и структурной целостности необходимо отметить примат функциональной целостности.

Диалектической противоположностью целостности, выступающей с ней в органическом единстве, является разобщенность.

Наличие у системы целостных свойств не исключает того, что система состоит из отдельных элементов (подсистем), каждому из которых присущи свои вполне определенные свойства. Если упустить этот фактор из виду и рассматривать систему только в целостном отношении, то тогда становится трудно провести даже относительное различие между системой и элементом.

Свойство целостности характеризует взаимосвязь элементов системы, при которой изменение одного из элементов системы вызывает изменения в остальных элементах и в системе в целом. Это, как отмечалось выше, объясняется тем, что выделенные элементы, входящие в систему, предназначены для реализации общей целевой функции.

Понятием, противоположным целостности, является понятие разобщенности, когда изменение состояния отдельного элемента системы не вызывает изменения остальных элементов и их совокупности в целом. Свойство разобщенности какой-либо совокупности базируется на особенностях составляющих ее элементов, для которой характерно отсутствие постоянных связей между отдельными элементами.

Таким образом, утверждение о том, что система состоит из совокупности элементов (подсистем), равно-

сильно признанию разобщенности в качестве неотъемлемого свойства (атрибута) системы.

Системам свойственна весьма сложная взаимосвязь целостного и разобщенного. Определение соотношения уровней целостности систем и обособленности составляющих их подсистем имеет важное значение для реализации той или иной стратегии развития систем, а также при проектировании систем.

Отсюда следует, что при анализе систем, процессов функционирования и развития систем их необходимо рассматривать как диалектическое единство двух противоположностей — целостности и разобщенности.

В процессе прогрессивного развития системы повышается ее целостность, и сама система может перейти в подсистему более сложной системы. В пределе повышение целостности может привести к трансформации системы в элемент, сохраняющий функциональные свойства системы.

Прекрасной иллюстрацией этого положения являются микро-ЭВМ, содержащие десятки тысяч функциональных элементов и реализуемые на одном кристалле кремния размером 5×6 мм. Однокристалльные микро-ЭВМ соответствуют по своим возможностям вычислительным машинам-монстрам 1950—60-х гг.

Структура системы может рассматриваться как результат функционального синтеза, т. е. синтеза целостных свойств элементов и уровней системы. При формировании целостности всегда приходится учитывать те отношения, в которые вступает будущая система. Создание технических систем было бы немыслимо, если бы конструктор не представлял назначения всех элементов и будущих условий работы системы.

Усиление факторов, обуславливающих функциональную целостность элементов системы, целесообразно лишь при условии, что одновременно происходит усиление межуровневых отношений и связей. Если усиления межуровневых связей не происходит, то факторы функциональной целостности системы ослабевают и система может распасться.

Одним из эффективных путей повышения функциональной целостности в биологических и социально-экономических системах является специализация элементов. В этом случае целостность системы обеспечивается наличием четких связей между элементами, специализация которых делает их совершенно необхо-

димыми друг для друга в интересах системы. Наиболее ярким примером, подтверждающим это положение, является общественное разделение труда в сфере человеческой деятельности, приведшее к образованию отраслей. Чем более детальным является разделение труда, тем более сложными становятся связи между отраслями, выражающиеся во взаимных поставках продуктов и услуг. Повышение степени целостности систем приводит к снижению удельных затрат, необходимых для реализации единичной функции.

ЗАКОНОМЕРНОСТЬ НАПРАВЛЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ

При развитии систем используются все более сложные формы движения материи.

В процессе развития систем имеет место тенденция расширения спектра используемых форм движения материи — от макропроцессов, основу которых составляют простейшие формы движения материи (пространственное перемещение, тепловые процессы, изменения агрегатного состояния вещества), к совместному использованию микро-и макропроцессов неорганической и живой природы, базирующихся на более сложных формах движения материи (движение «элементарных» частиц и полей — электромагнитные, гравитационные и ядерные взаимодействия; процессы превращения «элементарных» частиц; движение и превращение атомов и молекул; обмен веществ, функциональные связи в биообъектах; взаимодействие с биосферой).

Ф. Энгельс считал механическое движение простейшей формой движения материи. Вслед за механикой в порядке возрастания сложности он поставил изучаемые физикой теплоту, свет, электричество, магнетизм, затем химические процессы и органическую жизнь. Эти формы движения Ф. Энгельс считал основными в природе [1].

Высшие формы движения материи исторически возникают на основе относительно низших и включают их в себя в преобразованном виде — в соответствии со структурой и законами развития более сложной системы. Между ними существует единство и взаимное влияние. Однако высшие формы движения материи качественно отличны от низших и не сводимы к ним.

Первоначально человеком были освоены процессы, приводящие к изменениям в структуре макроscopic...

тел, — механические процессы, тепловые процессы, изменения агрегатных состояний вещества и др. В дальнейшем были использованы процессы, основанные на превращении атомов и молекул, включая химическую форму движения материи.

Следует особенно выделить ту революционизирующую роль, которую сыграло промышленное освоение электромагнитной энергии в конце XIX — начале XX века, однако до настоящего времени эта форма движения материи остается одной из наименее изученных.

В настоящее время идет интенсивное теоретическое и практическое освоение микромира. При создании систем различного назначения все чаще используются характерные для микромира формы движения материи — движение «элементарных» частиц, взаимодействие частиц и полей, ядерное взаимодействие, процессы превращения «элементарных» частиц и т. д.

Рассмотрим расширение спектра используемых форм движения материи на примере трех основных выделенных нами классов антропогенных систем — технологических, энергетических и информационных.

В первых, технологических, системах использовались процессы механической и термической обработки вещества, которые применяются до настоящего времени. С XVIII в. в промышленности начинают интенсивно использоваться сложные химические процессы. В XIX в. исследуются и применяются новые электрохимические технологические процессы — гальванопластика и гальваностегия, внедряется электросварка.

В последние десятилетия арсенал технологий пополнился более прецизионными и высокоэффективными технологическими процессами: электроэрозионная обработка, электронно-ионная технология, лазерная обработка. Разработаны и разрабатываются комбинированные термоэлектрохимические процессы — например, получение водорода, серной кислоты и т. д.

В настоящее время внимание исследователей направлено на создание экономичных, ресурсосберегающих биотехнологических процессов.

Растения, микроорганизмы и животные планеты выполняют геохимическую работу, многократно превышающую возможности мировой индустрии. Многие микроорганизмы способны накапливать те или иные элементы. Уже получены определенные результаты в добыче редкоземельных металлов из морской воды с по-

мощью микроорганизмов. В Японии разводят моллюсков, извлекающих ванадий из морской воды. Совсем недавно в Советском Союзе проведены первые полупромышленные испытания бактериального выщелачивания никеля, меди и других полезных концентратов из забалансовых, «бросовых» руд Кольского полуострова [68].

Первые искусственные энергетические системы использовали энергию ветра и падающей воды. Революционным событием было изобретение паровой машины в конце XVIII в. Будучи первым и до конца XIX в. практически единственным универсальным двигателем, она сыграла исключительную роль в прогрессе мировой промышленности и транспорта.

В конце XIX в. были изобретены двигатель внутреннего сгорания и электродвигатели, широко используемые в промышленности и на транспорте до настоящего времени. В последние годы ведется интенсивная разработка МГД-генераторов, осуществляющих непосредственное преобразование тепловой энергии в электрическую при прохождении пучка раскаленных ионов в магнитном поле.

В середине XX в. были развернуты интенсивные исследования по практическому использованию атомной энергии. Научные исследования физических процессов, происходящих при делении тяжелых и синтезе легких атомных ядер, открыли для человечества новые, практически неограниченные источники энергии.

Сегодня по данным Международного агентства по атомной энергии более чем в 20 странах мира работает почти 250 атомных электростанций, они производят почти 6% всей мировой электроэнергии. В настоящее время в развитых странах на каждого человека приходится 4—7 кВт мощности.

Интенсивно ведутся работы по использованию биологических систем в качестве источников энергии. В Советском Союзе эта научная программа получила название «Родопсин». Поглощение одного кванта света молекулой белка родопсина вызывает появление электрического сигнала, который усиливается за тысячные доли секунды в миллионы раз. Теоретические и экспериментальные исследования обнадеживают, что биология, несомненно, может внести свой вклад в энергетику [68].

В развитии информационных систем также четко прослеживается закономерность перехода от макропроцессов к микропроцессам. Первые счетно-решающие

устройства базировались на механической форме движения и использовали принцип пространственного перемещения элементов конструкции.

С 30-х гг. нашего столетия развиваются электро-механические аналоговые и цифровые вычислительные устройства. В середине 40-х гг. создаются первые образцы вычислительных устройств на основе электронно-вакуумных приборов. В 60-х гг. идет освоение полупроводниковой технологии и разработка технологии интегральных микросхем. С начала 70-х гг. информационные системы разрабатываются на основе больших интегральных схем. Ведутся работы по использованию оптических и оптоэлектронных принципов хранения, обработки и передачи информации. В автоматических системах «мыслительные» процессы оценки состояния объекта управления, оценки возникшей в определенный момент времени конкретной ситуации, принятия решений и формирования целесообразных управляющих воздействий моделируются и воспроизводятся встроенными средствами обработки и хранения информации.

В эргатических (человеко-машинных) системах — автоматизированных системах управления, системах управления научным экспериментом, биотехнических системах — человек-оператор (лицо, принимающее решение — ЛПР) взаимодействует с объектами живой и неживой природы и, являясь структурным «элементом» системы, выполняет наиболее ответственные функции оценки состояния системы в целом и принятия решений. При решении сложных задач используется коллектив ЛПР. Таким образом, можно утверждать, что в эргатических системах используется и общественная форма движения материи, включающая в себя многообразные проявления деятельности людей — от материального способа производства до человеческого сознания.

Наряду с комплексным использованием процессов в современных энергетических и технологических системах большое внимание уделяется глобальным процессам, вопросам экологии. Все более тщательному анализу подвергается такая форма движения, как взаимодействие биосферы с искусственными системами.

В процессе перехода от низших форм движения материи к высшим имеет место закономерность неуклонного и весьма существенного сокращения количественной и пространственной распространенности материаль-

ного субстрата, на основе которого реализуется определенная форма движения материи.

Так, по расчетам акад. В. И. Вернадского, живое вещество составляет 10^{-7} от массы Земли и 10^{-14} — 10^{-17} от массы Галактики. Это является, очевидно, общей закономерностью развития материи, ибо высшее в силу своих особенностей может количественно совпадать с низшим.

Отсюда, например, становится понятной и тенденция микроминиатюризации радиоэлектронной аппаратуры и объективная закономерность перехода к большим интегральным схемам (БИС), микропроцессорным системам, запоминающим устройствам на основе цилиндрических магнитных доменов (ЦМД) и т. д.

По сравнению с ЭВМ на лампах современный микропроцессор занимает в 300 000 раз меньший объем и работает в десятки раз быстрее.

Развитие всех систем идет в направлении сокращения удельных габаритно-весовых характеристик систем. И это характерно не только для процесса миниатюризации радиоэлектронной аппаратуры.

Следует также отметить, что в направлении микроминиатюризации совершенствуются и рабочие органы различных технических систем. В технологическом оборудовании и на транспорте на смену резцам, винтам и колесам приходят электронно-ионная и лазерная технология, станки для электроэрозионной обработки материалов, ионные двигатели и движители, использующие эффект взаимодействия морской воды с электрическим полем и т. д.

ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ПРЕЕМСТВЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМ

В процессе развития систем происходит снятие функционально-структурной организации систем.

Преемственность представляет особый механизм социальной памяти, который осуществляет накопление и хранение культурной информации прошлого, на основе которой создаются новые ценности.

В процессе развития антропогенных систем имеет место преемственность функционально-структурной организации систем определенного целевого назначения. Исчерпав возможности развития, система становится

составной частью новой сложной системы и в дальнейшем ее развитие идет на уровне подсистемы.

Закономерность отражения в функционально-структурной организации многоуровневых антропогенных систем базовой совокупности функций систем-прототипов непосредственно вытекает из закономерности вложения базовых функций развивающихся систем.

Закономерности преемственности функционально-структурной организации антропогенных систем в естественном мире соответствует один из основных законов биологии — закон Э. Геккеля, согласно которому «онтогенез (индивидуальное развитие организма) повторяет филогенез (историческое развитие организмов)». Ф. Энгельс отмечал, что «...история развития человеческого зародыша во чреве матери представляет собой лишь сокращенное повторение разветвлявшейся на протяжении миллионов лет истории физического развития низших животных предков, начиная с червя...»¹.

Рассмотрим взаимосвязь закономерности преемственности развития антропогенных систем с основными законами диалектики.

Закон отрицания раскрывает диалектическую преемственность в развитии вещей, явлений и процессов объективного мира и его отражение в сознании людей, связь между настоящим, прошедшим и будущим. Если закон перехода количества в качество показывает сущность и содержание переходов от одного качества к другому, т. е. от настоящего к будущему, то закон отрицания отрицания содержит в себе оценку зависимости нового качества от предшествующего и его значение для возникновения будущего качества.

В. И. Ленин подчеркивал, что для диалектического отрицания характерны такие важные признаки, как выражение связи прошлого с настоящим, обнаруживающееся в развитии, а также удержание в этой связи положительного в прошлом для настоящего.

Содержание диалектического отрицания конкретизируется и раскрывается в трех аспектах: преемственности, поступательности и спиралевидном характере всеобщего развития. Сущность преемственности заключается в том, что при любом качественном изменении отдельные элементы старого, уходящего в прошлое качества сохраняются в новом качестве и при определенных

¹ Ф. Энгельс. Диалектика природы. — М.: Политиздат, 1982, с. 153.

условиях переходят на последующие уровни развития. Преемственность в развитии неживой и живой природы реализуется в действии законов сохранения материи и энергии.

При развитии, как известно, обнаруживается всеобщая закономерность обобщенного повторения истории развития материи в основных уровнях организации ее крупных форм, т. е. иерархическая структура каждой основной формы материи в своеобразном виде повторяет основные этапы предшествующего развития, неся в себе сокращенную историю развития материи. Это положение исключительно важно и должно быть одним из определяющих при разработке методологии синтеза систем.

Антропогенная система воспроизводит в своей структуре предисторию своего развития.

Рассмотрим ряд примеров, иллюстрирующих это положение. Современные информационно-измерительные системы имеют в своем составе все основные функциональные узлы классических электроизмерительных приборов: входные коммутаторы, преобразователи формы представления измеряемой физической величины, сглаживающие устройства, устройства отображения информации и т. д. Аналогично радиолокационные системы содержат все основные функциональные модули радиопередающих, радиоприемных и телевизионных систем.

Вычислительные системы в своих различных конфигурациях повторяют и неоднократно (!) структуру машины Дж. фон Неймана и включают все функциональные (не конструктивные!) узлы механических арифмометров.

Аналогично микропроцессор повторяет структуру как классических ЭВМ предшествующих поколений, так и структуру современных мини-ЭВМ и включает следующие типовые функциональные узлы: арифметико-логический блок, блок регистров общего назначения — сверхоперативную память, блоки ввода и выдачи информации — входные и выходные мультиплексоры, блоки управления и синхронизации.

Рассмотрим преемственность функционально-структурной организации современной кардиомониторной системы и ее прототипа — кардиографа, предложенного Вильямом Эйнтховеном, удостоенным в 1908 г. Нобелевской премии за свое изобретение.

Кардиограф В. Эйнтховена представлял зеркальный гальванометр с натянутой струной, по которой проходит

измеряемый биоэлектрический сигнал. Струна находится в поле постоянного магнита и на ней закреплено миниатюрное зеркальце, освещаемое внешним источником света. Значение измеряемого параметра снимается со шкалы, по которой скользит отраженный зайчик. Угол отклонения струны от исходного положения (число делений шкалы, пройденное зайчиком) пропорционален скорости изменения заряда (току), проходящего через струну. В. Эйнтховен подключил приложенные к пациенту электроды к струнному гальванометру и снял электрокардиограмму. До сих пор мы пользуемся его классическими отведениями.

Сравним функции гальванометра Эйнтховена и современного прибора для измерения биоэлектрической активности сердца.

Функции гальванометра В. Эйнтховена:

1. Съём сигналов биоэлектрической активности.
2. Усиление сигналов.
3. Преобразование электрических сигналов в механические (далее — в световые) для отображения информации (двойное преобразование сигналов).

Функции современных электрокардиомониторов.

Основные — те же, что и кардиографа В. Эйнтховена:

1. Съём биоэлектрических сигналов.
 2. Усиление сигналов.
 3. Отображение информации.
- Дополнительные функции кардиомониторной системы:
1. Изменение чувствительности прибора.
 2. Фильтрация сигнала.
 3. Дистанционная передача информации.
 4. Регистрация информации.
 5. Выделение врачебных (информативных) признаков.
 6. Формирование сигналов тревоги в кардиомониторных системах палат интенсивной терапии.
 7. Определение нозологической группы заболевания.
 8. Формирование документов и ведение банка данных.

Анализ функций системы и ее почти девятидесятилетнего прототипа показывает глубокую преемственность функционально-структурной организации простого физического прибора и современной сложной биотехнической системы. Приведенный пример также подтверждает закономерность вложения базовых функций развивающихся систем. Если вспомнить, что лаборатория В. Эйнтховена находилась в 200 м от больничной палаты, то изобретателя кардиографа можно считать и создателем первой телеметрической системы для контроля за состоянием пациента.

Закономерность отражения в функционально-структурной организации многоуровневых антропогенных систем базовой совокупности функций основных функциональных модулей предшествовавших систем является одним из отправных пунктов при формировании структуры новой системы. Разрабатываемая в настоящей работе методология эволюционного синтеза систем является доказательством и иллюстрацией рассматриваемой закономерности.

АДЕКВАТНОСТЬ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НАЗНАЧЕНИЮ СИСТЕМЫ

Эффективными и жизнеспособными являются системы, структура которых максимально соответствует реализуемым функциям.

Два параллельно идущих эволюционных процесса — эволюция функций и эволюция технологий — стимулируют непрерывное совершенствование функционально-структурной организации систем.

Полная адекватность структуры реализуемым функциям на всех уровнях системной организации характерна для биообъектов. Длительный эволюционный процесс обусловил совершенство функционально-структурной организации биообъектов в соответствии с занимаемыми экологическими нишами.

В. И. Ленин отмечал, что «все вещи в самих себе противоречивы»¹. «Противоречие есть корень всякого движения и жизни; лишь поскольку нечто имеет в себе самое противоречие, оно движется, обладает импульсом и деятельностью»².

Непрерывно возрастающие общественные и личные потребности, постоянное развитие материально-технической базы общества, новейшие достижения науки стимулируют создание более совершенных систем. Требования к совокупности качественных и количественных показателей эффективности надежности функционирования систем становятся все более высокими.

Необходимость повышения производительности, экономичности и живучести систем обуславливает диалектический процесс интеграции и дифференциации функций

в отдельных подсистемах и системе в целом. Идет непрерывный процесс совершенствования функционально-структурной организации систем в конкретно-исторических условиях. Разрешение внутренних противоречий, связанных с несоответствием существующей функционально-структурной организации новым задачам, невозможность удовлетворения поставленных требований являются источником развития антропогенных систем.

Реализация определенной совокупности функций в антропогенных системах осуществляется функциональными модулями — специализированными или многофункциональными. Функциональные модули системы являются относительно устойчивыми. При развитии систем основное изменение претерпевают конструктивные модули [90].

В процессе эволюции антропогенных систем расширение и усложнение функций, реализуемых системами, и непрерывное совершенствование и создание новых технологий, пригодных для практического воплощения систем, способствуют непрерывному совершенствованию функционально-структурной организации систем, их прогрессивному развитию.

Необходимо отметить, что создание новых, более совершенных систем с расширенными функциональными возможностями неизбежно приводит к моральному старению предшествовавших систем. Так, развитие двигателей внутреннего сгорания и повсеместное использование электропривода привели к моральному старению паровых машин и замене паровозов тепловозами и электровозами. Развитие полупроводниковой электроники привело к моральному старению ламповой радиоэлектронной аппаратуры. Однако до настоящего времени паровозы стоят на запасных путях и надежно работают ламповые радиоприемники 40—50-х гг.

В области систем обработки информации известно правило: «В идеальном случае каждому реализуемому алгоритму соответствует определенная структура системы (устройства)». Очевидно, что бесконечное разнообразие алгоритмов не может быть практически отображено на соответствующее разнообразие реальных структур.

Одни и те же функции могут быть реализованы многофункциональными и специализированными средствами. Таким образом, при формировании структуры системы определенного функционального назначения необходимо разрешать диалектическое противоречие «многофункциональность — специализация» на всех уровнях организации системы.

¹ В. И. Ленин. Философские тетради. — М.: Политиздат, 1973, с. 124.

² В. И. Ленин. Философские тетради. — М.: Политиздат, 1973, с. 125.

Стратегия эволюционного синтеза предусматривает максимальное использование многофункциональных компонентов системы. Использование многофункциональных элементов на всех уровнях системной организации позволяет создавать системы с минимальной структурой, т. е. системы с минимальным числом элементов, реализующие заданную совокупность функций. Такие системы обладают наиболее высокими характеристиками информационной и конструктивной надежности и эффективности.

Следует отметить, что в правильно спроектированных системах все процессы идут в едином ритме, условие ритмики должно соблюдаться не только внутри отдельных частей системы, но и при взаимодействии со средой.

Ритмичность и периодичность процессов являются обязательными свойствами удачно спроектированных технологических энергетических и информационных систем.

Баланс и гармония во всем — характерные черты совершенства функционально-структурной организации систем.

Глава 4.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ И СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ В РАЗВИТИИ СИСТЕМ

ПРИНЦИП МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ

История развития науки и техники свидетельствует, что различные принципы, составляющие основу организации современных систем, использовались человечеством задолго до их обобщения и современных аналитических формулировок. Достаточно упомянуть принципы обратной связи, иерархической организации систем, избыточности, резервирования и др. Современная их формулировка и разработка методов количественной и качественной оценки систем, базирующихся на этих

принципах, позволили сознательно использовать определенные концепции при разработке сложных систем.

Заданная совокупность функций может реализоваться в системе как многофункциональными элементами, так и специализированными, предназначенными для выполнения определенных функций.

Многофункциональность можно в первом приближении определить как способность объекта реализовать неединичный набор функций.

Свойство многофункциональности определяется внутренней структурой объекта. Многофункциональный по своей природе объект может использоваться в конкретных условиях как элемент системы, реализующий полный набор возможных функций, или монофункционально, т. е. реализовать одну из функций. Возможна также реализация определенной совокупности функций, потенциально воспроизводимых многофункциональным объектом.

Борьба диалектических противоположностей — многофункциональности и специализации, интеграции и дифференциации функций — является источником развития систем.

Анализ эволюции антропогенных систем показывает, что по мере развития систем, усложнения и расширения реализуемых ими функций наиболее эффективными и жизнеспособными являются системы, в которых расширение функциональных возможностей элементов, находящихся на различных уровнях иерархии системы, опережает рост их сложности.

Следовательно, в развивающихся антропогенных системах расширение функциональных возможностей должно опережать рост сложности объектов, реализующих эти функции.

Синтетическая теория эволюции утверждает, что именно многофункциональность («мультифункциональность») является магистральной дорогой эволюционного процесса [43—45].

Принцип многофункциональности непосредственно вытекает из закономерности повышения функциональной и структурной целостности систем в процессе развития и закономерности преемственности функционально-структурной организации многоуровневых систем.

В настоящей работе рассматриваются различные аспекты сформулированного автором в конце 1960-х гг. принципа многофункциональности [86, 90, 94] и на

конкретных примерах показывается эффективность использования этого принципа для разрешения противоречий, возникающих при создании антропогенных систем различной природы. Основное внимание уделяется использованию принципа многофункциональности в современной технике.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ И СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ В БИОСИСТЕМАХ

В процессе познания человек открывает новые, неизвестные ранее функции отдельных подсистем живых организмов.

В биологических системах свойство многофункциональности является характерным для всех уровней функционально-структурной организации биообъектов — от клеточного уровня до уровня популяции и биосфер.

С позиций функционально-структурного подхода эволюция биологических объектов происходит следующим образом. При изменении условий существования необходимым становится количественное и качественное изменение функций, реализуемых отдельными подсистемами живого организма. Это неизбежно приводит в процессе эволюции к соответствующим изменениям в функционально-структурной организации биосистем. Естественный отбор закрепляет вновь приобретенные признаки. Таким образом осуществляется адаптация живых организмов к изменяющимся условиям существования и обеспечивается выживаемость биообъектов.

Современный уровень эволюционных знаний характеризуется достаточно четко разделением эволюционного процесса в целом на два главных направления в изучении (и познании!): на микроэволюционные и макроэволюционные.

Историческое развитие группы биообъектов — филогенез — можно представить как цепь или поток связанных друг с другом циклов индивидуального развития — онтогенезов. «Изменения группы в филогенезе могут возникнуть лишь посредством изменений в онтогенезе» [45].

Аналогично происходит эволюция определенной группы (класса) антропогенных систем. Последовательное улучшение в процессе исторического развития показателей качества объектов определенного функционального на-

значения приводит к совершенствованию систем соответствующего класса и может привести к формированию систем нового класса, что имеет место при изменении состава основных функций антропогенной системы.

В процессе онтогенеза часто как бы сжато повторяются (рекапитулируют) многие черты строения предковых форм: на ранних стадиях развития — более отдаленных предков (или современных менее родственных форм), на более поздних стадиях развития — более близких (филогенетически) предков и более родственных современных форм. В процессе онтогенеза любая структура и явление имеют свою историю и любой «генез» возникает не на пустом месте, всегда являясь результатом предыдущего состояния.

В развитии антропогенных систем также имеет место «рекапитуляция» функционально-структурной организации «предковых форм».

К середине XIX в. были накоплены фактические данные о структуре (строении) различных биообъектов и был проведен «функциональный анализ органов». Эти результаты в сочетании с эволюционной идеей позволили определить основные пути филогенетического изменения органов и их функций.

Как в процессе эволюции всего организма отдельные его части приспосабливаются к отдельным сторонам внешней среды (и в этом суть процесса дифференциации), так и разные стадии развития организма приспосабливаются к разным условиям существования.

В 1939 г. акад. А. Н. Северцов сформулировал два фундаментальных вывода [43]:

Все органы «мультифункциональны»,

любая из функций способна изменяться количественно.

Не известно ни одного монофункционального органа в любом из изученных организмов и, напротив, число известных функций, присущих определенному органу, имеет тенденцию «увеличиваться» по мере глубокого исследования. «Мультифункциональность» оказывается характерной и для органелл в клетках, и в одноклеточных организмах.

Таким образом, «мультифункциональность» должна рассматриваться как одна из важных и, возможно, первичных характеристик органических объектов.

Одна и та же функция в процессе филогенеза может проявляться с большей или меньшей интенсивностью.

В основе эволюции биообъектов лежит возможность количественных и качественных изменений органов (структур подсистем) и свойственных им функций.

В живой природе могут быть выведены следующие принципы эволюции органов [42—45].

1. Интенсификация функций — усиление функции органа — основной тип филогенетического изменения органов.

2. Иммобилизация функций — ослабление главной функции.

3. Уменьшение числа функций — с усилением главной функции подавляются другие, второстепенные.

4. Расширение функций — существенно увеличивается число второстепенных функций при сохранении главной функции.

5. Смена функций — главная функция ослабевает, а одна из вторичных функций усиливается.

6. Субституция функций — замещение функций данного органа аналогичной функцией другого органа.

7. Субституция органов — орган замещается другим органом другого строения и происхождения, но выполняющим ту же функцию.

8. Физиологическая субституция — орган замещается органом другого строения, расположенным в другом месте и выполняющим ту же функцию.

9. Фиксация фаз — новая функция возникает в результате закрепления периодически повторяющейся фазы прежней общей функции данного органа; характер функции остается тот же, но интенсивность функции повышается.

10. Олигомеризация — уменьшение числа «частей» органа.

11. Полимеризация — увеличение числа «частей» органа.

12. Гетеробатмия — возникновение разного уровня специализации отдельных частей (органов) организма в результате относительной независимости в развитии разных «частей» биообъекта.

13. Симиляция функций — уподобление органов, имеющих различное строение и функции, по форме и функции.

14. Компенсация функций и неравномерность темпов преобразования органов — быстрое изменение одних органов (внутри одной системы) компенсирует длительное отставание темпов развития других органов той же системы.

Перечисленные принципы далеко не однородны: одни в большей степени чисто морфологические (структурные), другие в широком смысле физиологические; одни — первичны и элементарны, как, например, принципы, связанные с усилением или ослаблением базовой функции (при этом постепенные количественные изменения приводят к существенным качественным изменениям), другие — вторичные, более сложные, комплексные, связанные с количественными и качественными изменениями нескольких функций ряда коррелированных органов.

В заключительных разделах гл. 6 настоящей работы рассматриваются эвристические приемы синтеза эффективных антропогенных систем, базирующиеся на диалектической концепции «многофункциональность — специализация». Необходимо подчеркнуть определенную аналогию выделенных эвристических приемов с известными принципами эволюции органов биологических объектов.

В процессе онтогенеза специализация подсистем биообъекта связана с онтогенетическими дифференцировками. Под онтогенетическими дифференцировками [45] понимается «расчленение органа, структуры или онтогенеза в целом на отдельные части, выполняющие определенные функции и являющиеся подчиненными частями целого органа, структуры или онтогенеза в целом».

Судьба дифференцировок в эволюции групп неизбежно оказывается различной: некоторые из них, а именно те, которые обеспечивают функционирование организма в очень узких условиях существования, сохраняются лишь до тех пор, пока сохраняются эти специфические условия. Другие дифференцировки оказываются высокопатентными и обеспечивающими жизнь не только в этих частных условиях, но и в гораздо более широкой адаптивной зоне, а также обеспечивающими возможность перехода в другие зоны адаптации. Такие онтогенетические дифференцировки являются наиболее перспективными и определяющими направление дальнейшей эволюции групп.

Анализ основных направлений эволюционного процесса позволил сформулировать ряд эмпирических «правил» эволюции групп [45]. В частности, известным палеонтологом Ш. Депере в 1907 г. сформулировано эмпирическое обобщение о прогрессивной специализации, согласно которому группа организмов, вступившая на

путь специализации, в дальнейшем будет идти все дальше по тому же пути.

Следует подчеркнуть, что прогрессивная специализация затрагивает только отдельные органы, причем в пределах одной функциональной подсистемы быстро эволюируют одни органы, тогда как другие органы могут оставаться неспециализированными. В природе, наряду с тесной корреляцией органов друг с другом, существует и некоторая «доля свободы», относительной независимости. Узкая же специализация всех органов определенной функциональной системы (если таковая вообще существует) создает условия для процветания группы в определенный период, но она же ведет к бесперспективности группы в эволюционном плане.

Аналогично узкоспециализированные антропогенные системы, удовлетворяющие сугубо конкретным требованиям и условиям, не оказывают большого влияния на развитие систем соответствующего класса.

Дифференцировка целого неразрывно связана с интеграцией. Как показал И. И. Шмальгаузен [45], эволюционные дифференцировки дают начало новой системе с новыми качествами, определяющими дальнейшую дифференцировку и новую интеграцию на новом, более высоком уровне. Аналогичное явление интеграции частей на новом, более высоком уровне организации и установление новых связей, вновь ведущих к дальнейшей дифференцировке и интеграции на последующей ступени сложности всей группы, наблюдается и в процессе филогенеза.

Онто- и филогенетические дифференцировки являются выражением адаптивных реакций организмов на изменения окружающей среды. Результат дифференцировок определяется как строением организма, т. е. по существу историей вида в прошлом, так и конкретными условиями существования групп.

Возникновение онтогенетических дифференцировок является длительным процессом. От появления отдельных адаптаций до закрепления их в качестве оформленных дифференцировок проходят, вероятно, сотни поколений. Такой длительный процесс неизбежно может протекать только под действием векторизованного во времени и пространстве фактора. Таким эволюционным фактором является естественный отбор.

В процессе эволюции все узкие сверхспециализированные дифференцировки, связанные с частными адаптациями и приспособлениями к очень ограниченной среде, неизбежно уступают место более общим, имеющим важное адаптивное значение в самых разнообразных условиях среды. Замена частных приспособлений все более общими и совершенными является одной из важных характеристик прогрессивного развития.

Рассмотренные особенности дифференциации и интеграции функций отдельных подсистем и биообъектов в целом оказываются весьма сходными с процессами развития антропогенных систем.

В живой природе принцип многофункциональности может быть проиллюстрирован на примере функционирования различных органов, подсистем и систем организма человека.

В биообъектах отдельные подсистемы (клетки, органы, ткани) выполняют совокупность функций. Реализация каждым «элементом» биологической системы спектра функций связана с его включением в другие подсистемы. Поэтому естественным является рассмотрение биологических объектов как целостных систем на уровне организма. По-видимому, характерным свойством целостных систем является включение в их структуру многофункциональных подсистем. Это свойство биосистем обязательно должно учитываться при анализе функционально-структурной организации биологических объектов.

Все органы и системы организма животных и человека, помимо основных, выполняют и ряд дополнительных функций. Например, почки вносят свой вклад в регуляцию артериального давления. Дыхательная система, осуществляя газообмен, выполняет и недыхательные функции: участвует в охране организма от вредных воздействий среды, выделяет ряд гормонов, участвует в жировом обмене. Изучая газообмен, физиологи столкнулись с весьма странным явлением. Оказывается, что в ходе окислительно-восстановительных процессов используются не все молекулы кислорода, а только отрицательно заряженные! Вот почему так хорошо дышится на берегу моря, в горах. Естественно возник вопрос: «Может ли быть, чтобы организм не использовал почти половину вдыхаемого кислорода?» В поисках ответа на этот вопрос ученые пришли к принципиально новому выводу. Было доказано, что основная роль мерцательного эпителия заключается

не только в очистке вдыхаемого воздуха, сколько в дополнительной ионизации молекул кислорода!

Система органов дыхания обогащает кровь кислородом и выводит в наружную среду двуокись углерода. Система кровообращения разносит по всему телу кислород, которым обогащается кровь при прохождении через капилляры альвеол легких, и выносит двуокись углерода, образовавшуюся в тканях организма. Кровь и лимфа доставляют питательные вещества, всосанные стенками кишечника, ко всем клеткам организма, транспортируют различные гормоны, выделенные железами внутренней секреции, выносят из тканей продукты обмена. Циркуляция крови обеспечивает теплообмен в организме человека и выполняет химическую связь между органами.

В декабре 1981 г. было зарегистрировано открытие в области биологии, сделанное сотрудниками Института морфологии человека АМН СССР. Авторами открытия было показано, что лимфоциты — специфические клетки организма, «основные» функции которых заключаются в распознавании в организме «своего» и «чужого» и организации различных защитных реакций, принимают также непосредственное участие и в управлении восстановительными процессами, побуждая клетки поврежденных органов и тканей к размножению. Было доказано, что лимфоциты оперированных животных обладают направленностью действия на неоперированных животных.

Открытия последних лет показали широкий спектр функций спинно-мозговой жидкости — ликвора.

Нервная система осуществляет координацию и регуляцию жизнедеятельности отдельных органов организма, а также связь организма с внешней средой. Непосредственно с нервной системой взаимодействует эндокринная система, вырабатывающая и выделяющая в кровь различные высокоактивные химические соединения.

Сравнительно недавно было показано, что АТФ — аденозинтрифосфорная кислота, известная как универсальный аккумулятор энергии во всех растительных и животных клетках, выполняет также функции медиатора — химического переносчика информации. В процессе эволюции усложнялась функционально-структурная организация многоклеточных организмов, происходила дифференцировка покровных, мышечных и нервных тканей, осуществлялось формирование новых органов. Такое усовершенствование организации естественно сопровожда-

лось соответствующим развитием нервной системы. Для контроля и регуляции все усложняющихся функций понадобились новые передатчики информации — и постепенно в нервных клетках появились ферментативные системы, синтезирующие не только АТФ, но и адреналин, норадреналин и другие вещества, выполняющие функцию медиаторов.

Современная теория развития в биологии базируется на структурно-функциональном подходе. Рассмотрение развития биосистем с позиций функционально-структурного подхода и принципа многофункциональности несомненно может привести к открытию новых фундаментальных закономерностей эволюции живого мира. Необходимо тщательное и скрупулезное осмысливание большого экспериментального материала, накопленного за многолетнюю историю развития естествознания, с позиций диалектических закономерностей развития систем.

СПИРАЛЬ РАЗВИТИЯ АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ

Развитие систем идет по диалектической спирали. Расширение витков ее во времени соответствует количественному и качественному изменению функций, реализуемых системой. Каждая точка на витке спирали соответствует определенному соотношению между многофункциональными и специализированными объектами (элементами, модулями) системы.

На определенном этапе развития системы конкретного класса, предназначенные для решения заданной совокупности задач, включают как многофункциональные, так и специализированные объекты. Непрерывное повышение требований и расширение класса задач, реализуемых системой, приводят к быстрому росту числа специализированных объектов и подсистем, входящих в систему. Разнообразие специализированных объектов усложняет систему и снижает ее технико-экономические характеристики.

Однако требуется накопление определенного потенциала в развитии науки, радикальное изменение технологии и принципов создания систем, необходимо вложение определенных затрат для качественного скачка в развитии систем, а также возникновение определенных потребностей общества и достижение соответствующих возможностей для перехода от совокупности специализированных и многофункциональных объектов, образу-

щих систему определенного класса, к новой системе с расширенным набором функций. В соответствии с изложенным выше принципом многофункциональности расширение функциональных возможностей элементов, находящихся на различных уровнях иерархии системы, должно опережать рост их сложности.

При переходе систем на новый этап развития существенно увеличивается удельный вес многофункциональных объектов и минимизируются как по составу, так и по количеству специализированные объекты системы.

Таким образом, на каждом из этапов развития систем последние состоят из многофункциональных и специализированных объектов, соотношение между которыми изменяется от преобладания многофункциональных объектов в начале очередного этапа до преобладания большого числа разнородных специализированных объектов в конце текущего этапа развития. Каждому этапу развития соответствует определенный виток диалектической спирали.

Диалектические противоположности «многофункциональность и специализация» постоянно сосуществуют на всех уровнях развития систем.

Тенденция к преобладанию многофункциональных элементов (подсистем) над специализированными обеспечивает адаптацию к условиям применения и «выживаемость» антропогенных систем, а также преемственность функционально-структурной организации развивающихся систем.

Практическая деятельность человека убедительно доказывает, что в соответствии со сформулированным выше принципом многофункциональности наиболее эффективными и жизнеспособными являются системы на базе многофункциональных компонентов. Причем чем выше уровень организации систем, тем большее число многофункциональных элементов (подсистем) входит в состав системы.

Положение об эффективности реализации функций многофункциональными компонентами встречает следующее возражение: «Специализированная система всегда проще многофункциональной». С этим трудно не согласиться, но надо помнить, что современные сложные системы реализуют, как правило, не одну функцию, а совокупность функций — дерево основных и дополнительных функций.

Естественно, что в силу исследованных выше закономерностей развития антропогенных систем, устанавливающих взаимосвязи между функциями и структуро-

системы, с одной стороны, и потребностями общества и уровнем научно-технического прогресса — с другой, можно утверждать, что многофункциональные элементы (системы), несмотря на естественное усложнение их структуры и сложность технической реализации, оказываются в конечном счете более экономичными и жизнеспособными.

Развитие научно-технической мысли идет в направлении создания и совершенствования многофункциональных элементов, модулей и систем. И это имеет место, прежде всего, в системах, к которым предъявляются наиболее жесткие требования: транспортных системах, в авиации, космонавтике, системах вооружения, сложных радиоэлектронных комплексах, системах обработки информации, энергетических комплексах и т. д.

Использование многофункциональных элементов и систем соответствует современной стратегии создания ресурсосберегающей техники и технологии.

Во многих случаях многофункциональность системы на более высоких уровнях обеспечивается специализацией на нижних уровнях. Но если внимательно присмотреться к этим «специализированным» элементам и подсистемам нижних уровней, то легко заметить, что и они реализуют не одну функцию, а определенную совокупность функций.

Следует различать два основных аспекта многофункциональности: многофункциональные элементы и многофункциональное использование элементов.

При создании антропогенных систем человечество идет постепенно от второго аспекта к первому, к сознательному формированию многофункциональных модулей. Унификация и стандартизация на основе широкого использования многофункциональных модулей и специализированных модулей широкого назначения стали велением времени во всех отраслях промышленности и народного хозяйства.

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» намечено на основе использования последних достижений науки и техники:

«...создавать многофункциональные машины и оборудование, переналаживаемые при изменении технологических процессов, видов выпускаемых изделий и производимых работ;

широко применять при создании новых машин, оборудования, аппаратуры и приборов модульный принцип с использованием унифицированных узлов и агрегатов»¹.

Анализ развития орудий труда и систем, созданных человечеством, позволяет подметить следующую закономерность: на различных этапах развития общества многофункциональные орудия труда, предметы бытового назначения, вооружения и т. д. сменяются специализированными, а затем на следующем, более высоком, уровне развития снова заменяются многофункциональными и т. д.

На смену камню, служившему универсальным орудием первобытного человека, пришли нож и топор из бронзы и железа. По мере развития промышленного производства был создан универсальный зажимной патрон, приводимый в движение водяным, ветряным и паровым двигателями, появился «универсальный» токарный станок. В конце XVIII в. появились «современные» токарные станки. В XIX в. получили развитие фрезерные, револьверные, расточные, строгальные, долбежные и другие станки. Разнообразный специализированный станочный парк в настоящее время уступает место универсальным обрабатывающим центрам с числовым программным управлением и промышленным роботам широкого назначения.

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» отмечается, что необходимо «значительное увеличение выпуска: металлообрабатывающих станков с числовым программным управлением, особенно многооперационных с автоматической сменой инструментов; автоматических линий для машиностроения и металлообработки, в том числе переналаживаемых»².

Все большее распространение получают промышленные роботы, предназначенные для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций, аналогичных функциям человека при перемещении предметов производства и (или) технологической оснастки.

Развитие робототехники идет исключительно высокими темпами. Происходит дифференциация роботов по их функциональным возможностям. «Универсальные» промышленные роботы предназначаются для выполнения

технологических операций или вспомогательных переходов при функционировании с различными группами технологического оборудования. Специализированные роботы могут использоваться только совместно с определенной группой технологического оборудования.

Современные гибкие автоматические производства строятся на основе многофункциональных модулей. Это направление признано одним из наиболее перспективных в развитии безлюдной технологии.

Проследим в рассматриваемом аспекте эволюцию средств вооружения. Универсальное оружие первобытного человека — палка и камень на последующих стадиях развития общества трансформируются в пик, копья, мечи, луки, арбалеты. Интересно отметить, что гибриды копья и топора — алебарда — применялся в средние века. В конце средних веков это разнообразное вооружение пехоты и конницы уступило центральное место огнестрельному оружию — ружьям, пистолетам, пушкам. В XIX—XX вв. артиллерийское вооружение получило дальнейшую специализацию: появились пулеметы и пушки различного назначения, минометы, ракетные установки. Однако и это разнообразное вооружение уступает основное место ракетно-ядерному оружию с его широким спектром поражающих факторов. Развитие вооружения объективно отражает переход к использованию различных источников энергии: мускульная энергия, энергия пороховых газов, ядерная энергия.

Следует отметить, что непрерывное совершенствование орудий труда и предметов вооружения не исключает широкого использования специализированных и «универсальных» средств, созданных в другие эпохи. Так, например, в современной армии наряду с новейшими системами вооружения широко используются все виды личного оружия — кинжалы, штыки, пистолеты и т. д., характерные для прошлых столетий.

Различные технические устройства и приспособления, транспортные средства, строительные конструкции, шахты, дороги и ирригационные сооружения столетиями успешно служат человечеству, причем оригинальность и простота этих антропогенных систем поражают наших современников.

Как отмечалось выше, переход к новому поколению орудий труда, транспортных средств, средств вооружения и т. д. обусловлен не только необходимостью повышения производительности труда, роста грузоподъем-

¹ Материалы XXVI съезда КПСС.— М.: Политиздат, 1981, с. 144.

² Материалы XXVI съезда КПСС.— М.: Политиздат, 1981, с. 157.

ности и скорости перевозок, требованиями повышения эффективности оружия и т. п., но и объективно связан с открытием и практическим освоением человечеством новых источников энергии.

Механическая энергия мускулов человека и животных в течение многих веков была основной формой энергии. В результате развития физических наук понятие слова «энергия» постепенно расширилось: к механической энергии добавились тепловая и электромагнитная, что позволило совершить первый гигантский шаг на пути энергетики от киловатт до мегаватт и послужило толчком к промышленной революции.

Использование энергии ядерного распада вместе с развитием информационно-управляющих систем привело к новой промышленной революции: теперь энергия измеряется не мегаваттами, а гигаваттами.

В работах [91, 92] рассмотрены основные этапы развития и изменения соотношения между многофункциональными и специализированными аппаратными и программными средствами вычислительных систем и вопросы эволюции микро- и мини-ЭВМ.

ЗАКОНОМЕРНОСТЬ СЖАТИЯ ЭТАПОВ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ

Постепенное сжатие по временной оси диалектической спирали развития является общей закономерностью эволюции систем.

Необходимо отметить, что ускоренная периодизация поколений аппаратов, машин, систем связана не только с сокращением сроков внедрения фундаментальных и поисковых исследований, но также и с уменьшением времени жизненного цикла новых и новейших систем — суммарного времени от формирования концепции системы до ее снятия с эксплуатации. В научно-популярной и специальной литературе приводятся многочисленные примеры, иллюстрирующие сокращение сроков внедрения открытий и изобретений. Научно-техническая революция породила новый термин — «лаг внедрения», определяемый временем, которое отделяет научное открытие от его практического применения.

Для радиолокации «лаг внедрения» составил 25 лет, для телевидения — 12, для транзисторов — 5 лет, для интегральных микросхем — 3 года.

Рассмотрим закономерность сжатия этапов развития систем на примере освоения воздушного и космического пространства.

Вплоть до появления в XVIII в. воздушных шаров и в начале XX в. самолетов, сделавших для человека доступным воздушное пространство, подвижность людей ограничивалась поверхностью Земли, т. е. только двумя измерениями. Прогресс авиации придал устремлениям человечества трехмерный характер — сначала в военной технике, а затем и в сфере воздушных сообщений, которые с конца 1950-х гг. охватили весь мир благодаря созданию больших реактивных лайнеров.

Однако еще в конце второй мировой войны большинство специалистов вообще не считали космос областью исследований, достойной внимания. За появившейся в ходе второй мировой войны первой использовавшейся на практике ракетой на жидком химическом топливе («Фау-2») последовала разработка боевых ракет с ядерными боеголовками, а затем и открытие космических полетов, что оказало революционизирующее влияние на науку и технику последующего десятилетия.

Далее события развивались следующим образом.

В августе 1957 г. в нашей стране осуществлен пуск первой в мире межконтинентальной баллистической многоступенчатой ракеты.

Важнейшими достижениями космонавтики принято считать:

1903 г. — выход первой опубликованной работы К. Э. Циолковского по теории реактивного движения.

1957 г. — запуск первого искусственного спутника Земли (ИСЗ).

1961 г. — первый полет человека с космической скоростью — полет Ю. Гагарина.

В 1957 — 1967 гг. — создание автоматических межпланетных станций «Луна», «Зонд», «Венера», «Марс» для изучения ближайших к нам небесных тел — Луны, Венеры и Марса.

1965 г. — первый выход человека (А. А. Леонова) в космическое пространство.

1969 г. — Нейл Армстронг впервые ступил на поверхность Луны.

Менее чем за 14 лет после первого ИСЗ 8 человек побывал на Луне, 20 астронавтов облетели вокруг Луны [82].

1971 г. — создание первой долговременной орбитальной станции «Салют-1» (СССР) и станции «Скайлэб» (США, 1973 г.).

1977—1978 гг. — создание первого в мире научно-исследовательского комплекса «Салют-6» — «Союз-26» — «Союз-27».

В настоящее время сотни спутников исследовательского и прикладного назначения, а также многочисленные межпланетные зонды служат разнообразным частным и общим потребностям науки и человеческой практики.

Закономерность сжатия этапов развития исключительно хорошо подтверждается эволюцией средств обработки информации.

Первые механические счетно-решающие устройства получили распространение в XIX в. и успешно развивались в течение столетия.

Электромеханические счетно-решающие устройства появились в 1930-х гг. и развивались как приборы управления артиллерийским и зенитным огнем до середины 1960-х гг.

Электронные аналоговые вычислительные машины интенсивно развивались с середины 1940-х гг. до конца 1960-х гг.

Развитие электронных цифровых вычислительных машин идет еще более ускоренными темпами.

Скорость работы ЭВМ за два последних десятилетия возросла на 6—7 порядков, объем оперативной памяти увеличился на 5—6 порядков.

Еще более динамично идет развитие микропроцессорных систем. За 10 лет были разработаны и выпущены миллионными тиражами четыре поколения микропроцессорных комплектов больших интегральных схем. С 1976 г. выпускаются однокристалльные микро-ЭВМ.

Развитие вычислительной техники можно сравнить с развитием авиации и космонавтики. За 75 лет в авиации сменилось 4 поколения самолетов, в вычислительной технике за 40 лет сменилось 4 поколения ЭВМ и за 10 лет — 4 поколения микропроцессорных комплектов больших интегральных схем.

Учитывая соизмеримость сроков разработки и внедрения систем со сроками их морального старения, воз-

можны следующие альтернативы решения возникающей проблемы:

1. Сокращение сроков проектирования за счет использования типовых проектных решений и автоматизация процессов проектирования.

2. Разработка систем с учетом «экстраполяции» их развития. Первый аспект достаточно хорошо осознан и все шире используется создателями систем различного назначения; второй, несмотря на большой потенциальный выигрыш его применения, внедряется значительно медленнее. В данном случае речь идет о системах, способных к реконфигурации, к развитию. Подобный подход используется, например, при создании рядов программно-совместимых моделей вычислительных машин (ЕС ЭВМ, СМ ЭВМ, ряда АСУ).

Системы, способные к расширению функций, наращиванию мощностей, использующие модульный принцип построения, адаптивно-перестраиваемые в соответствии с решаемыми задачами и степенью работоспособности модулей, — таковы характерные черты «развивающихся» систем.

РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ КОМПЛЕКСЫ КАК СИСТЕМЫ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЙ ИНТЕГРАЦИИ

В процессе развития антропогенных систем с целью сокращения затрат и уменьшения вредных вещественных, энергетических и информационных воздействий на окружающую среду осуществляется интеграция различных по функциональному назначению систем по вещественно-энергетическим и информационным каналам, обеспечивающая сбережение ресурсов энергии, вещества и утилизацию отходов.

На входы антропогенной системы поступают потоки вещества, энергии и информации. В зависимости от функционального назначения на выходах системы доминируют те или иные вещественные, энергетические или информационные потоки. Ввиду неидеальности систем и специфических особенностей используемых технологических процессов выходные потоки несут меньшее количество вещества и энергии, чем поступает на входы системы. Определенные части вещества и энергии рассеиваются внутри системы и в окружающей среде. Это вызывает

ряд отрицательных факторов, основными из которых являются:

неэффективное использование материальных и энергетических ресурсов;

вредное воздействие на окружающую среду.

Непрерывное развитие антропогенных систем, повышение их мощностей и ограниченность сравнительно легко доступных природных ресурсов создают ситуацию, близкую к критической.

Выходом из создавшегося положения является использование ресурсосберегающей технологии и техники, а также разработка экологически чистых систем. При развитых формах производства отдельные промежуточные продукты должны быть использованы для производства различных конечных продуктов.

Из общего объема разрабатываемых полезных ископаемых в настоящее время используется примерно половина, остальные идут в отвал. Из этих пород можно было бы вырабатывать более 40 видов массовых строительных материалов, сырье для которых по-прежнему добывается в других рудниках и карьерах.

В решениях XXVI съезда отмечается необходимость «развивать мощности по производству строительных материалов с использованием золы и шлаков тепловых электростанций, металлургических и фосфорных шлаков, отходов горнодобывающих отраслей промышленности и углеобогажительных фабрик»¹.

Появляется все больше и больше предприятий, комплексно и безотходно перерабатывающих многоэлементную руду и получающих от этого большую экономическую прибыль. На Усть-Каменогорском свинцово-цинковом комбинате большинство видов попутной продукции намного превосходит по рентабельности основную. «Попутчики» дают комбинату более половины всей прибыли. Это начало «комплексного века» и только так можно сохранить природу, обеспечить дальнейший прогресс человеческого общества. Другим примером формирования новой высокопроизводительной и ресурсосберегающей техники и технологии является использование прокатных станов для производства массовой продукции с переменным профилем. Один небольшой стан для прокатки полуосей, установленный на Автомобильном заводе имени Ленинского комсомола, полностью обеспечивает потребность огромного предприятия в этих деталях. На изготовление

шестерни методом прокатки требуется 4—5 с. На зуборезных станках та же операция занимает 7—8 мин. Одним из главных достоинств прокатки является резкое снижение отходов производства при металлообработке.

Отходы вещества и потери энергии, возникающие в процессе реализации системой заданной совокупности функций, могут быть использованы в качестве ресурсов для ряда систем, агрегированных с данной. Воспроизведение функций основной системы и систем-сателлитов может в общем случае не совпадать во времени.

Рассматриваемая закономерность интеграции систем с целью формирования ресурсосберегающих и экологически чистых комплексов в свою очередь имеет интегративный характер, «фокусируя» рассмотренные выше закономерности развития и совершенствования функционально-структурной организации систем. Формирование подобных комплексов позволяет разрешить ряд противоречий, возникающих при создании антропогенных систем и при их взаимодействии со средой.

Создание интегрированных комплексов соответствует следующим сформулированным выше закономерностям: вложение базовых функций развивающихся систем, вещественно-энергетическая и информационная целостность систем,

повышение степени функционально-структурной целостности систем,

преemptивность функционально-структурной организации многоуровневых систем,

адекватность функционально-структурной организации назначению системы,

принцип многофункциональности.

Тенденция к формированию интегрированных комплексов служит также подтверждением одного из основных принципов эволюционного процесса, что многофункциональность является магистральной дорогой эволюции.

Концепция сбережения ресурсов должна быть определяющей на всех стадиях жизненного цикла системы: при формировании концепции системы, в процессе ее разработки, при ее изготовлении, в процессе ее эксплуатации, при ее утилизации.

Прекрасной иллюстрацией формирования ресурсосберегающего и экологически чистого комплекса является система, предназначенная для получения азотных удобрений на основе МГД-генератора.

¹ Материалы XXVI съезда КПСС. — М.: Политиздат, 1981, с. 160.

В магнетогидродинамическом (МГД) генераторе осуществляется непосредственное преобразование тепловой энергии в электрическую. Сжатый воздух раскаляется до 3000°C в камере сгорания или реакторе МГД-генератора. Далее ионизированный воздух проносится через магнитное поле генератора, индуцируя ток в рабочей цепи. Коэффициент полезного действия МГД-генератора составляет 60%, что в полтора раза выше, чем у лучших тепловых электростанций.

Оказалось, МГД-генератор является «естественным» химическим аппаратом, в котором образуются окислы азота, необходимые для технологического процесса производства удобрений. Необходимо отметить, что окислы азота, получающиеся при работе МГД-генератора, весьма ядовиты, и необходима их утилизация.

Таким образом, интересы энергетиков и химиков полностью совпадают на всех этапах производства электроэнергии и химических продуктов, начиная от высокотемпературного нагрева газа и молниеносного его охлаждения, что обеспечивает высокий КПД и увеличивает выход азотистых соединений, и кончая улавливанием вредных отходов. Стоимость получаемой электроэнергии примерно равна стоимости химических продуктов, получаемых при работе комплекса.

В работе, посвященной закономерностям развития и методологии эволюционного синтеза антропогенных систем, уместно отметить, что идея МГД-генератора, извлекающего электроэнергию непосредственно из раскаленной газовой струи, была выдвинута более 60 лет назад. Реальные возможности практической реализации этого предложения появились в 70-х годах, когда в результате ракетных, космических и атомных исследований были получены данные о свойствах и поведении газов при высоких температурах и созданы новые жаропрочные материалы.

В сталеплавильном производстве появляется новая техника. В первую очередь это котлы — утилизаторы, устанавливаемые у большегрузных мартенов. Каждый такой котел, использующий тепло сталеплавильного процесса, позволяет сэкономить до 40000 т топлива в год.

Восьмая, доменная печь Магнитогорского металлургического комбината им. В. И. Ленина дает не только чугун, но еще и электроэнергию, горячую воду и технологический пар. На домне стоит утилизационная турбина мощностью 6 МВт. Газовая утилизационная бескомпрес-

сорная турбина (ГУБТ) приводится в действие горячим «доменным газом». Превращение руды в чугун происходит при температуре $1000\text{--}1200^{\circ}\text{C}$, которую обеспечивает сгорающий в доменной печи уголь — кокс. Для повышения интенсивности горения производится непрерывная подкачка воздуха. В результате доменных процессов образуется газ под давлением 2—3 и более атмосфер, вращающий теперь лопасти ГУБТ. В настоящее время на комбинате работают турбины вдвое большей мощности и создается турбина мощностью 25 МВт.

В течение пятилетки все потребности в энергии для развития основного производства магнитогорские металлурги удовлетворяли за счет использования вторичных энергоресурсов. Это позволило каждый год экономить 4,45 млн. т топлива, что соответствует годовой добыче нескольких крупных угольных шахт. Кроме того, ресурсосберегающий комплекс «домна-ГУБТ», базирующийся на принципе многофункциональности, позволил высвободить тысячи железнодорожных вагонов для транспортировки топлива и исключить трудоемкие погрузочно-разгрузочные работы.

В 1982 г. на Рижском вагоностроительном заводе создан новый электропоезд, эксплуатация которого на 20% снижает расход электроэнергии. Экономия достигнута за счет объединения в единый комплекс системы электропривода и тормозной системы. При торможении поезда и движении под уклон осуществляется возврат электроэнергии в контактную сеть. Экономия электроэнергии от эксплуатации новых поездов в 1983 г. составила 9,8 млн. кВт·ч.

На международной машиностроительной ярмарке «БРНО-81», проходившей под девизом «Техника, сберегающая энергию», всеобщее внимание привлек комплекс для молочной фермы.

По технологии перед переработкой молоко необходимо охладить. С другой стороны, ферма нуждается в подогретой воде. В комплексе чешского изобретателя М. Возницы интегрированы обе системы: система охлаждения молока и система подогрева воды. На каждой тысяче литров молока комплекс сберегает более шестидесяти киловатт-часов электроэнергии, используемой ранее для подогрева воды.

Естественно также, что системы жизнеобеспечения космических объектов являются также примерами ресурсосберегающих и экологически чистых интегрированных комплексов.

Следует отметить, что интегрирование однотипных систем в одном конструктивном модуле высокой производительности также позволяет существенно экономить материальные, энергетические и трудовые ресурсы. В материалах XXVI съезда отмечается необходимость повышать в оптимальных пределах единичные мощности машин и оборудования при одновременном уменьшении их габаритов, металлоемкости, энергопотребления и снижения стоимости на единицу конечного полезного эффекта.

Магистральным направлением современной энергетики является увеличение единичной мощности агрегатов: Так, например, мощность одного агрегата Саяно-Шушенской ГЭС эквивалентна мощности 10 Волховских ГЭС. Каждая сооружаемая сейчас тепловая станция — гигант в 1,5 — 2 раза больше по установленной мощности всех станций ГОЭЛРО. Однако на пути создания машин-гигантов возникают серьезные противоречия. Специалисты полагают, например, что единичная мощность порядка 2500 МВт может оказаться пределом для турбогенераторов современного типа, так как дальнейшее увеличение их мощности вступает в серьезные противоречия с теплофизическими, металловедческими и другими проблемами, из которых не последнее место занимает и экономика.

Одним из возможных путей разрешения совокупности противоречий является использование явления сверхпроводимости. В 1982 г. государственной комиссией был принят первый в мире криогенный турбогенератор КТГ-20, разработанный и созданный ленинградскими учеными, инженерами и рабочими под руководством акад. И. А. Глебова.

Стратегия сбережения всех видов ресурсов — трудовых, материальных и энергетических — является основой научно-технической политики социалистического общества. Основные направления формирования систем с расширенными функциональными возможностями, базирующиеся на различных аспектах принципа многофункциональности, рассмотрены в работах [86—90, 94, 9.] и

кратко изложены в гл. 6. В этой же главе рассмотрены эвристические приемы разрешения противоречий при создании антропогенных систем.

Глава 5

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭВОЛЮЦИОННОГО СИНТЕЗА СИСТЕМ

СТРАТЕГИЯ ЭВОЛЮЦИОННОГО СИНТЕЗА СИСТЕМ

Эволюционный синтез систем (ЭСС) базируется на фундаментальных положениях материалистической диалектики и объективных закономерностях развития антропогенных систем.

Стратегия ЭСС использует функционально-структурный подход (ФСП) к исследованию закономерностей развития и создания проблемно-ориентированных систем.

В основу ЭСС положена диалектическая концепция развития систем, отражающая процессы интеграции и дифференциации функций — многофункциональность и специализацию элементов, подсистем и систем в процессе развития. Концепция ЭСС рассматривает антропогенные (технические) системы в непрерывном развитии. Это выражается в преимущественности функционально-структурной организации и технической реализации систем определенного целевого назначения, в формировании систем с возможностью потенциального расширения их функциональных возможностей. По существу развитие определенной системы начинается с момента возникновения потребности в создании систем данного класса и выражается в последовательном формировании множества основных и дополнительных функций (множества целей системы). Множество основных и дополнительных функций является основой для формирования дерева функций, отражающего полноту их реализации в функциональной структуре конкретной системы. ЭСС не подменяет традиционных этапов и методов проектирования и создания систем, а органически объединяет их на качественно новом уровне. ЭСС позволяет в сжатые сроки, при наимень-

ших затратах, создавать системы с высокими технико-экономическими показателями и отодвинуть сроки морального и физического старения систем. ЭСС ориентирован на создание систем с максимальным использованием отработанных технологических процессов, унифицированной элементной базы и предусматривает возможность использования развивающихся технологий. Стратегия ЭСС как стратегия формирования непрерывно развивающихся систем предусматривает естественное включение ранее существовавших систем в качестве подсистем в новые системы.

При создании систем нового класса необходим анализ развития систем родственных классов. Так, например, при создании систем жизнеобеспечения космических кораблей был использован опыт создания подобных систем в авиации и военно-морском флоте.

ЭСС является сложным многофазным процессом. Отдельные фазы ЭСС состоят из ряда взаимосвязанных этапов. Стратегия ЭСС сводится к последовательным формированиям и преобразованиям ряда моделей системы, соответствующих различным уровням функционально-структурной организации системы. В процессе ЭСС используются понятия функциональной и морфологической структуры системы. Функциональная структура отражает функциональные взаимодействия элементов внутри системы и ее взаимодействие с внешней средой. Функциональной структуре соответствует представление системы в виде совокупности функциональных модулей и связей между ними. В основе морфологической структуры системы лежат пространственные отношения между ее элементами. В частности, в технических системах морфологической структуре соответствует представление системы с помощью конструктивных модулей.

Характерной особенностью ЭСС является широкое использование на этапах анализа систем-прототипов, формирования концепции системы и синтеза структуры новой системы следующей совокупности моделей:

- дерева функций системы;
- дерева противоречий системы;
- многоуровневой структуры системы на основе функциональных модулей;
- морфологической структуры системы на основе конструктивных модулей.

Основной задачей эволюционного синтеза является формирование экономичной структуры системы, причем не

просто структуры, а структурной схемы проектируемой системы на основе промышленных (серийных) модулей. Все этапы ЭСС направлены на обеспечение высоких качественных показателей системы не за счет усиления требований к комплектующим элементам и подсистемам, а за счет наиболее полного использования функциональных возможностей типовых элементов. Минимизация структуры проектируемой системы и равномерность загрузки отдельных ее элементов в процессе эксплуатации, экономия, достигаемая на высших уровнях проектирования — системном и структурном, принятая стратегия расширения функциональных возможностей системы в процессе эксплуатации гарантируют не только высокие технико-экономические показатели проектируемой системы, но и обеспечивают ее длительную жизнеспособность.

Ввиду многогранности процесса проектирования и определенной направленности отдельных этапов целесообразно представлять процесс структурного синтеза многоуровневой системы в виде отдельных фаз проектирования. Начальные фазы эволюционного синтеза систем являются по существу фазами анализа функционально-структурной организации и технической реализации систем-прототипов. Проведенный анализ позволяет сформулировать основные противоречия системы, возникающие при создании системы, и установить их причинно-следственные связи. На последующих этапах исследуется дерево противоречий систем рассматриваемого класса и формируется дерево функций проектируемой системы, являющиеся основой для синтеза структуры системы на базе функциональных и конструктивных модулей.

Стратегия эволюционного синтеза предполагает максимальное использование функциональных возможностей элементов (модулей), образующих систему. Рациональное соотношение между многофункциональными и специализированными элементами определяется исходя из диалектической концепции «многофункциональность — специализация» и принципа многофункциональности, подробно исследованных в гл. 4. Соотношение между многофункциональными и специализированными элементами не остается неизменным в процессе развития систем.

Закономерность вещественно-энергетической и информационной целостности систем и закономерность повышения функциональной структурной целостности систем

обуславливают использование многофункциональных модулей и подсистем с расширенными функциональными возможностями. При технической реализации системы предпочтение отдается отработанным, серийным модулям, ранее освоенным в производстве. Тщательно обосновывается необходимость разработки новых модулей системы. На основе дерева функций и эвристических приемов разрешения противоречий [88,90] в технических системах формируется структура системы на основе функциональных модулей. Далее осуществляется покрытие этой структуры конструктивными модулями. Стратегия преобразования дерева функций в структуру на основе функциональных модулей и покрытие этой структуры конструктивными модулями предполагает преимущественное использование многофункциональных модулей. Это позволяет минимизировать структуру системы и обеспечить ее высокие технико-экономические показатели. Порождается ряд альтернативных вариантов системы. Производится их сравнение по основным технико-экономическим показателям. Принимается решение о выборе окончательного варианта системы.

Таким образом, в результате структурного синтеза системы осуществляется не только формирование структуры системы, но и проводится подробное рассмотрение принципов и средств ее технической реализации. Представление системы на основе конструктивных модулей является итогом решения задач не только этапов структурного синтеза, но и основных, определяющих этапов технического проектирования, которые, как правило, инвариантны к конкретному функциональному назначению проектируемой системы.

Методологию эволюционного синтеза наиболее эффективно использовать при создании нового поколения сложных систем. Подобные системы существенно отличаются по своим функциональным возможностям и техническим характеристикам, так как в силу объективно существующей закономерности требования к расширению функциональных возможностей и производительности систем опережают возможности их технической реализации. В соответствии с этой закономерностью обычно при рождении новых систем имеет место эволюционный процесс (до появления новых концепций в развитии научной мысли, существенного роста производительных сил, развития технологий и т. д.).

Эволюционный синтез систем позволяет прогнозировать развитие проектируемых систем с позиций эволюции функций и эволюции технологий. Одновременно необходимо стремиться к созданию систем — «долгожителей», т. е. систем с большим временем морального и физического старения. Это может быть достигнуто при создании систем с возможностью расширения набора реализуемых функций и систем, допускающих совершенствование технической реализации отдельных модулей без реорганизации системы в целом. Такой подход позволяет обеспечить высокую экономическую эффективность разработки и эксплуатации систем и сократить сроки их создания. Возможность непрерывного совершенствования, модернизации системы должна быть одной из определяющих черт грамотно спроектированных систем. Реконструкция промышленных предприятий, направленная на обеспечение повышения производительности труда и выпуск качественной продукции, может служить хорошим примером расширения функциональных возможностей сложных систем.

При создании новых объектов обязательно должны закладываться потенциальные возможности расширения их функций и повышения производительности. Современные промышленные объекты, транспортные магистрали, большие системы обработки информации и управления создаются в несколько этапов, в несколько очередей. Обязательно должны быть предусмотрены площади для расширения строящихся промышленных предприятий, линий связи, транспортных магистралей и т. д.

Большие перспективы создания живучих во времени конструкций представляет разработка базовых моделей. В СССР и за рубежом накоплен удачный опыт создания базовых моделей систем различного функционального назначения. В области автомобилестроения созданы базовые модели автомобилей «Жигули» на Волжском автомобильном заводе и базовые модели грузовых автомобилей «КАМАЗ» на Камском автомобильном заводе.

В области систем обработки информации, как правило, расширение функциональных возможностей и обеспечение требуемой живучести систем может быть обеспечено при создании семейств программно и аппаратно совместимых систем. Более двадцати лет успешно функционируют и развиваются ряды ЭВМ IBM 360/370 и отечественных ЭВМ «Ряд-I» и «Ряд-II» Единой системы ЭВМ, системы малых машин типа «PDP» и оте-

чественных ЭВМ «СМ-1», «СМ-2», «СМ-3» и «СМ-4», разрабатываемых в рамках стран социалистического содружества.

Дальнейшее повышение живучести систем обработки информации может быть достигнуто при переходе к новым принципам функционально-структурной организации — адаптивно-перестраиваемым системам (АПС). Эти системы реализуются на основе многофункциональных модулей, например микропроцессорных комплектов, микро- и мини-ЭВМ, и предусматривают реконфигурацию системы при частичной утрате способности к выполнению функций отдельными модулями системы.

ОСНОВНЫЕ ФАЗЫ И ЭТАПЫ ЭВОЛЮЦИОННОГО СИНТЕЗА СИСТЕМ

В соответствии с изложенной выше стратегией методология ЭСС включает ряд взаимосвязанных этапов формирования структуры системы.

Анализ функционально-структурной организации и технической реализации систем-прототипов позволяет сформулировать основные противоречия, возникающие при создании систем, и установить их причинно-следственные связи. На последующих этапах формируются дерево противоречий и дерево функций системы, являющиеся основой для синтеза структуры системы на базе функциональных модулей. Ввиду многогранности процесса проектирования и определенной направленности отдельных этапов целесообразно представление процесса структурного синтеза многоуровневой системы в виде отдельных фаз проектирования.

Основные фазы и этапы эволюционного синтеза систем могут быть сформулированы следующим образом. Основные фазы и этапы ЭСС.

1. Анализ систем-прототипов.
 1. Выявление основных и дополнительных функций.
 2. Построение обобщенного дерева функций.
 3. Выявление базовых структур.
 4. Анализ принципов технической реализации.
2. Исследование дерева противоречий системы.
 1. Анализ «узких мест» систем-прототипов.
 2. Выявление ограничивающих факторов.
 3. Выявление основного противоречия системы.
 4. Построение дерева противоречий системы.
 5. Анализ дерева противоречий системы.

3. Формирование концепции системы.
 1. Выявление способов преодоления противоречий системы.
 2. Поиск альтернатив технической реализации системы.
 3. Разработка технического задания на систему.
 4. Определение совокупности показателей качества системы.
4. Формирование дерева функций системы
 1. Определение множества основных и дополнительных функций.
 2. Определение числа уровней декомпозиции.
 3. Декомпозиция функций системы.
 4. Выделение набора типовых операторов.
 5. Отображение функций i -го уровня на множество операторов.
 6. Трансформация дерева функций.
5. Формирование функциональной структуры системы.
 1. Анализ методов аппаратной и программной реализации.
 2. Разработка алгоритмов функционирования системы.
 3. Анализ связей между операторами i -го ($i \rightarrow 2 \div n$) уровня.
 4. Построение временных диаграмм активности операторов i -го ($i \rightarrow 2 \div n$) уровня.
 5. Определение загрузки ресурсов подсистемы.
 6. Эквивалентные преобразования операторов ($i \rightarrow n \div 2$).
 7. Формирование функциональных модулей.
 8. Формирование связей на уровне функциональных модулей.
 9. Выбор базовых функциональных структур.
 10. Выделение типовых функциональных подсистем.
6. Формирование морфологической структуры системы.
 1. Выбор технических средств для реализации системы.
 2. Формирование таблиц соответствия функциональных модулей.
 3. Формирование таблиц соответствия конструктивных модулей.
 4. Обоснование разработки оригинальных технических средств.
 5. Преобразование элементов (подсистем) функциональной структуры.

6. Покрытие функциональных подсистем конструктивными модулями.
7. Формирование конструктивных модулей высокого уровня.
8. Формирование альтернативных вариантов системы.
9. Анализ достоверности функционирования системы.
7. Оценка показателей качества и выбор окончательного варианта системы.
 1. Выбор стратегии сравнительного анализа вариантов системы.
 2. Выбор методики оценки показателей качества.
 3. Анализ показателей качества систем.
 4. Формирование документации на систему.

Естественно, что проектирование сложных многоуровневых систем представляет собой итеративный процесс. Все рассмотренные выше этапы являются взаимосвязанными, и принятие окончательных решений на каждом из этапов может быть осуществлено только при получении результатов на предыдущих этапах.

Как всегда, деление сложных процессов на отдельные фазы и этапы, конечно, условно. Следует отметить, что начальные фазы эволюционного синтеза систем являются, по существу, фазами анализа функционально-структурной организации и технической реализации систем-прототипов. Таким образом, процесс ЭСС состоит из 7 фаз, объединяющих 42 этапа формирования структуры системы. Каждая из фаз включает 4—10 этапов. Существенной является последовательность этапов синтеза, а не четкие границы их разделения. В последующих разделах определяются и анализируются отдельные фазы и этапы эволюционного синтеза систем. Результатом последовательного выполнения этапов эволюционного синтеза является структура системы (структурная схема) на уровне реальных конструктивных модулей. Основные конструктивные модули системы являются серийными, а число вновь разрабатываемых модулей сводится к минимуму. Необходимость в разработке новых конструктивных модулей возникает только в случае создания систем нового класса и при очень жестких требованиях к показателям их качества.

Представление системы на основе конструктивных модулей является итогом решения задач не только этапов структурного синтеза, но и основных, определяющих

этапов технического проектирования систем. Далее следуют традиционные этапы технического проектирования, как правило, инвариантные к конкретному функциональному назначению проектируемой системы.

Несмотря на то, что стратегия эволюционного синтеза преследует использование серийных, часто немного функциональных модулей, в отдельных случаях может потребоваться разработка новых модулей. Функции, ими реализуемые, определяются на первой фазе эволюционного синтеза и уточняются на этапе покрытия функциональной схемы системы конструктивными модулями. Методика проектирования нестандартных модулей отдельных подсистем является предметом исследования отдельных технических дисциплин и выходит за рамки настоящей работы.

Рассмотрение основных фаз и этапов ЭСС в настоящей работе ограничивается вопросами проектирования системы на уровне конструктивных модулей. Далее следуют традиционные этапы изготовления, испытания и отработки системы:

- разработка конструкции системы и отдельных подсистем;
- разработка технологии изготовления системы;
- изготовление системы;
- испытания системы;
- опытная эксплуатация системы;
- организация серийного производства системы;
- сбор информации об эксплуатации серийных систем в различных условиях;
- внесение изменений в конструкцию системы;
- определение основных направлений совершенствования системы;
- модернизация системы.

Необходимо отметить тесную взаимосвязь всех этапов проектирования, разработки и создания системы и особую ответственность принятия решений на высших (начальных) этапах проектирования. Учитывая итеративный характер формирования структуры системы, процесс проектирования должен быть организован таким образом, чтобы алгоритм синтеза был построен в соответствии с принципами структурированного программирования, т. е. не содержал вложенных пересекающихся циклов.

Очевидна взаимосвязь основных этапов технического проектирования систем и их «диалектическая инвариант-

ность». Создание систем определенного функционального назначения ведется в соответствии с традиционными этапами проектирования и материализации (физического воплощения) системы. Однако, несмотря на общность указанных процессов и применение «типового» оборудования, при создании системы конкретного функционального назначения, предназначенной для работы в определенных условиях эксплуатации, необходимо учитывать специфические особенности и требования, предъявляемые к системе.

Следует отметить, что при создании технических систем, в частности систем обработки информации, принято выделение следующих уровней (этапов) проектирования: системного, структурного, логического, схематехнического и конструкторско-технологического.

Традиционному этапу системного проектирования соответствуют первые три фазы ЭСС. Тенденции отображения функций модулей высокого уровня на модули более низкого уровня, процессы функциональной и физической интеграции, характерные для современных технических систем, привели к фактическому слиянию этапов структурного и логического синтеза, с одной стороны, и этапов схематехнического и конструкторско-технологического — с другой.

Этапам структурного и логического синтеза соответствуют фазы 4—7 ЭСС.

ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ СИСТЕМНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

На различных фазах ЭСС исследуется взаимное влияние эволюционных процессов, протекающих на различных уровнях иерархии системы.

На основе анализа закономерностей развития систем рассматриваемого класса выявляется ряд положений, присущих создаваемой системе:

1. Совокупность основных и дополнительных функций, реализуемых в системах-прототипах.
2. Базовые структуры систем-прототипов.
3. Типовые функциональные и конструктивные модули предшествовавших систем рассматриваемого и родственных классов.
4. Анализируется процесс взаимоотображения функциональных и конструктивных модулей в системах-прототипах.

5. Составляются таблицы, отражающие функциональные возможности и основные характеристики отработанных и освоенных производством конструктивных модулей.

6. Проводится предварительный анализ «узких мест» в существующих системах.

7. Исследуется возможность применения ранее разработанных систем для решения поставленной задачи.

8. Производится предварительная оценка функциональных возможностей и характеристик модулей, которые должны быть разработаны для создания проектируемой системы.

9. Исследуется возможность применения модулей аналогичного функционального назначения, используемых не только в родственных, но и в «смежных» системах.

10. Предварительно решается задача о целесообразности разработки новых модулей.

11. Уточняются требования по номенклатуре, по функциональным возможностям, техническим и другим характеристикам к проектируемым модулям.

12. Анализируется возможность реализации новых модулей при существующем уровне технологии с учетом производственных возможностей конкретных предприятий-изготовителей.

13. Исследуется возможность заказа необходимых технических средств (модулей, комплектующих изделий).

14. Решается вопрос о целесообразности разработки новых технологических процессов для изготовления проектируемых модулей.

Пункты 1—6 соответствуют первым двум фазам ЭСС. Пункты 7—14 соответствуют фазе формирования концепции системы и поиска принципов ее технической реализации.

В соответствии с закономерностью вложения базовых функций развивающихся систем и закономерностью преемственности функционально-структурной организации систем в структуру новых систем органически входят существовавшие ранее системы, развивающиеся за счет расширения их функциональных возможностей и технического перевооружения. Создание новых систем приводит к эволюции старых систем — наблюдается взаимная связь эволюционных процессов. Например, при создании Единой системы связи страны в нее автоматически входят существующие системы местной и региональной, телефонной и телеграфной, кабельной и

радиорелейной систем связи, а также системы спутниковой связи. Включение местной телефонной связи в систему междугородной связи привело к совершенствованию принципов организации и повышению уровня автоматизации местной связи, совершенствованию телефонной аппаратуры, АТС и линий связи, введению единой системы расчета абонентной платы за услуги и т. д.

В системы ОГАС (общегосударственная система обработки информации), АСГС (автоматизированная система государственной статистики) органически включены все существующие подсистемы государственной статистики: предприятий, учреждений, региональные и областные системы АСГС, республиканские системы АСГС и система ЦСУ СССР.

Создание АСГС заставило переоснастить машинный парк на всех уровнях АСГС и включить в систему специальную аппаратуру передачи данных. Разработка ОГАС предполагает взаимный обмен информацией между существующими и вновь создаваемыми вычислительными центрами отдельных организаций, региональных управленческих центров, центров отдельных отраслей производства с межотраслевыми и республиканскими вычислительными центрами. При объединении указанных выше источников и потребителей информации повысится эффективность двустороннего обмена информацией, эффективность управления народным хозяйством в государственном масштабе. При этом не только расширяются функциональные возможности каждой из подсистем, входящих в ОГАС, но и обеспечивается наиболее эффективное использование средств вычислительной техники за счет перераспределения задач между вычислительными центрами.

Создание качественно новой общегосударственной системы обработки информации и управления неизбежно приводит к совершенствованию ранее существовавших систем и подсистем вычислительных центров различного уровня. Совершенствование этих систем происходит как за счет расширения их функциональных возможностей, так и за счет повышения производительности. Рассмотренная выше эволюция функций неизбежно должна привести к эволюции функционально-структурной организации и совершенствованию технических средств на всех уровнях ОГАС.

Выше рассмотрены процессы влияния эволюции верхних уровней организации систем на нижние. Естественно, что имеет место и обратное влияние. Независимо от развития систем определенного класса идет непрерывный процесс развития производительных сил общества, совершенствования технологии. При этом сравнительно небольшие, накапливающиеся изменения этих процессов приводят к непрерывному совершенствованию элементов подсистем сложной системы. Непрерывно совершенствуются технические и эксплуатационные характеристики изделий и принципы функционально-структурной организации конструктивных модулей подсистем различного уровня. Этот процесс приводит к расширению функциональных возможностей и повышению производительности отдельных подсистем, что, в свою очередь, неизбежно требует пересмотра функционально-структурной организации большой системы в целом. Таким образом, при развитии сложных, многоуровневых систем имеет место закономерность взаимного влияния эволюционных процессов на различных уровнях функционально-структурной организации. Следует подчеркнуть необходимость взаимного соответствия совокупности реализуемых функций уровням организации и технической реализации системы.

При анализе основных и дополнительных функций системы рекомендуется использование материала, изложенного в разделе 2. На основе анализа основных и дополнительных функций устанавливается их преемственность с функциями, характерными для систем рассматриваемого класса, сформировавшимися в процессе эволюции. Такое сопоставление позволяет наиболее точно установить набор основных функций системы, учитывая различные особенности условий эксплуатации системы и ее конкретного применения.

Выполненные исследования позволяют перейти к анализу принципов, методов и способов (алгоритмов) реализации основных и дополнительных функций в системах-прототипах, позволяют оценить возможность применения отработанных принципов, методов и способов для воспроизведения выделенных ранее функций. При этом возможны три варианта результата анализа. В первом случае известные методы и способы могут быть использованы без существенной доработки. Во втором случае возможно только частичное использование

старых методов. В третьем случае требуется разработка новых методов, способов, алгоритмов.

При анализе функций систем должны учитываться не только наборы реализуемых функций, но и конкретные количественные характеристики, определяющие качество реализации этих функций. Типичным примером систем, для которых требуется непрерывное совершенствование используемых методов и алгоритмов реализации базовых функций, могут служить системы распознавания образов, системы распознавания сигналов при высоком уровне помех и т. д.

Непрерывное совершенствование способов реализации дополнительных функций (повышение уровня надежности, живучести) имеет место в системах жизнеобеспечения, контроля и управления системами, связанными с большими энергетическими мощностями (атомные электростанции, системы передачи энергии, хранилища взрыво- и пожароопасных веществ). Непрерывно совершенствуются диалоговые системы — системы общения человека с техническими средствами.

АНАЛИЗ СИСТЕМ-ПРОТОТИПОВ

На этапах 1—4 первой фазы ЭСС осуществляется анализ систем-прототипов, формируются их базовые структуры, являющиеся основой для формирования структуры новой системы, и исследуются возможности использования ранее разработанных систем (подсистем элементов) для решения поставленной задачи.

Анализируется развитие систем аналогичного (близкого) функционального назначения и достигнутый уровень создания систем, близких по функциональному назначению. Исследуются возможности реализации системы при использовании разработанных ранее принципов функциональной организации и серийно выпускаемых комплектующих изделий. В результате выполнения этих этапов определяется необходимость разработки новых принципов, методов, способов (алгоритмов), необходимых для решения задач, возложенных на систему в целом и отдельные подсистемы.

На указанных этапах анализируются в эволюционном аспекте принципы функционально-структурной организации систем рассматриваемого класса и выделяются типовые функциональные и конструктивные модули, используемые для решения заданного круга задач.

Особое внимание уделяется принципам наиболее адекватной физической (технической) реализации проектируемой системы в соответствии с ее функциональным назначением и учетом «сопряжения» проектируемой системы с окружающей средой — другими подсистемами, входящими в комплекс более высокого уровня. Соответствие физической природы элементов системы характеру реализуемых функций (микрофункций) и условиям эксплуатации системы позволяет создавать системы, близкие к естественным и органически вписывающиеся в окружающую среду.

Большое внимание должно уделяться вопросам многофункциональности и специализации модулей системы. Естественно, что окончательное решение вопроса о составе многофункциональных и специализированных модулей должно приниматься не с позиций «элементного уровня» рассмотрения, а при оценке качественных показателей реальной системы в конкретных условиях и режимах ее эксплуатации. В соответствии с закономерностью вещественно-энергетической и информационной целостности систем очень важным фактором является однородность физической природы и принципов функционирования элементов, входящих в систему. Это позволяет осуществить организацию системы без дополнительных преобразований энергии и информации. Как правило, подобные преобразователи по своей сложности превосходят сложность элементов, входящих в систему. Достаточно упомянуть электрические трансформаторы, электромеханические преобразователи, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.

С целью сохранения высокой живучести системы желательно использование гибкой функционально-структурной организации с возможностями введения в систему дополнительных элементов и легкой замены морально и физически устаревающих конструктивных модулей. Это требование обязательно должно выполняться в сложных радиоэлектронных комплексах, распределенных вычислительных системах, в робототехнических комплексах, гибких автоматизированных производствах, в дорогостоящих транспортных системах и т. д. Естественно, что при создании новой системы целесообразно заимствовать не только принципы функционально-структурной организации, но и технической реализации систем-прототипов. Очень часто для решения «новой» задачи можно использовать системы, разработанные ранее.

Известно, что «новое — хорошо забытое старое». Надо всегда помнить эту французскую поговорку. Так, надвигающийся энергетический кризис заставил вспомнить о ветряных мельницах и конструировать ветро-электрические станции. Энергетический кризис привел к возрождению автомобилей, работающих на сжиженном газе. Следует напомнить, что в блокадном Ленинграде до прокладки бензопровода через Ладожское озеро ходили автомобили, работающие на «отработанном» газе аэростатов заграждения.

Необходимость транспортировки в труднодоступные районы крупногабаритных грузов, мостовых ферм, мачт высоковольтных линий электропередач заставила вспомнить о функциональных возможностях дирижаблей. В начале 1981 г. вертолеты были использованы для разматывания больших бухт проводов линий электропередач, передающих энергию Усть-Илимской ГЭС. Получающие все большую популярность телевизионные игры обязаны своим распространением тому, что один из основных и дорогостоящих функциональных модулей игровой системы — модуль отображения информации — реализуется в этой системе «бесплатно». Действительно, в каждом доме, в каждой семье имеется уже готовый конструктивный модуль отображения информации — цветной или черно-белый телевизор. Небольшая приставка превращает телевизор в интересный игровой автомат. Современные телевизоры используются в качестве терминальных устройств информационно-справочной службы программированного обучения на дому, выполняют функции дисплея персональных компьютеров.

Глава 6

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ

Процесс проектирования системы на основе концепции эволюционного синтеза является по существу процессом последовательного формирования и преобразования (трансформации) моделей функционально-структурной организации системы.

Преобразование моделей системы идет в следующей последовательности:

- 1) формирование дерева функций системы,
- 2) декомпозиция функций системы до уровня принятого базового набора операторов,
- 3) формирование модели функциональной структуры системы,
- 4) формирование модели морфологической структуры системы.

При создании конкретной системы выделяется функционально полный набор вещественно-энергетических и информационных операторов, соответствующий системам рассматриваемого класса. Декомпозиция макрофункций системы производится до уровня микрофункций, соответствующих принятому набору функциональных операторов. Так как методология эволюционного синтеза предусматривает максимальное использование отработанных модулей, заимствованных из систем-прототипов, то на основе сопоставления обобщенного дерева функций систем-прототипов и серийных конструктивных модулей, реализующих соответствующие функции, уточняется набор функциональных операторов системы при принятом уровне декомпозиции.

Операторное представление системы является удобной формой для формирования и преобразования последующих моделей системы. Эквивалентные преобразования операторной модели осуществляются на основе эвристических приемов, базирующихся на диалектическом единстве многофункциональности и специализации в развитии систем.

Таким образом, формирование структуры системы осуществляется на основе принципов композиции и декомпозиции (интеграции и дифференциации) функций и структур различных подсистем. Многовековая практика создания атропогенных систем подтверждает, что «новые» технические решения представляют по существу композицию (декомпозицию) как известных ранее, так и новых (дополнительных) функциональных и конструктивных модулей.

Преобразование операторных моделей системы направлено на повышение степени однородности структуры, минимизацию числа и снижение сложности вещественно-энергетических процессов и ориентировано на макси-

мальное использование типовых технических решений при формировании структуры системы. Существенное улучшение показателей качества системы по сравнению с прототипами достигается при использовании новых физических принципов для реализации вещественно-энергетических и информационных операторов системы.

Преобразованная в соответствии с принятой концепцией создания системы ее операторная модель является основой для формирования функциональной структуры системы. В этой структуре каждой совокупности выделенных операторов соответствует адекватный функциональный модуль и устанавливается определенная соподчиненность связей между модулями.

Морфологическая структура системы формируется на основе покрытия функциональных модулей системы конструктивными модулями. Выбор ряда конструктивных модулей определяется условиями эксплуатации системы и условиями технического задания. Эта процедура может быть реализована при использовании таблиц соответствия функциональных и конструктивных модулей, отражающих по существу функциональные возможности конструктивных модулей, имеющихся в распоряжении разработчика.

Естественно, что процесс совершенствования структуры системы имеет итеративный характер и при неудовлетворительном покрытии функциональной структуры системы конструктивными модулями (при невыполнении требований технического задания по определенной группе технико-экономических показателей) необходимо осуществить новое преобразование операторной модели системы, направленное на устранение выявленных недостатков. Далее осуществляется процесс преобразования моделей в соответствии с указанной последовательностью.

Основные преобразования, выполняемые в процессе структурного синтеза систем, соответствует 4, 5 и 6 фазам ЭСС.

Исходными данными для структурного синтеза систем являются результаты анализа систем-прототипов (обобщенное дерево функций систем рассматриваемого класса, базовые структуры систем-прототипов и наиболее удачные принципы технической реализации отдельных подсистем), оригинальные способы разрешения «противоречий системы», выявленные на основе

исследования дерева противоречий, тщательно отработанное техническое задание на систему и принятая концепция формирования системы.

ФОРМИРОВАНИЕ ДЕРЕВА ФУНКЦИЙ СИСТЕМЫ

На основе анализа систем-прототипов в соответствии с требованиями технического задания осуществляется формирование множества основных и дополнительных функций системы. Множество основных функций определяет класс системы. Изменение этого множества порождает систему нового класса. Множество дополнительных функций определяет такие качества системы, как надежность, живучесть, сервис, предоставляемый пользователям системы и т. п. Изменение множества дополнительных функций порождает различные варианты систем данного класса, определяемого множеством основных функций.

На данном этапе осуществляется анализ множества основных и дополнительных функций системы. На основе анализа этих функций устанавливается их преемственность с функциями, характерными для систем рассматриваемого класса, сформировавшимися в процессе эволюции. Такое сопоставление позволяет уточнить состав функций, учитывая особенности условий эксплуатации системы и ее конкретного применения. В результате декомпозиции основных и дополнительных функций формируется дерево функций системы. Каждый последующий уровень функционального представления получается из предыдущего в результате декомпозиции функций, расположенных на предыдущем уровне. Каждый новый, более подробный, уровень описания функций, реализуемых системой, отличается уменьшением уровня абстракции и повышением степени детализации. Процесс формирования дерева функций системы существенно облегчается при наличии в распоряжении проектировщика деревьев функций систем-прототипов.

ДВА ПОДХОДА К ФОРМИРОВАНИЮ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ

Процесс синтеза антропогенной системы включает два подхода к формированию ее структуры:

«сверху», на уровне макрофункций системы, «снизу» на уровне микрофункций.

При первом подходе для формирования системы используются верхние уровни декомпозиции дерева функций. При втором подходе требуется большая степень декомпозиции основных и дополнительных функций. Выше отмечалась относительность понятий макро- и микрофункций. Формирование структуры при первом подходе предполагает комплексирование системы на основе функциональных и конструктивных модулей высокого уровня.

Выше отмечалось, что формирование сложных многоуровневых систем невозможно с «нулевого уровня». Обязательно должны быть отработаны элементы системы. В противном случае вопрос о создании определенной системы может оказаться преждевременным. Полная декомпозиция дерева функций необходима для выработки новой концепции создания системы, а также при использовании новых физических принципов для ее реализации. Как правило, уровень декомпозиции функций, на основе которого идет формирование функциональной и морфологической структуры, определяется принятой концепцией создания системы, ограничениями технического задания, сроками создания системы, доступной элементной базой. Так, например, при формировании структуры информационно-управляющей системы может быть рекомендована следующая последовательность альтернативных решений:

выбор типа управляющего вычислительного комплекса из ряда мини-ЭВМ, реализующего заданную совокупность основных и дополнительных функций; формирование многомашинной структуры системы с декомпозицией макрофункций на ряд микро- и мини-ЭВМ;

введение в систему специальных «функциональных расширителей», реализующих аппаратно ряд макро- или микрофункций с целью повышения производительности системы «универсальные ЭВМ — функциональные расширители»;

создание мультипроцессорной системы на базе многофункциональных и специализированных модулей;

формирование структуры, полностью адекватной реализуемому алгоритму, на основе микросхем различной степени интеграции.

Рассмотренные два подхода к формированию структуры системы «сверху» и «снизу» взаимосвязаны и в процессе синтеза системы взаимно дополняют друг друга.

ЧИСЛО УРОВНЕЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ СИСТЕМЫ

Учитывая многоуровневость декомпозиции, каждая из функций может рассматриваться как макрофункция и (или) микрофункция, в зависимости от уровня рассмотрения. Практика декомпозиции функций показывает, что реальное число микрофункций μF_{i+1} $(i+1)$ -го уровня, формируемых в результате декомпозиции макрофункции MF_i i -го уровня, сравнительно невелико. При большом числе выявленных микрофункций целесообразно увеличить число функций предыдущего уровня декомпозиции.

Введем в рассмотрение коэффициент декомпозиции D_i^j , определяемый как количество микрофункций $(i+1)$ -го уровня, соответствующих j -й макрофункции MF_i i -го уровня. Многовековая практика человечества показывает, что эффективное управление в различных антропогенных системах возможно при коэффициенте декомпозиции, не превышающем 5—7. Указанный коэффициент декомпозиции характерен также для большинства организационных социальных структур. В экономических системах аналогичный коэффициент известен как норма управляемости (коэффициент управляемости).

Следует отметить, что степень декомпозиции макрофункций зависит от однородности выделяемых микрофункций. При однородных, идентичных микрофункциях их число может существенно возрастать. Так, например, при организации поточного производства норма управляемости на одного руководителя существенно выше, чем при организации мелкосерийного или опытного производства. Декомпозиция макрофункций на сравнительно большое число микрофункций характерна также для систем микропрограммного управления. Идентичность декомпозиции макрофункций и соответствующая им регулярность (повторяемость) процессов во времени и пространстве позволяет создать экономичные однородные структуры, эффективно реализуемые современными прогрессивными технологическими методами. Примером может служить реализация управляющих систем с микропрограммным управлением на базе многофункциональных запоминающих устройств, изготовленных методами интегральной технологии.

Следует отметить второе свойство сложных, эффективно организованных антропогенных систем. Число уровней декомпозиции дерева функций этих систем,

независимо от функционального назначения, обычно также не превышает 5—7 уровней. В процессе формирования системы происходит совмещение функций отдельно взятого уровня и смежных уровней. Число уровней структурной организации в реальных системах не превышает 3—5 уровней. Осуществляемый в процессе синтеза многоуровневых систем переход от предельной декомпозиции функций (построение дерева функций) к предельно возможному сжатию (совмещению) функций соответствует сформулированному выше принципу многофункциональности и закономерности физической интеграции функционально связанных элементов в подсистемы.

Указанное число уровней декомпозиции и число уровней функционально-структурной организации иерархических систем может показаться недостаточным при синтезе сложных систем. Так, например, если произвести декомпозицию функций АСУ ТП до уровня микрофункций, соответствующих микрооперациям подсистемы обработки информации, то можно насчитать более десяти уровней декомпозиции. Это наглядно видно, если произвести совместный анализ дерева функций АСУ ТП и дерева функций универсальной системы обработки информации. Однако подобное представление системы не будет правомерным. Создание сложных систем стало возможным только благодаря выше отмеченной закономерности перехода систем $(i+1)$ -го уровня в подсистемы i -го уровня. Причем отработка этих систем ведется самостоятельно, и только после достижения определенной степени совершенства и при получении требуемых гарантий автономности и надежности функционирования они могут стать основой для построения систем более высокого ранга. В частности, построение современных интегрированных АСУ стало реально возможным только в последние годы после создания и организации широкого серийного выпуска ряда вычислительных машин семейства СМ ЭВМ, отработки их программного обеспечения и накопления фонда пакетов прикладных программ.

Реальные ограничения числа уровней при формировании дерева функций системы определяются разумной начальной ориентацией на определенную элементную базу в широком смысле этого слова. При рассмотрении дерева функций отмечалось, что декомпозиция основных и дополнительных функций осуществляется до уровня микрофункций, соответствующих функциональным возможностям модулей, которые могут быть использованы

для реализации системы. Ограничение на число уровней декомпозиции связано с прагматическим подходом к синтезу систем. Современные системы должны создаваться, как правило, в минимальные сроки при максимальном использовании унифицированных компонентов. Не исключается и более глубокая декомпозиция основных и дополнительных функций проектируемых систем. Такая декомпозиция при глубоком анализе и тщательном исследовании могла бы породить оригинальные и возможно более совершенные конфигурации системы, базирующиеся, например, на новых физических (или иных) принципах.

ВЫДЕЛЕНИЕ НАБОРА ВЕЩЕСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ОПЕРАТОРОВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ

Дерево функций системы представляет декомпозицию основных и дополнительных функций. Элементами дерева функций являются отдельные функции, представляющие макро- или микрофункции в зависимости от уровня рассмотрения. В дальнейшем с учетом необходимости проведения формальных преобразований будем рассматривать элементы дерева функций как операторы. Операторное представление функций и структуры системы целесообразно по следующим соображениям. Оператор представляет более общее понятие, чем функция, и позволяет отображать функцию одной переменной в функцию другой переменной.

Понятие оператора покрывает как элементарные операции — микрофункции (простой оператор), так и совокупность операций — макрофункции (сложный оператор). Над операторами возможны различные преобразования: вложение операторов, декомпозиция операторов и т. д. Причем сложный оператор соответствует совокупности простых операторов. В настоящей работе оператор рассматривается как направленное воздействие (действие) с целью реализации соответствующей макрофункции или микрофункции. Полное определение оператора включает: вид (простого или сложного) преобразования; объекты, подлежащие преобразованию; условия выполнения преобразований.

В соответствии с закономерностью вещественно-энергетической и информационной целостности систем и основными процессами преобразования, обработки, хранения

вещества, энергии и информации и управления указанными процессами могут быть выделены следующие совокупности вещественных, энергетических и информационных операторов.

Совокупность вещественных операторов:

P_V — переработка вещества $[V_i \Rightarrow V_j]$;

M_V — хранение вещества (задержка поступления вещества во времени) $[V_i(t) \Rightarrow V_i(t + \Delta t)]$;

T_V — перемещение (транспорт) вещества

$[V_i(S_k) \Rightarrow V_i(S_l)]$, где S_k, S_l — обобщенные координаты пространства;

$C(P_V, M_V, T_V)$ — управление процессами переработки, хранения и перемещения вещества.

Вещественные операторы описывают процессы в технологических системах, целевым назначением которых является переработка и транспортировка вещества. Типовыми технологическими операторами переработки являются: смешивание веществ в определенной пропорции, изменение состава и формы вещества в процессе обработки, соединение отдельных компонентов и т. д.

Совокупность энергетических операторов:

P_E — преобразование энергии $[E_i \Rightarrow E_j]$;

M_E — накопление энергии $[E_i(t) \Rightarrow E_i(t + \Delta t)]$;

T_E — передача энергии $[E_i(S_k) \Rightarrow E_i(S_l)]$;

$C(P_E, M_E, T_E)$ — управление процессами преобразования, накопления и передачи энергии.

Энергетические операторы отражают реальные процессы в энергетических системах. Типовые энергетические операторы: преобразование энергии из одного вида в другой, аккумуляция энергии, передача энергии, энергетический обмен.

Совокупность информационных операторов:

P_I — преобразование (обработка) информации $[I_i \Rightarrow I_j]$;

M_I — хранение (запоминание) информации $[I_i(t) \Rightarrow I_i(t + \Delta t)]$;

T_I — передача (обмен) информации $[I_i(S_k) \Rightarrow I_i(S_l)]$;

$C(P_I, M_I, T_I)$ — управление процессами преобразования, хранения и передачи информации.

Информационные операторы отражают информационные процессы абстрагированно от конкретных вещественных и энергетических носителей и преобразователей информации. Типовыми операторами систем обработки информации являются: переработка данных, хранение, прием и передача информации и управление информа-

ционными процессами. Выше показано, что набор P, C, M, T — информационных операторов является функционально полным.

В силу закономерности вещественно-энергетической и информационной целостности систем такое абстрактное, удобное для синтеза, деление операторов является весьма условным. В естественной природе и антропогенных динамических системах вещественные, энергетические и информационные процессы совмещены.

В настоящее время процесс проектирования сложных систем является весьма разделенным. Оработка технологических процессов, разработка энергетических систем, создание комплексов технологического оборудования и информационно-измерительных систем ведется различными коллективами в отрыве друг от друга. Изолированное решение комплексных вопросов формирования структуры сложных систем порождает «системы-монстры», отдельные подсистемы которых слабо связаны друг с другом. При таком подходе к созданию систем нарушается принцип целостности.

Переосмысливание традиционных принципов, методов и практики проектирования требует создания целостных моделей сложных систем. Такие модели до настоящего времени не созданы. Одним из возможных путей создания моделей антропогенных систем с учетом принципа вещественной, энергетической и информационной целостности систем является включение в процессы структурного синтеза комплексных операторов.

Комплексные и инверсные операторы. Определим комплексный оператор как оператор, отражающий взаимодействие минимум двух субстанций. Выделим следующие комплексные операторы:

вещественно-энергетические $(V \Rightarrow E_j)$ -операторы, вещественно-информационные $(V \Rightarrow I_j)$ -операторы, информационно-энергетические $(I \Rightarrow E_j)$ -операторы, обобщенный $(V \Rightarrow E \Rightarrow I_k)$ -оператор.

Следует отметить неправомочность непосредственного рассмотрения комплексных операторов как операторов взаимного «преобразования» вещества, энергии и информации. Эти операторы отражают только основное содержание (функции) системных процессов.

Могут быть введены в рассмотрение инверсные операторы как для простых операторов, так и для комплексных операторов. Для простых операторов инверсными являются операторы типа: $(V \Rightarrow V_i)$ -оператор,

$(E \rightleftharpoons E_i)$ -оператор, $(I \rightleftharpoons I_i)$ -оператор. Следует отметить относительность понятий «прямой» и «инверсный» операторы.

Использование инверсных простых и комплексных операторов базируется на фундаментальных законах природы, естественных свойствах процессов и явлений, а также на обратимости процессов материального мира. Достаточно вспомнить такие фундаментальные законы как законы сохранения энергии и количества вещества, законы термодинамики, взаимосвязь массы и энергии (теория относительности) и т. д.

Обратимость процессов находит свое отражение например, в различных преобразованиях и взаимопревращении различных видов энергии. В частности для электрической энергии известны взаимные превращения в механическую, тепловую, химическую, световую энергии. Законы М. Фарадея устанавливают взаимосвязь и взаимозависимость электрических и магнитных полей, эффекты Пельтье и Зеебека доказывают непосредственное взаимопреобразование электрической тепловой энергии. Уже столетие используются взаимопереходы химической и электрической энергии (гальванозлектрические явления), взаимопревращения электрической и механической энергии («обратимость электродвигателя и генератора»). В конце XIX в. были открыты прямой и обратный фотоэлектрические эффекты, в современной технике широко используется эффект Холла.

Рассмотрим ряд примеров комплексных операторов

$(E \rightleftharpoons V_i)$ -операторы отражают такие процессы, как изменение структуры вещества при взаимодействии различных полей, ускорение заряженных частиц вещества в электрическом или магнитном полях, намагничивание образца в магнитном поле, достижение свойств сверхпроводимости в области низких температур и т. д.

$(I \rightleftharpoons V_i)$ -операторам в антропогенных системах соответствуют процессы хранения информации при использовании различных материальных носителей.

Следует отметить, что многовековая культура человечества, информация о законах природы и истории развития общества, его производительных сил отражены и зафиксированы различными материальными носителями: памятниками культуры, древними папирусами и табличками с клинописью, книгами, архитектурными сооружениями, различными техническими и производственными

системами, произведениями искусства и другими антропогенными системами.

Интенсивное развитие информационных систем порождает хранилища информации практически неограниченного объема с малым временем доступа. Несколько модулей современной оптоэлектронной памяти могут зафиксировать и быстро в диалоговом режиме предоставлять пользователю сокровища национальных библиотек мира. Это не фантазия, это реальность сегодняшнего — завтрашнего дня! Информационно-поисковые системы такого назначения разрабатываются в настоящее время во многих странах.

В большинстве современных систем используются следующие виды носителей информации: перфокарты, перфоленты, статические и динамические магнитные и полупроводниковые запоминающие устройства, микрофиши, оптоэлектронные системы памяти и т. д. Развернутая классификация, принципы функционально-структурной организации, основные информационные характеристики и вопросы взаимосвязи показателей качества накопителей информации, базирующихся на различных физических принципах, рассмотрены в работах [98, 99].

Количественные характеристики передаваемой, хранимой и перерабатываемой информации в общем случае непосредственно не связаны с количественными характеристиками используемых для этих целей носителей информации. При этом следует отметить, что количество вещества и энергии, используемых для хранения, переработки и преобразования информации по мере совершенствования техники обработки информации уменьшается на несколько порядков. Непрерывная микроминиатюризация радиоэлектронных элементов практически подтверждает это положение. Однако существуют реальные физические пределы микроминиатюризации элементов информационных систем. Эти ограничения определяются конкретными физическими принципами, положенными в основу построения логических и запоминающих элементов, и термодинамическими процессами, происходящими в структуре вещества. Однако для большинства полупроводниковых, магнитных и оптоэлектронных систем эти пределы в настоящее время еще далеко не достигнуты. Во всем мире идет интенсивный процесс функциональной интеграции микроэлектронных информационных систем.

ДИНАМИЧЕСКАЯ СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМ

Для анализа системных процессов и формирования структуры системы необходима модель, отражающая процессы функционирования системы при различной степени декомпозиции макро- и микрофункций. В соответствии с основными выделенными процессами материального мира обобщенное описание функциональной подсистемы (элемента) должно отражать процессы преобразования, хранения, обмена и управления потоками вещества, энергии и информации.

Процессы функционирования элементов и системы в целом могут быть описаны рассмотренной выше совокупностью вещественных, энергетических и информационных операторов — прямых, инверсных, комплексных и обобщенных. Такое обобщенное представление процессов в системе является исключительно важным. В используемых в настоящее время моделях сложных систем производится раздельный анализ процессов преобразования вещества V , энергии E информации I . Все большее распространение получает стратифицированное представление процессов и структуры сложных систем. Стратифицированный подход является достаточно оправданным и дал положительные результаты при анализе сложных систем, например автоматизированных систем управления производством (АСУП). Однако при анализе и синтезе автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) стратифицированное представление уже не дает полного представления о взаимосвязи процессов в системе. Стратифицированные модели систем оказываются односторонними. Суперпозиция этих моделей воспроизводит всей совокупности вещественных, энергетических и информационных процессов в целостных системах.

Выше отмечалось, что одним из возможных путей создания более совершенных моделей является использование комплексных вещественно-энергетических ($V \rightleftharpoons E_i$), информационно-энергетических ($I \rightleftharpoons E_i$), информационно-вещественных ($I \rightleftharpoons V_i$) и обобщенных ($V \rightleftharpoons E \rightleftharpoons I$)-операторов. Такой подход следует рассматривать как одно из возможных направлений на сложном пути создания более совершенных моделей целостных систем.

В процессе развития антропогенных систем в структуре сложных многоуровневых систем осуществляется взаимодействие процессов различной природы — физических, химических, биологических, соответствующих различным формам движения материи. Исследования, проведенные автором настоящей работы, показывают, что функционирование сложной системы может быть представлено динамической сетью, образованной функциональными модулями, соответствующими базовому набору РСМТ-операторов. При этом осуществляется переход от «статической» модели дерева функций системы к «динамической» модели сети, задающей множество возможных вариантов реализации операторов (функций) при различной степени декомпозиции функционально-структурной организации системы.

Каждая функциональная подсистема может быть отождествлена с соответствующим функциональным модулем. Такое представление остается справедливым на любом уровне декомпозиции системы. Для организации системы необходимо, чтобы ее структура включала следующие функциональные подсистемы: процессор, накопитель, распределитель, контроллер (см. гл. 3). Анализ принципов организации антропогенных систем позволяет выделить четыре подхода к организации управления (иницирование процессов обработки): по запросу на «технологический продукт» (материал обработки); по готовности исходного материала для обработки; по поступлению информации о готовности исходного материала; по формированию сигнала активности в фиксированные моменты времени. При управлении реальными достаточно сложными системами (подсистемами) используются смешанные стратегии управления. Каждая из подсистем, воспроизводящая набор РСМТ-операторов, может рассматриваться как совокупность функциональных модулей, реализующих соответственно функции обработки, управления, хранения и обмена. В свою очередь, каждому из выделенных функциональных РСМТ-операторов (модулей) i -го уровня декомпозиции системы соответствует своя совокупность РСМТ-операторов $(i+1)$ -го уровня. Таким образом, для представления процессов функционирования системы возможно использование рекурсивного описания в терминах РСМТ-операторов.

При принятом в настоящей работе операторном подходе к функционально-структурному описанию системы

моделью системы может служить сеть, состоящая из функциональных модулей. Каждый из функционально полных модулей реализует базовый набор РСМТ-операторов, специализированные функциональные модули ориентированы на выполнение усеченного набора РСМТ-операторов. В соответствии с рассмотренной выше концепцией «многофункциональность — специализация» структура системы представляет сочетание многофункциональных и специализированных элементов, соотношение между которыми определяется уровнем развития конструкторско-технологической базы и фазой развития системы.

В системах обработки информации многофункциональному модулю, реализующему полный набор РСМТ-операторов, может быть поставлена в соответствие алгоритмически универсальная структура, такая, как, например, машина Дж. фон Неймана. При увеличении числа уровней декомпозиции операторов (функций) происходит «расширение» сети. Свойство деформации сети (сжатие или расширение сети) при изменении числа уровней декомпозиции может быть использовано с целью наиболее адекватного покрытия функциональных модулей конструктивными.

В общем случае сеть представляет четырехдольный ориентированный граф, представляющий суперпозицию графов, отражающих структуру подсистем обмена веществом, энергией, информацией, и графа, задающего структуру управляющих связей. Послойное рассмотрение графа адекватно стратифицированному представлению системы. Функционирование сети осуществляется в соответствии с выделенными выше механизмами (стратегиями управления). В общем случае ограничения на использование различных механизмов в рамках одной подсистемы отсутствуют. Можно выделить два основных аспекта использования предложенной сетевой РСМТ-модели: для организации процесса проектирования системы и в качестве описания модели функционально-структурной организации системы.

В первом случае сетевая РСМТ-модель используется для организации процессов проектирования и создания системы коллективом исполнителей. Отдельные функциональные подсистемы в данном случае отождествляются с этапами разработки (создания) соответствующих модулей системы. Таким образом, сетевая РСМТ-модель является по существу основой для формирования

сетевого графика организации работ отдельных групп, реализующих проект. Отображение функций на конструктивные модули может быть адекватным и неадекватным. В последнем случае возникают противоречия, которые должны быть разрешены при создании системы.

Основными путями разрешения противоречий являются:

- трансформация сетевой модели системы (дерева функций системы) при использовании аппарата эквивалентных преобразований операторов;

- трансформация (коррекция) дерева функций на основе неэквивалентных преобразований;

- изменения состава модулей, на которых может быть реализована система.

Для разрешения противоречий на всех этапах формирования функционально-структурной организации антропогенных систем используются сформулированные в настоящей работе эвристические приемы синтеза эффективных систем, базирующиеся на диалектической концепции совмещения — разделения функций.

Сетевая РСМТ-модель системы является также фундаментом для научно обоснованного управления процессами исследований и разработки сложных систем.

ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКОЕ ТВОРЧЕСТВО КАК ПРОЦЕСС РАЗРЕШЕНИЯ ПРОТИВОРЕЧИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ

Рождение изобретения представляет последовательность процессов разрешения диалектических противоречий между средствами, необходимыми для достижения цели изобретения, и известными приемами и существующими средствами решения аналогичных задач. Отличительной особенностью изобретений является изящность решения достаточно сложной задачи, относительная простота и оригинальность решения. Изобретения вызываются к жизни потребностями общества, потребностями промышленности, транспорта, сельского хозяйства, медицины, необходимостью улучшения бытовых условий.

Системы конструируются человеком тогда, когда возникает проблемная ситуация — противоречие между возникшими потребностями и отсутствием готовых средств для их удовлетворения. Это противоречие

рождает цель, в частности цель изобретения (рационализаторского предложения). Цель требует средств для ее достижения. Система во всем многообразии ее аспектов и является воплощением единства цели и средств. Созданная система, таким образом, является средством решения проблемы. Новизна задачи, решаемой изобретателем, не является обязательной. Решение известных задач может оказаться новым и дать ощутимый эффект.

Наряду с традиционными трудностями создания новых систем в процессе изобретательского творчества приходится преодолевать психологический барьер признания систем нового класса. Как правило, эксперты стремятся «уложить» новые изобретения в известные классы. Как изобретение, так и рационализаторское предложение должны содержать не только постановку, но и решение задачи. Понятие «решение» отражает одно из самых важных свойств изобретения и рационализаторского предложения. Это свойство заключается в том, что и изобретение, и рационализаторское предложение являются результатами творчества. Решение — это результат творчества, обладающий новизной для общества в целом или для предприятия (организации, учреждения). Решением является сущность, предмет изобретения, отраженные в совокупности признаков его формулы, или содержание, предмет рационализаторского предложения, изложенные в описании последнего.

Изобретением признается не любое, а лишь техническое решение. Анализ понятия «техника» до сих пор не привел к выработке однозначного критерия ограничения охраноспособных изобретений от неохраноспособных по признаку технического характера задачи или решения.

В настоящее время принята классификация изобретений, исходя из используемых в них форм движения материи: механические, физические, химические, микрологические.

При использовании в одном объекте двух и более форм движения классификация осуществляется по основной, наиболее характерной для данного объекта, форме движения. В настоящее время имеет место распространение термина «технический характер решения» на все более сложные формы движения материи. С 1976 г. признаются изобретениями «объекты числительной техники, характеризуемые математическим

обеспечением ЭВМ». Таким образом «кибернетическая» форма движения, на существование которой указал Б. М. Кедров [28], может рассматриваться как «техническая».

Противоречие, которое должно быть разрешено в процессе изобретательского творчества, — это противоречие между целью изобретения — необходимостью реализации определенной совокупности функций в заданных условиях эксплуатации — и возможностью достижения цели с минимальными затратами — путем формирования экономичной структуры предмета изобретения.

В процессе формирования предмета изобретения в области техники разрешаются не только противоречия уровней функционально-структурной организации системы (предмета изобретения), но и различных этапов проектирования и создания системы. Целью изобретения является, как правило, расширение состава реализуемых функций и улучшение показателей качества системы (повышение производительности, увеличение коэффициента полезного действия и др.). Изобретения относятся к определенному классу и, как правило, имеют прототипы. Исключение составляют только «пионерские изобретения». Таких изобретений сравнительно немного — примерно одно на 10 тысяч.

В констатирующей части заявки на изобретение отмечаются подсистемы (элементы), входящие в состав прототипа предполагаемого изобретения. В отличительной части формулировки предмета изобретения указываются отличия рассматриваемого изобретения от прототипа. Формулировка предмета изобретения отражает развитие дерева функций. Как отмечалось выше, при анализе развивающихся систем и, следовательно, при рождении изобретений создаются системы (элементы, устройства, машины) с расширенным набором реализуемых функций и происходит количественное увеличение (усиление) основных функций. Изменение состава основных функций порождает системы нового типа, нового класса.

Основными путями разрешения противоречий в процессе изобретательского творчества являются: использование диалектической концепции «многофункциональность — специализация» (интеграция — дифференциация функций системы); расширение спектра используемых форм движения материи.

Первое из указанных направлений исследовано в работе [90]. В последующем разделе настоящей работы кратко анализируются эвристические приемы решения изобретательских задач, базирующиеся на использовании различных аспектов принципа многофункциональности. Второе направление разрешения противоречий изобретательского творчества соответствует закономерности направленности процесса развития систем (см. гл. 3). Эвристические приемы решения изобретательских задач, соответствующие второму направлению разрешения противоречий, проанализированы в работах [63, 64].

В процессе выполнения ряда поисковых и прикладных научно-исследовательских работ в 1960—1983 гг. под научным руководством и при непосредственном участии автора этой книги были разработаны на уровне изобретений новые классы систем хранения, переработки информации и управления:

запоминающие устройства повышенной надежности с разделением функций хранения и выборки информации в элементах памяти;

многофункциональные запоминающие устройства, совмещающие функции хранения и переработки информации; многофункциональные регулярные вычислительные структуры;

многофункциональные элементы и устройства автоматизированных систем управления;

системы экспресс-диагностики и управления функциональным состоянием биообъекта.

Указанные разработки защищены 130 авторскими свидетельствами СССР. Все изобретения направлены на расширение функциональных возможностей, повышение надежности и эффективности эксплуатации информационно-управляющих систем. В процессе решения изобретательских задач разрешены противоречия между указанными целями изобретений и сложностью структуры устройств (элементов, систем), предназначенных для реализации заданных функций в определенных условиях эксплуатации.

РАЗРЕШЕНИЕ ПРОТИВОРЕЧИЙ В ПРОЦЕССЕ СИНТЕЗА СИСТЕМ

В соответствии с закономерностью взаимосвязи и взаимозависимости показателей качества антропоген-

ных систем улучшение одной группы показателей качества проектируемой системы неизбежно связано с ухудшением других показателей. Одним из эффективных путей разрешения традиционных противоречий, возникающих при создании систем, является использование принципа многофункциональности. Многолетний анализ развития антропогенных систем позволил нам сформулировать ряд эвристических приемов синтеза эффективных систем, базирующихся на различных аспектах указанного принципа [89, 90].

Эвристические методы решения задач обычно противопоставляются формальным методам, опирающимся на точные математические модели. В более широком смысле эвристическая деятельность может рассматриваться как организация процесса продуктивного творческого мышления, как совокупность присущих человеку механизмов, с помощью которых порождаются процедуры, направленные на решение творческих задач. Эти механизмы универсальны по своему характеру и не зависят от конкретной решаемой проблемы. В эвристических приемах проявляется многовековой опыт человечества формирования структуры и организации процессов в функционально-ориентированных системах.

Основная задача, которая стоит перед создателями современных систем (подсистем, элементов) — как быстро, с наименьшими затратами, качественно и надежно реализовать заданную совокупность функций?

Рассматриваемые ниже эвристические приемы, базирующиеся на различных аспектах принципа многофункциональности, позволяют разрешать противоречия, возникающие при создании систем.

1. Количественное изменение функциональной нагрузки:

- увеличение числа активных элементов,
- увеличение числа пассивных элементов,
- многократное их использование.

Примеры, иллюстрирующие первый аспект многофункциональности: вычислительные сети и энергетические системы, железнодорожный транспорт, космические корабли многократного применения и т. д.

2. Изменение структуры системы:

- изменение состава элементов,
- изменение связей и перераспределение функций элементов,
- изменение состава элементов и связей между ними.

Примеры: аналоговые и гибридные вычислительные комплексы, вычислительные среды.

Следует различать «фиксированное» и «программное» изменение функций системы. Изменение функций системы в первом случае достигается усложнением базовых элементов, использованием дополнительных элементов, комбинированным способом. Примеры: многоэлектродные лампы и многоэмиттерные интегральные микросхемы, расширение функций вычислительных систем за счет периферийного оборудования, блочная компоновка радиоэлектронной аппаратуры, сельскохозяйственные и дорожные машины с навесными орудиями, комбинированный инструмент и т. д.

При программном изменении функций выделяются временное разделение функций, временное совмещение функций, комбинированный способ. Примеры: системы программного управления различного уровня, вычислительные системы с разделением времени, многоканальные системы связи, вычислительные сети, использование силовых распределительных энергосетей для передачи служебной и управляющей информации и т. д.

3. Использование функционально полных наборов элементов:

- использование базовых элементов,
- использование унифицированных элементов,
- использование типовых наборов.

Примеры: унифицированные серии интегральных микросхем, микропроцессорные комплекты БИС, унифицированные конструкции в радиоэлектронике, вычислительной технике, приборо- и машиностроении, строительстве и т. д.

4. Изменение характеристик (параметров) системы: непрерывное изменение характеристик системы (элементов),

дискретное изменение характеристик системы (элементов),

непрерывное изменение дискретного набора характеристик.

Примеры: универсальный диодный функциональный преобразователь, операционные усилители, гибридные вычислительные устройства, регулируемый инструмент и приборы и т. д.

5. Инверсия функций:

- преобразование физических полей,
- преобразование информации.

Примеры: электродвигатель-генератор, гидроаккумуляторные электростанции, реверс тяги реактивных дви-

гателей при посадке самолетов, универсальные головки для магнитной записи, совместная работа $p-n-p$ и $p-n-p$ -приборов, терминальные устройства ЭВМ ЕС-7077, телетайп, общие шины в информационных системах и т. д.

6. Инвариантные системы:

- инвариантность к источнику энергии,
- инвариантность к виду рабочего тела,
- инвариантность к виду обрабатываемой информации.

Примеры: паровая машина, дизель, турбина, обработка цифровой и символьной информации, обработка аналоговой и цифровой информации в оптоэлектронных ЭВМ, совместимые системы цветного и черно-белого телевидения, системы звуковоспроизведения моно-, стерео- и т. п.

7. Системы с регенерацией:

- регенерация функций,
- регенерация энергии,
- регенерация сырья и материалов,
- регенерация информации.

Примеры: автоматическое оружие, холодильники на основе «отходов» тепла тепловых электростанций, рекуперация энергии при торможении электрического транспорта, системы жизнеобеспечения автономных объектов, регенерация информации в системах магнитной и оптической записи, восстановление состояния вычислительной системы после прерывания и т. д.

8. Пространственное совмещение функций:

- плоскостное совмещение,
- трансформация объема.

Примеры: интегральные конструкции функциональной электроники, плоскости самолета — баки для горючего, совмещение функций бронирования и силовой конструкции самолета, конструкции на транспорте, строительные конструкции и т. д.

9. Композиция качеств:

- получение новых функций на основе определенного «набора» функций,
- материалы с гибридными свойствами,
- системы с «широким» выходом.

Примеры: микропроцессоры, многофункциональные модули, новые материалы — металлопласты, магнитная резина, полное использование продуктов сельского хозяйства, нефтепереработки, лесной промышленности и т. д.

Разумеется, приведенная в настоящей работе классификация эвристических приемов синтеза эффективных систем является в определенной степени условной и не претендует на достаточную полноту рассмотрения. Тем не менее многолетний анализ известных нам работ показывает, что использование указанных аспектов многофункциональности позволяет существенно улучшить характеристики систем, сооружений, машин, различных устройств и т. д.

Основные аспекты многофункциональности при их конкретном воплощении в реальных системах трансформируются определенным образом и накладываются друг на друга, создавая совокупный эффект. При таком объединении не только расширяются функциональные возможности, но и значительно улучшаются технико-экономические показатели систем. Достаточно проиллюстрировать это на таких примерах, как гидроаккумуляторные станции, единая энергетическая система страны, единая система спутниковой связи, общегосударственная автоматизированная система управления (ОГАС) и т. д.

Исключительно удачным примером совмещения функций несущей конструкции и защиты двигателя и пилота (бронирования) был штурмовик «ИЛ-2», созданный конструкторским бюро Ильюшина в предвоенные годы. Это самый массовый самолет времен второй мировой войны удачно сочетал высокие скоростные и маневренные качества с мощными системами вооружения и защиты.

В 1953 г. С. П. Королев обратился с официальным документом в правительство и поставил вопрос о начале работ по искусственным спутникам Земли на базе создававшейся тогда межконтинентальной ракеты. В 1956 специальная комиссия во главе с акад. М. В. Келдышем поставила задачу: разработать и изготовить первый спутник за считанные месяцы. Таким образом, многофункциональное использование баллистических ракет позволило нашей стране стать родиной не только теоретической, но и практической космонавтики.

Различные аспекты многофункциональности широко используются в космической технике. Например, космический корабль «Союз» может использоваться и как орбитальная станция-лаборатория, и как своеобразный блок для монтажа более крупных космических объектов, и как транспортный корабль для доставки экипажа на орбитальные станции, и как корабль-спасатель.

Исключительно широк спектр использования выделенных аспектов многофункциональности. Известно, например, как сложно решается проблема аккумуляции больших мощностей электрической энергии. Принцип инверсии функций позволяет решить эту задачу достаточно экономичным способом — путем создания гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) на базе обратимых энергоагрегатов.

В 1982 г. к серийному производству обратимых энергоагрегатов, способных работать в режимах турбины и насоса, приступил коллектив объединения «Ленинградский металлургический завод». Новый вид оборудования предназначен для гидроаккумулирующих электростанций.

Необходимость возведения гидроаккумулирующих электростанций продиктована задачей экономии органического топлива. На типовой ГАЭС находятся два расположенных на разных уровнях водяных резервуара, которые то заполняются, то опорожняются обратимыми агрегатами. В режиме насоса машины потребляют электроэнергию, а затем, «превратившись» в турбины, вырабатывают ее.

Глава 7.

ДЕРЕВО ПРОТИВОРЕЧИЙ СИСТЕМЫ

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Для формирования структуры системы необходимо знать совокупность функций, реализуемых на отдельных уровнях системы. Как правило, при построении новой системы задается лишь основная целевая функция системы — функциональное назначение системы. В грамотно составленном техническом задании (ТЗ) должны быть перечислены основные функции, реализуемые системой, и указаны основные характеристики, количественно определяющие конкретные значения каждой из функций системы.

Например, для систем обработки информации (СОИ) обычно задаются режимы работы (пакетная обработка, разделение времени и т. п.), виды и скорость обработки данных, объемы входных и выходных информационных потоков и т. д. Могут быть заданы (либо определяют расчетным путем) объемы оперативной и внешней памяти, пропускная способность каналов, быстродействие процессора (процессоров) и т. д.

Совокупность основных функций, определенных ТЗ, составляет список основных функций системы. В ТЗ и проектирование системы должны быть также указаны проблемная ориентация системы, определяемая классом решаемых задач и предполагаемой областью ее применения;

специальные требования к системе, определяемые конкретными условиями ее применения;

дополнительные функции, реализация которых желательна при эксплуатации системы (как правило, это функции сервиса, диагностики и т. д.).

При формировании структуры системы должны учитываться также условия ее практической реализации. Должны учитываться возможности конкретной отрасли (отраслей) промышленности, а также возможности поставки комплектующих изделий и материалов.

На начальных этапах создания системы должны быть тщательно изучены функциональные возможности комплектующих изделий. Для наиболее распространенных комплектующих изделий должны быть разработаны альбомы, таблицы, отражающие типовые применения комплектующих изделий, их функциональные возможности, классические и оригинальные режимы работы. Эти альбомы, по существу, должны отражать взаимосвязь функциональных (ФМ) и конструктивных (КМ) модулей системы. Естественно, что при составлении конкретного ТЗ должны соблюдаться десятки других, классических требований (вплоть до оформления документации). В настоящем разделе кратко перечислены основные требования к заданию на проектирование системы, которые являются определяющими с точки зрения формирования базовых структур проектируемой системы: структуры на основе ФМ, структуры на основе КМ различного типа.

Порядок разработки, согласования и утверждения технических заданий определяет ГОСТ 15.001—73. Этот же документ регламентирует вопросы, которые должны быть рассмотрены при составлении ТЗ и включены в него.

Так, общими и необходимыми разделами ТЗ должны быть: название и область применения (использования) системы, цель и назначение разработки, источники разработки, технические требования, экономические показатели, стадии и этапы разработки, порядок контроля и приемки.

Качественные и количественные характеристики, определяющие функции и свойства, т. е. показатели качества проектируемого изделия, приводятся в основном в разделе технических требований, который в свою очередь отражает состав системы (изделия); показатели назначения, так называемые основные технические параметры (мощность, производительность, расход энергии, точность, чувствительность, КПД и другие параметры, определяемые целевым назначением изделия), а также параметры воздействия проектируемой системы на сопрягаемую, в частности на окружающую среду; требования к надежности, технологичности, уровню унификации и стандартизации; требования безопасности; эстетические и эргономические требования; требования к патентной чистоте; требования к составным частям, сырью, исходным и эксплуатационным материалам; условия эксплуатации (использования); дополнительные требования к маркировке, упаковке, транспортированию, хранению и другие.

Удовлетворение перечисленных противоречивых требований (см. закономерность взаимосвязи и взаимозависимости показателей качества системы) осуществляется на различных этапах проектирования и создания системы.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Практика проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и систем обработки информации позволяет выделить следующие этапы (уровни) проектирования: структурный, логический, схемотехнический, конструкторский, технологический.

На каждом из уровней может быть сформулировано основное противоречие, разрешаемое на данном этапе проектирования с учетом его специфики. Основное противоречие уровня проектирования формулируется и уточняется с учетом задач, решаемых на рассматриваемом этапе. В общем случае для систем обработки информации основное противоречие, разрешаемое при создании системы, формулируется следующим образом: создать систему, реализующую заданную совокупность функций при определенных показателях качества и вместе

с тем при ограниченном времени на разработку, производство и освоение системы, не превышая при этом уровень установленных затрат. Очевидно, что этап структурного синтеза, на котором выделяются основные и дополнительные функции, осуществляется формирование структуры и принимаются основные технические решения, является наиболее ответственным, поскольку он во многом определяет работы на последующих этапах проектирования производства и освоения системы.

Наиболее разработанные этапы логического и конструкторско-технологического проектирования РЭА и ЭВМ уже доведены до формирования систем автоматизированного проектирования (САПР), которые эффективно используются при разработке информационно-управляющих систем. Этапы системного и структурного проектирования являются наименее исследованными. Конечная цель этих этапов — разработка структурной схемы проектируемой системы на уровне функциональных узлов и связей между ними.

На этапах системного и структурного проектирования определяются основные параметры устройств и линий связи, а также требования к системе внешнего и внутреннего математического обеспечения. Одновременно со структурной схемой разрабатывается, например, для ЭВМ описание ее функционирования в виде набора микроопераций и микропрограмм основных режимов работы.

Этап структурного синтеза не удается формализовать до настоящего времени из-за отсутствия аппарата глубоких формальных преобразований данного уровня. Известные языки для описания структуры и алгоритмов функционирования ЦВМ — языки *APL*, *CDL*, ПРОЕКТ — не могут быть эффективно использованы на этапе структурного синтеза, так как отсутствуют методы и алгоритмы направленного преобразования на структурном уровне описания систем.

Необходимо также отметить резкое уменьшение удельной стоимости аппаратных средств СОО — в частности, стоимость вентиля — основного элементарного кирпича ФМ — сократилась за последнее десятилетие в 10^3 — 10^4 раз.

Непрерывно возрастающие требования повышения производительности систем и значительное уменьшение стоимости аппаратных средств заставляют пересмотреть традиционные соотношения между аппаратными и программными средствами. Одной из доминирующих тенден-

ций развития СОО является реализация все большего числа функций математического обеспечения аппаратными средствами.

В числе перспективных архитектурных организаций СОО — объединение микромашин, многофункциональных и специализированных модулей, модулей оперативной и постоянной памяти в системы конвейерного типа, напоминающие аналоговые комплексы. При такой архитектуре специализированные модули могут выполнять как относительно простые операции и макрооперации (например, умножение, вычисление показательных и тригонометрических функций), так и более сложные (матричные, векторные и др.).

В подобных проблемно-ориентированных системах достигаются очень высокие скорости вычислений при условии, что системы хорошо сбалансированы и имеют высокую степень синхронизации.

Необходимо отметить, что разделение процесса проектирования СОО на отдельные этапы было отмечено еще в первых работах Дж. фон Неймана. Он предложил производить отделение логического синтеза от конструирования электрических цепей. Как известно, в основу своей модели Дж. фон Нейман положил идеализированные вычислительные элементы, он отделял чисто логические требования (к памяти, логическому функционированию) от условий, определяемых уровнем развития техники. Проводя сопоставление элементов вычислительных машин и нейронов, Дж. фон Нейман указал на аналогии между ассоциативными, сенсорными и моторными нейронами и центральной частью вычислительной машины, ее входом и выходом. Естественные автоматы (живые организмы) рассматривались как системы смешанного типа, включающие как аналоговые, так и цифровые процессы. Представление о свойствах естественных автоматов явилось основой проекта его смешанной аналого-цифровой вычислительной машины.

ФОРМИРОВАНИЕ ДЕРЕВА ПРОТИВОРЕЧИЙ СИСТЕМЫ

Основное противоречие системы порождает «дерево противоречий» системы, отражающее противоречия отдельных уровней функционально-структурной организации системы. В этом дереве находят свое выражение как противоречия развития систем рассматриваемого

класса, так и противоречия, возникающие в процессе проектирования, изготовления и эксплуатации систем. «Типовое противоречие» каждого уровня системы представляет противоречие между функциями, реализуемыми на данном уровне, и структурной организацией соответствующего уровня, т. е. является противоречием между формой и содержанием. Противоречия на различных уровнях системной организации образуют многоуровневую, иерархическую систему противоречий — дерево противоречий системы. Таким образом, противоречия на всех уровнях системной организации отражают по существу противоречия между необходимостью достижения определенного качества реализации подмножества функций i -го уровня и сложностью формирования структуры.

Противоречия функции и структуры (содержания и формы) являются противоречиями между необходимостью реализации определенной совокупности функций с заданными показателями качества и уровнем развития используемой конструкторско-технологической базы. Определение путей разрешения противоречий системы является ключом к созданию эффективных систем. Основой для формирования структуры системы является дерево функций. В соответствии с изложенной выше стратегией эволюционного синтеза формирование структуры системы осуществляется в следующей последовательности: анализ эволюции систем-прототипов, формирование дерева противоречий системы, формирование дерева функций системы, формирование структуры системы на основе многофункциональных и специализированных модулей.

Дерево противоречий определяет основное направление совершенствования функционально-структурной организации системы и связывает функциональную и морфологическую структуры системы. Преобразованное дерево структуры системы, точнее, сечение дерева, соответствующее определенному уровню декомпозиции, представляет структурную схему системы на основе функциональных и конструктивных модулей.

Основное противоречие системы формулируется обычно так:

для информационных систем — обеспечить требуемую производительность системы, реализующей заданный набор функций, при ограниченных затратах на создание и эксплуатацию системы и обеспечение должного уровня сервиса эксплуатации;

для энергетических систем (систем, связанных с преобразованием видов энергии) — необходимо обеспечить наибольшую мощность, производительность, пропускную способность системы при минимальных затратах энергетических ресурсов (топливо и т. п.) и минимальных затратах на конструкцию системы.

Основное противоречие, возникающее при создании высокопроизводительных систем обработки информации, порождает следующие «частные» противоречия:

алгоритмическую универсальность и быстродействие процессора,

емкость памяти и время поиска информации,

большое число пользователей, рассредоточенных в пространстве, и время отклика системы.

В свою очередь, например, разрешение последнего противоречия требует:

создать эффективную подсистему предъявления информации пользователю,

обеспечить интерактивные режимы работы с системой,

обеспечить ввод информации с печатного или рукописного текста, речевой ввод и т. п.

Для специалистов в области систем обработки информации — создателей аппаратных и программных средств информационных систем — понятно, как много еще уровней, как много ступеней содержит иерархия противоречий, разрешаемых, например, при создании подсистем речевого ввода.

Таким образом, основное противоречие системы порождает множество (дерево) «частных» противоречий, разрешаемых при создании подсистем и элементов системы.

Энергетическая проблема и, в частности, проблема создания современных транспортных средств порождаются рядом противоречий, которые могут быть разрешены на уровне следующих задач:

создать легкий, экономичный, экологически чистый двигатель,

создать легкий и дешевый аккумулятор энергии большой емкости,

создать средства эффективной передачи энергии на заданное расстояние,

разработать дешевое синтетическое горючее и т. д.

Следует отметить, что несмотря на успехи в создании одних подсистем, отсутствие эффективных решений в построении других подсистем тормозит развитие систем

определенного класса. Так, например, удачным решением первой задачи можно считать использование в качестве двигателя электрического мотора. Однако нерешенность проблемы аккумуляирования электроэнергии в малых габаритах, при малом весе (отсутствие емких и экономичных аккумуляторных батарей) — вторая задача — является серьезным препятствием на пути создания и широкого практического использования электромобилей.

Следует отметить, что рассмотренные частные противоречия, полученные на первом шаге декомпозиции основного противоречия, соответствуют базовой совокупности процессов в антропогенных системах — процессам обработки, хранения и обмена.

По-видимому, использование этого свойства может быть использовано при формировании дерева противоречий системы.

Необходимо установить определенную иерархию противоречий и преодолеть все ступени этой тяжелой «лестницы разрешения противоречий» прежде, чем будет спроектирована и материализована современная автоматизированная информационно-управляющая система и пользователь системы (лицо, принимающее решение) может вести диалог с ней, расположившись в удобном кресле.

Целью анализа «узких мест» в системе является поиск ключевых противоречий, возникающих при создании новой системы. Найти противоречие и вскрыть его сущность — половина успеха на трудном пути поиска новых технических решений.

Противоречивые требования технического задания «создать систему с расширенными функциональными возможностями, лучшего качества и с наименьшими затратами» приводят, как правило, к компромиссным решениям. Ограниченные сроки проектирования и создания систем усугубляют ситуацию. Рождается большое число систем, мало чем принципиально отличающихся от своих предшественников. Несмотря на то, что мы являемся современниками эпохи научно-технической революции, темпы развития, создания и совершенствования систем необходимо существенно ускорить. Качество и оригинальность технических решений, простота их реализации — вот что должно быть главным на современном этапе (и всегда!) при создании новых систем. Надо сознавать, что простые системы создать труднее, чем сложные, но эффект, достигаемый при рождении простых систем, окупает все затраты.

Жизненны, живучи и эффективны только простые системы. «Системы-монстры» умирают, часто не родившись. Достаточно вспомнить систему *ILLIAC-4* с производительностью 100 млн. операций в сек., задуманную и лишь частично реализованную в США в предшествовавшее десятилетие. Большие системы не должны быть системами-монстрами. Такие системы должны создаваться поэтапно, эволюционно, иметь далеко идущие и непрерывно расширяющиеся, уточняющиеся цели, которые определяются функциональным назначением системы, целевыми, базовыми и дополнительными функциями системы. Структура таких систем должна быть гибкой и расширяемой, т. е. должна иметься возможность роста, расширения возможностей системы и повышения ее производительности.

В области техники обработки информации революционным был переход от аналоговых машин к цифровым системам. Развитие техники управления, управление динамическими объектами в реальном масштабе времени, расчет траекторий при решении баллистических задач, решение задач ракетной техники и освоение космического пространства, повышение требований к точности управления требовали повышения точности вычислений. В середине 40-х годов стало ясно, что возможности аналоговых машин имеют принципиальные ограничения. Точность отдельных устройств аналоговых систем ограничивается десятками долями — единицами процентов. Аналоговые машины требуют большого времени для перехода от одной задачи к другой, в аналоговых машинах отсутствует оперативная память.

Нужно было разрешить противоречия между принципиально ограниченной точностью модулей, составляющих аналоговую вычислительную систему, и требуемыми точностями решения практических, достаточно сложных задач. Стояла задача, разработать новые принципы, способы функционально-структурной организации и практической реализации систем с принципиально неограниченной точностью вычислений, построенных на элементах с реальным разбросом характеристик. Причем такие системы должны были обладать высоким быстродействием, быть алгоритмически универсальными и иметь возможность оперативного хранения обрабатываемых данных и инструкций.

Решение было найдено в 1946 г. американским ученым Дж. фон Нейманом, предложившим структуру универ-

сальной цифровой вычислительной машины. Машина могла быть реализована на элементах любой физической природы с минимальными требованиями к разбросу параметров и стабильности характеристик комплектующих изделий. Все элементы машины работают в режиме переключения. Реализация базового набора логических и арифметических функций, введение команды условного перехода и многофункционального использования памяти для хранения операндов и командных слов сделали систему алгоритмически универсальной — многофункциональной в широком смысле этого слова. Так было разрешено имеющимися средствами (на существовавшей элементной базе — электронных лампах с большим разбросом характеристик) противоречие между возросшими требованиями к реализуемым функциям и принятой функционально-структурной организацией средств вычислительной техники.

Из этого примера наглядно видно, что существенное расширение набора базовых («неограниченная» точность вычислений, универсальность применения) и сервисных функций (возможность автоматического перехода от решения одной задачи к другой) потребовали революционных решений и привели к созданию нового класса систем обработки информации — быстродействующих электронных цифровых вычислительных машин.

Итак, надо искать и использовать простые технические решения при создании сложных систем. Казалось бы — это неразрешимая задача, но многолетняя и многотрудная история человечества показывает, что именно на этом пути были сделаны самые интересные находки, изобретения, открытия. Какой двигатель может быть проще «паруса», водяного, ветряного, турбины и даже паровой машины?! Именно такие простые и безотказные, обычно экологически чистые конструкции тысячелетиями благородно и безотказно служат человечеству.

Совершенствуется все. Ушедшие в историю многомачтовые парусные суда, замененные пароходами и теплоходами, возвращаются в новом качестве — с жесткими парусами из синтетических материалов, управляемыми компьютерными системами, и парусами — воздушными змеями, наполненными легким газом, тянущими современное судно. Турбины и генераторы ГЭС своим непрерывным вращением напоминают о водяных мельницах.

Традиционные противоречия, которые приходится разрешать конструкторам, — это борьба за высокую произ-

водительность, мощность, скорость, грузоподъемность при ограничениях на затраты сырья, топлива и энергии. Особенно остро эти противоречия возникают при создании летательных аппаратов, транспортных средств, систем оборонного назначения. Необходимо добавить, что все разрабатываемые системы должны иметь высокие характеристики надежности и живучести.

Перед кораблестроителями извечно стояла задача обеспечения непотопляемости судна при повреждении корпуса ниже ватерлинии. Долго бились лучшие умы человечества над решением этой задачи. И решение нашел замечательный русский кораблестроитель, акад. Алексей Николаевич Крылов. Он предложил систему водонепроницаемых переборок, задраниваемых при аварии. А. Н. Крылов разработал специальные таблицы непотопляемости судов, позволяющие не только сохранить судно на плаву, но и обеспечить возможность ведения боевых действий военными кораблями. Специальным затоплением симметрично расположенных отсеков стало возможно выравнивать крен и дифферент судна.

В грозные предвоенные годы прославленный авиаконструктор С. В. Ильюшин создал истребитель танков «ИЛ-2». Это был признанный, лучший самолет времен второй мировой войны — «черная смерть» — так называли его наши враги. Стояла задача создать высокоскоростной штурмовик с сильным вооружением и хорошей защитой от огня противника. «Классический» вариант решения этой задачи — заковать истребитель в бронированные латы, если не весь истребитель, то его основные, жизненно важные системы: кабину пилота, двигатель, баки с горючим. Но тяжелый самолет потеряет скорость, маневренность и будет уязвим для противника. С. В. Ильюшин нашел красивое решение, создав бронированный картер двигателя, сделав броню элементом конструкции самолета. Аналогичную задачу приходится решать и конструкторам современных ракетно-космических комплексов — акад. С. П. Королеву и его коллегам необходимо было создать легкий и прочный корпус для многоступенчатой космической ракеты с ее многотонными запасами жидкого топлива.

Сформированное дерево противоречий является по существу программным документом для разработчиков системы. На основе противоречий формируются требования к функциональным и конструктивным модулям системы. Сформулированные требования позволяют рассмотреть

возможность использования модулей аналогичного (близкого) функционального назначения, используемых не только в родственных, но и смежных системах. Прекрасным примером использования модулей ранее разработанных систем при создании новых систем может служить использование табулятора для ввода данных в первую отечественную ЭВМ «МЭСМ», разработанную в конце 40-х гг. под руководством акад. С. А. Лебедева.

На первых порах развития вычислительной техники, когда все было новым и дерево противоречий, которые предстояло разрешить при создании систем обработки информации, только начинало произрастать, при создании средств вычислительной техники широко использовались достижения смежных областей: радиотехники, радиолокации, телевидения, точной электромеханики и приборостроения. Так, в одной из первых отечественных вычислительных машин «М-2» в качестве внешнего запоминающего устройства использовался модернизированный серийный магнитофон «МАГ-8».

Электронные лампы, порожденные развитием радиотехники, были использованы в вычислительных машинах первого поколения, причем уже в 40—50-х гг. основным потребителем электронных ламп стали не радиотехнические системы, а системы обработки информации.

ПРОТИВОРЕЧИЯ СИСТЕМНОГО УРОВНЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

На этом этапе рассматривается взаимодействие проектируемой системы со средой, осуществляется формализация и алгоритмизация моделируемых процессов и формируются совокупности базовых и дополнительных функций, реализуемых системой.

Основное противоречие системного уровня представляет противоречие между достоверностью и точностью описания моделируемых процессов, с одной стороны, и уровнем наших представлений о процессах, протекающих в системе, и сложностью их формального описания — с другой. Следовательно, основное противоречие системного уровня — противоречие между разрабатываемой (используемой) моделью и реальной системой.

Процессы в реальных системах обуславливаются различными формами движения материи (физической, химической, биологической и т. д.). Даже при управлении сравнительно простыми (однородными) с точки зрения

движения материи системами реальные процессы объединяют в себе различные механизмы. Например, при описании процессов перемagnetничивания в электромагнитных системах используются модели смещения и вращения границ доменов. Однако реальные модели базируются только на одном из этих процессов, вклад других процессов, как правило, игнорируется, либо косвенно учитывается при экспериментальном определении коэффициентов модели [97].

При описании процессов в сложных системах, как правило, используется их стратифицированное представление, при котором строится «односторонняя» модель, приближенно отражающая сущность этого процесса, и игнорируется ряд сторон исследуемого процесса, не учитываются сопутствующие процессы. Так, например, при управлении летательным аппаратом в модели его траектории практически не учитываются процессы, протекающие внутри аппарата (за исключением изменения положения центра масс при расходе горючего).

Легкость, с которой человек создает модели процессов реального мира, особенно в период современного увлечения вычислительной техникой, объясняется замечательным свойством человеческого разума — способностью к абстрагированию. По-видимому, этим же свойством объясняются не только успехи в анализе и синтезе систем, процессов, но и неудачи при создании ряда систем управления технологическими процессами, при долгосрочном планировании и т. д. Неадекватность используемых моделей оптимизируемых систем реальности, жесткая («ДА-НЕТ») формализация процессов и явлений, неучет ряда сопутствующих факторов сводят на нет сложнейшие математические преобразования и обуславливают в ряде случаев низкую эффективность использования средств вычислительной техники.

Возможными путями разрешения противоречий системного этапа проектирования являются: использование концепций искусственного интеллекта для управления системами; использование аппарата нежесткой логики и лингвистических таблиц решений при решении задач распознавания образов и принципов ситуационного управления при формировании моделей процессов в сложных системах; широкое использование полуэмпирических и эмпирических моделей (косвенно учитывающих реальную сложность процессов, происходящих в системах); реализация интерактивных методов общения с системой. В

частности, только использование интерактивного режима работы конструктора с автоматизированной системой проектирования конструктивных модулей радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) позволило эффективно решить ряд задач конструкторского проектирования РЭА (компоновка конструктивных модулей, размещение интегральных микросхем и трассировка соединений многослойных печатных плат).

ПРОТИВОРЕЧИЯ СТРУКТУРНОГО УРОВНЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Основное противоречие этапа структурного синтеза систем — это противоречие между функциональной полнотой и требованиями минимизации структуры системы. Определим систему с минимальной структурой как систему, реализующую заданные функции при минимальном составе и номенклатуре элементов. При определении общего числа элементов системы необходимо также учитывать и элементы, осуществляющие связь между основными элементами системы.

Очевидно, что система с минимальной структурой, удовлетворяя основным требованиям технического задания (реализация заданных основных и дополнительных функций), должна иметь наилучшие технико-экономические показатели по сравнению с системами, использующими другие принципы структурной организации. Следует отметить, что система с минимальной структурой является предельной, экстремальной структурой. Поэтому более правомерным следует считать стремление не к реализации системы с минимальной структурой, а реализацию систем из минимального числа элементов ограниченной номенклатуры. Действительно, такие системы позволяют наиболее тщательно обработать отдельные модули системы, обеспечить высокие технические характеристики этих модулей при минимальных затратах.

Создание функционально-ориентированной системы с минимальной структурой порождает новое противоречие — противоречие между числом типов модулей, необходимых для реализации заданных функций, и их количеством. Различные варианты разрешения этого противоречия породили множество комплектов интегральных микросхем, множество микропроцессорных комплектов. Противоречие между функционально-структурной полнотой (реализовать заданные функции за определенное вре-

мя) и требованиями минимизации структуры системы адекватно известному среди специалистов в области обработки информации положению о противоречии между производительностью системы (время решения задачи) и требуемыми затратами оборудования. Обычно эта проблема сводится к обеспечению оптимального соотношения факторов: «время — оборудование».

Следует учитывать, что разделение процесса проектирования системы на отдельные этапы является весьма условным. Это становится особенно очевидным, если учитывать два стремительных эволюционных процесса, идущих параллельно и оказывающих постоянное взаимное влияние друг на друга — эволюцию функций и эволюцию технологий.

ПРОТИВОРЕЧИЯ ЭТАПА ЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Основное противоречие этапа логического проектирования заключается в противоречии между совокупностью логических, арифметических и специальных функций, которые должны быть реализованы за заданное время, и числом элементов и количеством типов элементов, необходимых для формирования логической структуры системы. При развитии систем обработки информации этап логического проектирования претерпел наибольшие изменения. Это связано с тем, что совместное влияние двух эволюционных процессов — эволюции функций и эволюции технологий — стимулировало непрерывное расширение функциональных возможностей систем и необходимость повышения их производительности, с одной стороны, и привело к унификации и расширению номенклатуры элементной базы, с другой стороны.

Выше отмечалась взаимосвязь эволюции функций и эволюции технологий. Интенсивное развитие технологий приводит к постоянному отставанию в разработке методик проектирования аппаратуры на новейшей элементной базе. Традиционно этап логического проектирования для вычислительных систем I и II поколений сводился к минимизации числа логических элементов и элементов памяти (триггеров), необходимых для реализации комбинационной логической схемы определенного функционального назначения или цифрового автомата.

Комбинационные логические схемы позволяют реализовать за один такт сложную логическую функцию n пере-

менных. Цифровые автоматы (автоматы с памятью), предназначенные для реализации функций эквивалентной сложности, имеют более экономичную структуру, однако для реализации функций требуется большее число тактов. Для I и II поколений ЭВМ характерны еще дискуссии о целесообразности разработки машин с последовательными и параллельными принципами обработки информации. Необходимость повышения производительности ЭВМ диктовала параллельные принципы обработки, а стремление обеспечить высокие характеристики надежности и экономичности порождало требование минимизации аппаратных затрат.

Унификация элементной базы ЭВМ приводила к разработке типовых функциональных узлов высокого уровня (регистров, счетчиков, сумматоров). При создании основных функциональных узлов ЭВМ I и II поколений минимизация аппаратных затрат осуществлялась в основном путем соответствующих эквивалентных преобразований в рамках аппарата алгебры логики. Как правило, формируемые функциональные узлы были, в известной степени, оригинальными для каждой конкретной разработки. Для этого периода характерно множество изобретений, ориентированных на расширение функциональных возможностей и формирование экономичных структур отдельных элементов, узлов и устройств. В частности, в начале 60-х гг. нами был предложен ряд экономичных структур накапливающих сумматоров повышенной надежности, реализованных на магнитных и магнитнотранзисторных элементах [96].

Дальнейшая унификация элементной базы и массовый промышленный выпуск интегральных микросхем, с одной стороны, и непрерывное расширение сфер применения цифровых методов обработки информации, с другой, привели к унификации функционально-структурной организации основных узлов и устройств цифровых систем. Были разработаны соответствующие руководящие технические материалы (РТМ), в которых приводятся типовые функциональные схемы основных узлов и устройств обработки информации и даются рекомендации по их разработке и применению.

Следует также отметить, что в 60—70-е гг. было выполнено большое число исследований и защищено множество диссертационных работ в области алгебры логики и ее практического приложения к задачам минимизации аппаратных затрат систем обработки инфор-

мации. В тот же период было разработано много программ и «систем» автоматизированного проектирования для решения задач минимизации структуры устройства на этапе логического проектирования. Эти программы, как правило, позволяли минимизировать структуру схем, содержащих не более 20—30 логических и запоминающих элементов. Как при любой минимизации, эта экономия осуществлялась за счет многофункционального использования отдельных элементов схемы. Однако схемы такой сложности (содержащие не более 20—30 элементов) могут быть достаточно экономично и быстро синтезированы человеком. Причем схемы, созданные человеком, отличаются большей логичностью и регулярностью структуры, что способствует сокращению времени настройки и упрощению диагностики разрабатываемых схем.

Жизнь показала, что более существенным на этапах логического и конструкторского проектирования является не столько формализация этих этапов, сколько использование разумных концепций, разумных принципов и эвристических приемов. По-видимому, только широкое использование принципов искусственного интеллекта (формализация эвристических приемов эффективного решения задач соответствующих этапов проектирования) в сочетании с применением аппарата нежесткой логики позволит поднять проблему автоматизации проектирования на качественно новую ступень. Практика также показала, что минимизация структуры операционных устройств при унификации элементной базы потеряла свою актуальность. Широкое использование принципов микропрограммирования в 70-х гг. способствовало повышению степени регулярности структуры управляющих устройств цифровых систем. Основу управляющих устройств стали составлять не сложные и запутанные схемы с «жесткой логикой», а многофункциональные запоминающие устройства, реализующие функции микропрограммного автомата. Использование микросхем высокой степени интеграции, массовый выпуск микропроцессорных комплектов БИС привели к пересмотру традиционного этапа логического проектирования и перемещению центра тяжести на этапы структурного и технологического (топологического) проектирования.

В настоящее время на этапе логического проектирования в основном решаются следующие задачи: логический синтез нестандартных модулей и модулей

сопряжения отдельных узлов и подсистем; разработка микропрограммных средств управления системой.

Устройство микропрограммного управления с хранимым комплексом микропрограмм может рассматриваться как единый конструктивный модуль, представляющий сочетание многофункциональных и специализированных модулей.

ПРОТИВОРЕЧИЯ ЭТАПА СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Этот этап можно рассматривать как этап, связанный с разработкой принципиальной схемы проектируемого устройства, системы. Так как схемы систем обработки информации состоят из сравнительно большого числа элементов ограниченной номенклатуры, то естественно, что схемотехнический этап проектирования сводится по существу к разработке принципиальных схем отдельных элементов, оптимизации их параметров и рассмотрению вопросов обеспечения взаимосвязи элементов в схеме.

Основное противоречие этапа схемотехнического проектирования сводится к противоречию между функциональными возможностями разрабатываемых элементов (реализация определенных логических функций с заданным быстродействием при известных условиях эксплуатации) и сложностью структуры элементов, определяемой количеством компонентов, необходимых для реализации элементов, и допустимыми отклонениями параметров компонентов от номинальных значений. Наибольшее развитие этап схемотехнического проектирования получил в период совершенствования элементной базы ЭВМ. Следует отметить, что нелинейность характеристик полупроводниковых приборов и большой разброс параметров комплектующих изделий, с одной стороны, и жесткие требования надежного функционирования с заданным быстродействием в изменяющихся условиях эксплуатации элементов и систем на их основе, с другой, приводили к необходимости решения сложной многопараметрической задачи оптимизации.

Необходимо было обеспечить надежное функционирование элементов в статическом и динамическом режимах. Каждый из логических элементов имеет определенное число входов и характеризуется заданной нагрузочной способностью. Она определяется числом элементов, которые могут быть подключены к выходу

данного элемента при условии обеспечения гарантированной работоспособности системы в заданных условиях эксплуатации.

Известны два подхода к решению задачи схемотехнического проектирования: расчет элементов на «наихудший» случай, статистические методы расчета.

При расчете элементов на «наихудший» случай предполагается, что все параметры компонентов (комплектующих изделий), напряжения источников питания и условия окружающей среды находятся в наихудшем соотношении с точки зрения реализации заданных переключательных функций. При таком расчете предполагается «наихудшая» комбинация (с точки зрения помехоустойчивости) во входной кодовой последовательности и работа элементов с максимальной нагрузкой. Естественно, что расчет элементов на «наихудший» случай диктует жесткие требования к параметрам комплектующих изделий, к источникам питания и ограничивает возможность использования элементов в широком температурном диапазоне. Элементы, реализованные в соответствии с результатами расчета, оказываются очень дорогостоящими (необходима тщательная разбраковка компонентов) и возможности их применения крайне ограничены. Естественно, что наихудшее сочетание параметров элементов и условий эксплуатации (допустимых отклонений амплитуд и длительности входных сигналов, допустимых изменений сопротивления нагрузки и значений питающих напряжений, допустимых изменений температуры) имеет место в весьма ограниченном числе случаев. Такие сочетания маловероятны.

Как правило, в силу закона больших чисел, основные параметры большинства комплектующих изделий, выпускаемых большими сериями, подчиняются нормальному закону. Поэтому наиболее оправданным является использование статистических методов расчета. Элементы, реализуемые на основе таких методов, требуют разбраковки в предельных условиях эксплуатации. Проводятся так называемые граничные испытания элементов. Элементы, прошедшие граничные испытания, имеют характеристики передачи (характеристики «вход — выход»), укладывающиеся в определенную зону. На основе таких элементов могут быть построены цифровые автоматы любой степени сложности.

Для улучшения устойчивости работы элементов и повышения их быстродействия используются различные

схемотехнические приемы: применение ускоряющих конденсаторов и диодов, а также диодов Шоттки во входных цепях; включение диодов для стабилизации уровня выходного напряжения и т. д. Для повышения нагрузочной способности элементов используются буферные усилители в эмиттерные повторители. Улучшение качественных показателей элементов и системы в целом приводит либо к ужесточению требований к комплектующим изделиям, либо связано с усложнением схемотехнических решений.

Следует отметить взаимосвязь и противоречивость характеристик элементов. Элементы более высокого быстродействия обладают меньшей помехоустойчивостью и, как правило, имеют более низкую надежность. Естественно, что стоимость таких элементов выше стоимости медленно действующих элементов. Учитывая вышеизложенное, целесообразно использовать элементы, которые обеспечивают заданное быстродействие системы, и совершенно необоснованным является использование быстродействующих элементов в системах малой и средней производительности.

На этапе схемотехнического проектирования определяются условия обеспечения устойчивых состояний дискретных элементов и анализируются переходные процессы. При расчете и оптимизации переходных процессов применяются как «интегральные», так и «дифференциальные» методики расчета. Интегральные методики расчета используют усредненные за время переходного процесса значения параметров нелинейных компонентов и информационных управляющих сигналов. Дифференциальные методики расчета базируются на решении систем нелинейных дифференциальных уравнений, представляющих аналитические описания моделей процессов, происходящих в нелинейных компонентах и в цепях связи.

Физические, полуэмпирические и эмпирические модели нелинейных магнитных элементов и полупроводниковых приборов рассмотрены в [97, 98]. Вопросы проектирования магнито-полупроводниковых элементов и запоминающих устройств изложены в [96—99]. В этих же работах рассмотрены вопросы автоматизации процесса проектирования нелинейных электронных схем при использовании интегральной и дифференциальной методик расчета. В указанных работах отмечаются взаимосвязь и противоречивость характеристик информационной и кон-

структивной надежности и эффективности проектируемых устройств.

ПРОТИВОРЕЧИЯ ЭТАПА КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Основное противоречие этапа конструкторско-технологического проектирования заключается в противоречии между функциональными возможностями конструктивных модулей системы и конструкторско-технологическими ограничениями их реализации.

Взаимное влияние рассмотренных выше двух эволюционных процессов — эволюции функций и эволюции технологий — на этом этапе становится наиболее выраженным и конкретным. Формирование различных уровней реальной структуры системы на основе конструктивных модулей непосредственно связано со степенью разработки отдельных технологических процессов и основными ограничениями на конструкцию модулей, накладываемых этими процессами. Как известно, совокупность функций, реализуемых модулем, определяет структуру модуля и сложность (число элементов и связей) структуры.

При современных методах функциональной интеграции технологии изготовления БИС повышение степени интеграции — повышение плотности компоновки «элементов» БИС — возможно только при комплексном совершенствовании технологии изготовления биполярных и МОП-структур и широком использовании систем автоматизированного проектирования (САПР) и АСУ на этапах проектирования, изготовления и контроля БИС. Существенное уменьшение размеров схемных элементов и улучшение их характеристик может быть достигнуто за счет усовершенствования процессов диффузии, травления, легирования и применения прецизионных методов литографии, в частности электронно-лучевой и рентгено-лучевой литографий.

Другой путь расширения функциональных возможностей БИС — увеличение размера кристалла БИС. Такое предложение является вполне естественным, но встречает большие технические и технологические трудности. Известно, сколь высокие требования предъявляет полупроводниковая промышленность к качеству и чистоте используемых материалов. Микроскопические дефекты и неоднородности делают непригодными к при-

менению большие участки пластин монокристалла, на которых осуществляется формирование структуры БИС. Практика показывает, что увеличение площади кристалла БИС на 10% приводит к увеличению на 30% брака при изготовлении БИС. Таким образом, максимальные размеры кристалла лимитируются по существу экономическими соображениями, что является сильным ограничивающим фактором при разработке сверхбольших интегральных микросхем — супер-БИС и однокристалльных микро-ЭВМ. Площадь кристалла современных БИС составляет от 16 до 64 мм².

Ограничением функциональных возможностей БИС является и ограниченное число выводов с кристалла БИС. Каждый из выводов требует определенной и довольно значительной площади — контактной площадки на поверхности кристалла. К ней приваривается тончайший вывод из драгоценного металла, соединенный с выводом корпуса БИС. Следует отметить, что выводы БИС являются одной из основных причин ненадежной работы устройств на их основе. В современных БИС обычно используются 32—49 выводов. В уникальных разработках однокристалльных микро-ЭВМ число выводов доходит до 96.

Следует отметить, что ограничение на число выводов конструктивных модулей характерно не только для БИС, но и является типовым ограничением при разработке конструктивных модулей систем обработки информации различного уровня. Ограничения накладываются числом выводов разъемных соединений (разъемов) и числом шин интерфейса.

Еще одним ограничением на степень функциональной интеграции является разогрев БИС при работе. Наибольшему нагреву подвергаются БИС высокого и сверхвысокого быстродействия на базе ТТЛ-технологии и ЭСЛ-технологии.

На этапе технологического проектирования осуществляются операции преобразования логической схемы в принципиальную, т. е. покрытие функциональной схемы конструктивными модулями; компоновка элементов на печатных платах; трассировка соединений на всех уровнях конструктивных единиц.

При разработке конструкций модулей различного уровня должны приниматься специальные меры для предотвращения теплового перегрева модулей (специаль-

ное размещение и принудительное охлаждение) и для обеспечения необходимого уровня помехозащищенности модулей (специальная трассировка соединений, экранирование и установка распределенных, местных фильтров в цепях питания). Изложенное наглядно иллюстрирует те трудности, которые возникают при практической реализации системы с расширенными функциональными возможностями.

Для разрешения противоречий конструкторско-технологического этапа проектирования необходим переход на качественно новые принципы конструирования аппаратуры и освоение новых технологических процессов. Для радиоэлектронных систем и систем обработки информации такими переломными этапами, разрешающими указанное противоречие, были: переход на модульный принцип построения радиоэлектронной аппаратуры и систем обработки информации (40-е гг.); разработка технологии изготовления печатных плат (50-е гг.); широкое применение микросхем и микросборок (начало 60-х гг.); разработка методов интегральной технологии, широкое использование интегральных микросхем малой и средней степеней интеграции (вторая половина 60-х годов); разработка гибридных интегральных схем и БИС (начало 70-х годов); разработка супер-БИС и освоение оптоэлектронных систем обработки информации (80-е гг.).

Следует отметить, что этап конструкторско-технологического проектирования является наиболее «автоматизированным». В нашей стране и за рубежом разработано большое число систем автоматизированного проектирования (САПР) для решения задач конструкторско-технологического этапа проектирования:

САПР размещения микросхем и трассировки печатных плат,

САПР компоновки и соединения модулей радиоэлектронной аппаратуры,

САПР формирования топологии БИС,

САПР программы испытаний БИС, и т. д.

В последние годы разрабатываются комплексные автоматизированные системы проектирования и управления технологическими процессами в радиоэлектронной и приборостроительной отраслях промышленности. Разработка таких систем ускоряет выпуск изделий и позволяет осуществлять сквозную коррекцию всей документации — от замысла проектировщика до этапа управ-

ления технологическим оборудованием. Непрерывность процессов эволюции функций и технологий приводят к необходимости постоянного переосмысливания и уточнения всех этапов проектирования. Так, например, при создании систем на основе БИС конструкторско-технологический этап проектирования сводится в основном к этапу схемно-топологического проектирования. Этапы разработки функциональной и принципиальной схем систем обработки информации на основе микросхем различной степени интеграции сводятся по существу к разработке функциональной схемы устройства на базе этих модулей с учетом рекомендаций и требований руководящих технических материалов (РТМ).

Глава 8

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

На первый взгляд кажется, что развитие вычислительной техники носило спонтанный характер, на самом же деле оно было всегда направленным на повышение эффективности использования ЭВМ и способов общения человека с машиной. На протяжении только одного поколения ЭВМ были получены значительные результаты в области надежности, производительности, реальностью стал диалог человека с машиной. Необходимость эволюционного рассмотрения совершенствования функционально-структурной организации СОИ определяется необходимостью научно обоснованного прогнозирования развития средств вычислительной техники, и, наконец, эволюционный подход позволяет решить такие сложные вопросы, как структурный синтез систем обработки информации. Следует отметить, что до настоящего времени эта проблема не поддавалась формали-

зации и остается прерогативой мышления Главного конструктора.

Интенсивность развития ЭВМ, непрерывное расширение функций привели к тому, что, начиная фактически со второго поколения, их стали рассматривать как вычислительные системы.

Отдельные поколения ЭВМ отличаются не только принципами функционально-структурной организации и используемой конструктивно-технологической базой, но и, что особенно важно, по способам общения пользователей с вычислительной системой [91]. Очевидно, что границы между различными поколениями ЭВМ размыты, здесь находят свое отражение законы диалектики: в предшествующих поколениях ЭВМ зарождаются и развиваются отдельные черты машин последующих поколений. Это наглядно можно проследить на многочисленных примерах развития зарубежных и отечественных систем.

Анализ развития вычислительной техники убедительно иллюстрирует изменение соотношения между многофункциональными и специализированными техническими средствами на различных этапах развития. Можно выделить пять этапов развития вычислительных систем [91].

Первый этап (1944—1956 гг.) — ламповые ЭВМ универсального назначения, ориентированные на решение научно-технических задач. Использование пакетов стандартных программ. Второй этап (1956—1964 гг.) — ЭВМ на дискретных полупроводниковых приборах, расширение сфер применения ЭВМ. Широкое внедрение управляющих ЭВМ. Развитие специализированных ЭВМ, обладающих повышенными характеристиками надежности и быстродействия, уменьшение аппаратных затрат за счет узкой специализации. Развитие алгоритмических языков. Третий этап (1964—1971 гг.) — ЭВМ третьего поколения на основе интегральных микросхем. Разработка программно-совместимых и аппаратно-расширяемых рядов ЭВМ для научно-технических и коммерческих расчетов, а также агрегатных средств вычислительной техники для управления производственными процессами. Создание бортовых информационно-управляющих систем. Разработка современных систем математического обеспечения. Четвертый этап (1971—1975 гг.) — развитие ЭВМ четвертого поколения на основе микропроцессорных комплектов. Интенсивное развитие проблемно-ориентированных микро- и мини-ЭВМ. Развитие

систем с разделением времени, систем коллективного пользования. Пятый этап (с 1975 г.) — разработка последующих поколений ЭВМ на основе БИС повышенной интеграции, цилиндрических магнитных доменов и оптоэлектронных принципов. Создание распределенных вычислительных систем с «интеллектуальными» абонентскими пунктами. Совершенствование периферийного оборудования. Создание специализированных функциональных модулей — «расширителей» — для повышения производительности вычислительных и управляющих систем. Отличительной особенностью V поколения ЭВМ будет дальнейшее упрощение диалога пользователя с системой, который в конце 80-х гг., как нам представляется, должен осуществляться на естественном языке.

При решении задач широкое распространение получит использование принципов нежесткой логики, искусственного интеллекта, ситуационного управления. Конструктивно-технологической базой V поколения будут суперБИС, содержащие 10^6 компонентов на одном кристалле, и оптоэлектронные модули обработки и хранения информации. Дальнейшее развитие получат распределенные системы обработки информации, имеющие доступ к проблемно-ориентированным банкам данных, персональные ЭВМ и терминалы в доме пользователя. В технологическом оборудовании, в энергетических системах, в системах связи, на транспорте, в сфере услуг, в быту — практически везде будут использоваться функционально-ориентированные микропроцессорные информационно-управляющие системы, обеспечивающие экономии ресурсов и предоставляющие пользователю широкий спектр сервисных функций.

Нетрудно видеть, что на всех этапах сосуществуют две взаимно дополняющие тенденции: стремление к созданию универсальных систем высокой производительности и стремление к созданию децентрализованных средств, приближенных к источникам информации и управления, создание «персональных» компьютеров.

Указанные этапы развития систем в достаточной мере условны. Имеется сдвиг в развитии средств вычислительной техники по отдельным странам. Необходимо также различать время появления первых оригинальных разработок и время массового их использо-

вания. При всех условностях необходимо отметить, что сроки отдельных этапов развития систем сжимаются.

Отечественная вычислительная техника в своем развитии всегда ориентирована на основные направления научно-технического прогресса. В 50-е гг. отечественная ЭВМ БЭСМ-2 была лучшей по производительности в Европе, были достигнуты большие успехи в области программирования (операторное и адресное программирование); в начале 60-х гг. были созданы первые многомашинные вычислительные комплексы, разработаны и внедрены в производство управляющие машины; в 70-е гг. — отечественные ряды ЭВМ (ЕС ЭВМ, СМ ЭВМ), микропроцессорные комплекты БИС, отечественные микро-ЭВМ.

В развитие отечественной вычислительной техники большой вклад внесли академики С. А. Лебедев, Е. П. Велихов, О. М. Белоцерковский, В. М. Глушков, А. А. Дородницын, М. В. Келдыш, Г. И. Марчук, В. А. Мельников, Н. А. Пилюгин, В. С. Семенхин, А. Н. Тихонов, И. В. Прангишвили, Г. Е. Пухов, чл.-корр. АН СССР И. С. Брук, В. С. Бурцев, А. П. Ершов, Л. Н. Королев, С. С. Лавров, Г. П. Лопато, Н. Я. Матюхин, Н. Н. Моисеев, Б. Н. Наумов, Г. С. Поспелов; доктора техн. наук Э. В. Евреинов, М. А. Карцев, А. М. Ларионов, В. К. Левин, Б. Н. Малиновский, В. В. Пржиялковский, Б. И. Рамеев, Я. А. Хетагуров, М. Р. Шура-Бура и другие исследователи, конструкторы и создатели средств обработки информации [91, 92].

В настоящее время перед разработчиками ставится ряд проблем, среди которых можно отметить следующие: формирование новых рядов ЭВМ, разумное сочетание аппаратных и программных средств в вычислительных системах, формирование перспективных структур на основе БИС, дальнейшее совершенствование конструктивно-технологической базы и т. д. Следует отметить, что социалистические страны нашли удачный путь в области создания средств вычислительной техники. Заканчивается разработка второго ряда ЕС ЭВМ с производительностью миллионы операций в секунду, разработаны высокопроизводительные вычислительные системы «Эльбрус-1» и «Эльбрус-2», М-10, ЕС-1035 и ЕС-1045 с матричными процессорами. Успешно разрабатывается ряд малых машин СМ ЭВМ и однокристалльных ЭВМ.

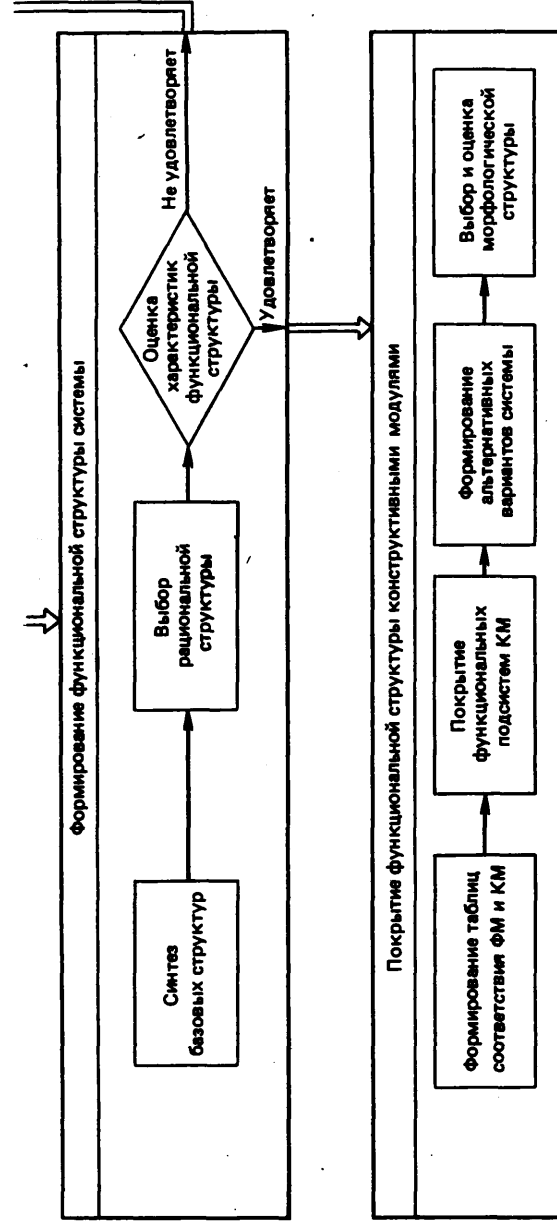
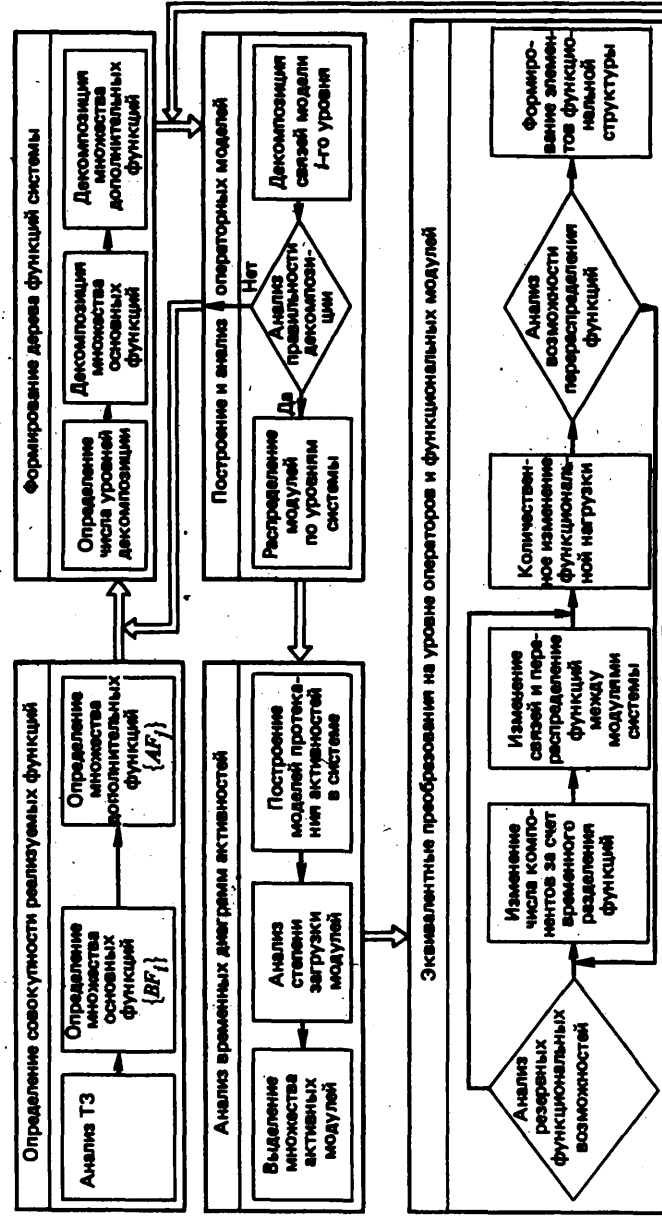


Рис.8.1. Основные этапы формирования функционально-ориентированных вычислительных структур

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

В соответствии с основными фазами методологии ЭСС при синтезе вычислительных структур функционально-ориентированных систем предполагается выполнение следующей последовательности взаимосвязанных этапов (рис. 8.1).

1. Определение множества базовых функций системы.

Множества базовых функций системы формируются на основании технического задания на проектирование системы. На этом этапе система рассматривается как некоторое функциональное устройство. Определяется совокупность требований к входным и выходным информационным потокам и правилам преобразования информации — алгоритмам функционирования системы.

2. Формирование дерева функций системы.

Построение дерева функций системы предполагает декомпозицию основных и дополнительных функций этой системы (рис. 8.2). В качестве прототипа используется дерево функций универсальной СОИ. Декомпозиция производится до уровня операторов, соответствующих компонентам используемой элементной базы или до уровня, соответствующего стандартным подпрограммам. В частности, при реализации на микропроцессорных комплексах (МПК) БИС — до уровня операторов, реализуемых компонентами этого комплекта.

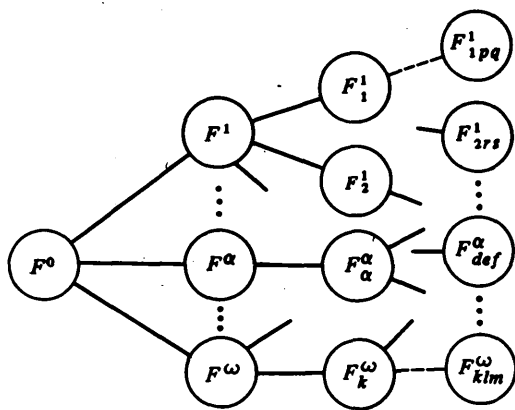


Рис.8.2. Декомпозиция основных и дополнительных функций системы

3. Построение и анализ операторных моделей.

На этом этапе формируется ряд операторных моделей, соответствующих различным уровням абстракции системы, а также обобщенная операторная модель системы. Построение таких моделей позволяет проанализировать внешние и внутренние связи системы.

Анализ операторных моделей дает возможность произвести оценку качества декомпозиции базовых функций системы — проверить соответствие выделенных в процессе декомпозиции модулей уровню детализации каждого конкретного уровня, а также организовать функционирование модулей каждого уровня с учетом общих принципов иерархической организации системы. Необходимо отметить, что при выделении уровней используется виртуальное представление системы. При переходе с уровня на уровень детализируются связи между отдельными компонентами.

4. Построение и анализ временных диаграмм активностей.

В результате выполнения этого этапа строятся модели иницирования «активностей» в системе в точках квантования и формируются множества функциональных модулей, активных на определенном цикле функционирования системы. На основании построенных диаграмм множества функциональных модулей каждого уровня разделяются на активные и пассивные.

5. Выполнение эквивалентных преобразований на уровне операторов и функциональных модулей.

Эквивалентные преобразования производятся, как правило, для минимизации структуры системы или обеспечения заданного быстродействия. Одной из возможных стратегий преобразования может являться минимизация числа типов модулей проектируемой системы (рис. 8.3).

Для реализации эквивалентных преобразований на уровне операторов и функциональных модулей производятся следующие операции.

5.1. Анализ вариантов расширения функциональных возможностей.

Расширение функциональных возможностей системы может быть осуществлено за счет использования функциональных модулей, пассивных на отдельных тактах (циклах) протекания вычислительного процесса, а также путем увеличения числа активных компонентов за счет

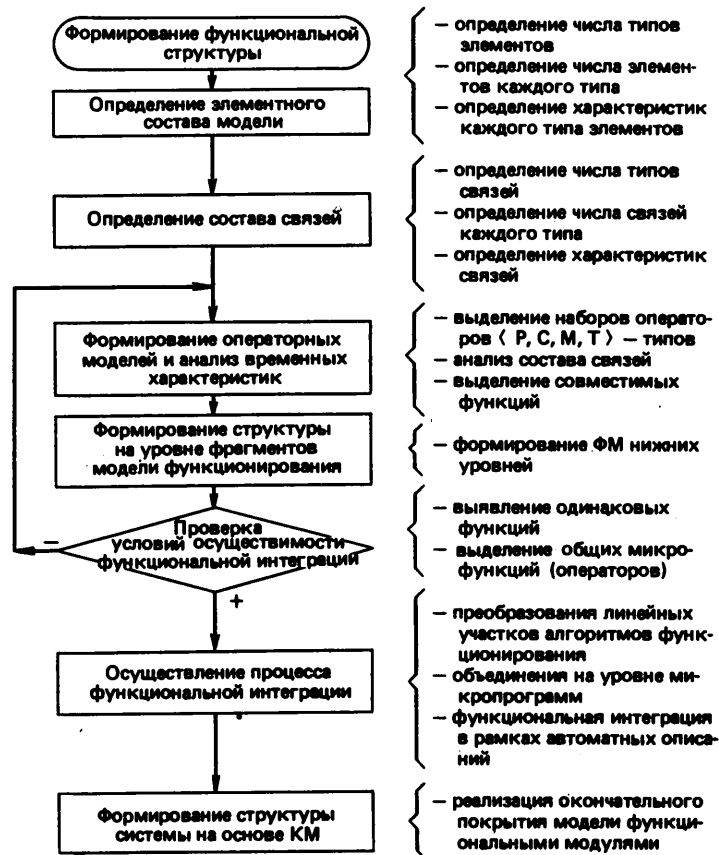


Рис.8.3. Преобразование функциональной структуры системы

временного разделения и (или) совмещения функций модулей различных уровней.

5.2. Изменение связей и перераспределение функций между модулями системы.

Эта операция производится на основе проведенного анализа и является также реализацией одного из эвристических приемов синтеза эффективных систем, базирующихся на принципе многофункциональности, — количественного изменения функциональной нагрузки за счет аппаратного или программного временного совмещения (разделения) реализуемых функций (рис. 8.4).

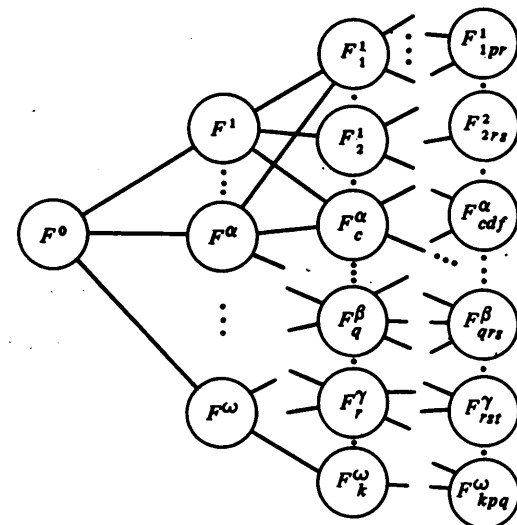


Рис.8.4. Перераспределение функций между модулями системы

5.3. Анализ возможностей перераспределения числа активных и пассивных функциональных модулей.

Активные и пассивные модули могут перераспределяться с учетом специализации системы, спектра применения и предполагаемого времени использования. Действительно, чем с большей степенью универсальности создается система, тем больше возможностей для функционального расширения (расширения множества реализуемых функций) должно быть в нее заложено при проектировании. Чем уже проблемная ориентация системы, тем строже определяется множество реализуемых функций и требования к качеству их реализации.

5.4. Формирование отдельных элементов функциональной структуры системы.

На этом этапе необходимо также обратить внимание на полноту функциональной загрузки модулей и максимальное использование однотипных многофункциональных модулей.

6. Формирование функциональной структуры системы.

Создаются базовые функциональные структуры с учетом различных вариантов временных соотношений между вычислительными процессами. Затем в соответствии с принятой стратегией проектирования, выбирается вариант функциональной структуры, наилучшим образом

отвечающий выбранной совокупности показателей качества.

7. Отображение функциональной структуры системы на множество конструктивных модулей.

На этом этапе решается круг задач, связанных с выполнением отображения множества функциональных модулей, отражающих совокупность функциональных связей в системе, на множество конструктивных модулей, т. е. имеет место последовательность отображений:

$$\{F\} \rightarrow \{\Phi M\} \rightarrow \{KM\}.$$

Для синтеза структурных решений необходим выбор унифицированных технических средств и оценка необходимости разработки оригинальных подсистем (модулей).

8. Выбор рациональной структуры системы.

Выше отмечалась неоднозначность отображения функциональной структуры системы на множество конструктивных элементов. Выбор рациональной структуры осуществляется с учетом степени ее сложности, однородности и регулярности структуры обрабатывающих и управляющих подсистем.

ФОРМИРОВАНИЕ ДЕРЕВА ФУНКЦИЙ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В качестве примера будем рассматривать систему с предельным быстродействием. Для СОИ универсального назначения существуют определенные критерии оценки их производительности. Как правило, используются эталонные задачи (контрольные «смеси»), реализация которых предусматривает выполнение полного спектра воспроизводимых функций при определенном процентном соотношении состава операторов. В частности, при анализе быстродействия систем, ориентированных на решение научных задач, используется смесь «Гибсон-1», а для анализа производительности систем, предназначенных для обработки экономической информации, — «Гибсон-2». При решении научных задач основная нагрузка связана с реализацией вычислительных операций, а при выполнении учетно-статистических и экономических расчетов — с реализацией операций ввода — вывода и обработки больших информационных файлов.

Ниже рассматривается декомпозиция функций универсальной СОИ.

I уровень.

F^0 — реализация заданных функций обработки информации в заданных режимах работы за минимальное время.

II уровень.

Основные функции: F^1 — обработка информации, F^2 — хранение информации, F^3 — обмен информацией, F^4 — управление процессами в системе.

Дополнительные функции: F^5 — обеспечение эффективной загрузки системы, F^6 — обеспечение активного диалога, F^7 — обеспечение работоспособности системы.

III уровень.

Основные функции:

$$F^1: \begin{cases} F_1^1 & \text{— первичное преобразование исходных данных,} \\ F_2^1 & \text{— реализация совокупности операторов обработки,} \\ F_3^1 & \text{— формирование выходной информации.} \end{cases}$$

$$F^2: \begin{cases} F_1^2 & \text{— сверхоперативное хранение,} \\ F_2^2 & \text{— оперативное хранение,} \\ F_3^2 & \text{— долговременное хранение.} \end{cases}$$

$$F^3: \begin{cases} F_1^3 & \text{— внутрисистемный обмен,} \\ F_2^3 & \text{— обмен с внешней средой.} \end{cases}$$

$$F^4: \begin{cases} F_1^4 & \text{— управление обработкой,} \\ F_2^4 & \text{— управление хранением,} \\ F_3^4 & \text{— управление обменом.} \end{cases}$$

Дополнительные функции:

$$F^5: \begin{cases} F_1^5 & \text{— выбор режимов работы,} \\ F_2^5 & \text{— диспетчеризация заданий.} \end{cases}$$

$$F^6: \begin{cases} F_1^6 & \text{— формирование информации о состоянии системы,} \\ F_2^6 & \text{— реакция на действия оператора.} \end{cases}$$

$$F^7: \begin{cases} F_1^7 & \text{— диагностика состояния подсистем,} \\ F_2^7 & \text{— оценка возникшей ситуации,} \\ F_3^7 & \text{— принятие решения.} \end{cases}$$

IV уровень.

Основные функции:

$$F_1^1: \begin{cases} F_{1,1}^1 & \text{— преобразование формы представления информации,} \\ F_{1,2}^1 & \text{— формирование машинных слов,} \end{cases}$$

$$F_2^1: \begin{cases} F_{2,1}^1 & \text{— логическая обработка,} \\ F_{2,2}^1 & \text{— арифметическая обработка.} \end{cases}$$

$$F_3^1: \begin{cases} F_{3,1}^1 & \text{— формирование кодов обмена информацией,} \\ F_{3,2}^1 & \text{— преобразование формы представления.} \end{cases}$$

$$F_1^2: \begin{cases} F_{1,1}^2 & \text{— запись информации,} \\ F_{1,2}^2 & \text{— хранение информации,} \\ F_{1,3}^2 & \text{— чтение информации,} \end{cases}$$

$$F_2^2: \begin{cases} F_{2,1}^2 & \text{— запись информации,} \\ F_{2,2}^2 & \text{— хранение информации,} \\ F_{2,3}^2 & \text{— чтение информации.} \end{cases}$$

- $F_3^1: \begin{cases} F_{3,1}^2 & \text{— запись информации,} \\ F_{3,2}^2 & \text{— хранение информации,} \\ F_{3,3}^2 & \text{— чтение информации.} \end{cases}$
 $F_1^1: \begin{cases} F_{1,1}^3 & \text{— формирование сообщений,} \\ F_{1,2}^3 & \text{— преобразование форматов,} \\ F_{1,3}^3 & \text{— преобразование формы представления.} \end{cases}$
 $F_2^1: \begin{cases} F_{2,1}^3 & \text{— формирование сообщений,} \\ F_{2,2}^3 & \text{— преобразование форматов,} \\ F_{2,3}^3 & \text{— организация телеобработки,} \\ F_{2,4}^3 & \text{— организация взаимодействия с реальными объектами.} \end{cases}$
 $F_1^4: \begin{cases} F_{1,1}^4 & \text{— управление преобразованием исходных данных,} \\ F_{1,2}^4 & \text{— управление выполнением операций логической и арифметической обработки,} \\ F_{1,3}^4 & \text{— управление формированием выходных данных.} \end{cases}$
 $F_2^4: \begin{cases} F_{2,1}^4 & \text{— организация записи информации,} \\ F_{2,2}^4 & \text{— организация чтения информации,} \\ F_{2,3}^4 & \text{— организация защиты памяти.} \end{cases}$
 $F_3^4: \begin{cases} F_{3,1}^4 & \text{— управление распределением технических ресурсов,} \\ F_{3,2}^4 & \text{— выбор режима обмена,} \\ F_{3,3}^4 & \text{— организация обмена внутри системы,} \\ F_{3,4}^4 & \text{— организация обмена с внешней средой.} \end{cases}$

Дополнительные функции:

- $F_1^5: \begin{cases} F_{1,1}^5 & \text{— задание директивы оператором,} \\ F_{1,2}^5 & \text{— реализация директивы оператора системой.} \end{cases}$
 $F_2^5: \begin{cases} F_{2,1}^5 & \text{— обеспечение связи между процессами,} \\ F_{2,2}^5 & \text{— планирование задания,} \\ F_{2,3}^5 & \text{— управление процессами.} \end{cases}$
 $F_1^6: \begin{cases} F_{1,1}^6 & \text{— формирование данных решаемой задачи,} \\ F_{1,2}^6 & \text{— формирование данных о состоянии системы.} \end{cases}$
 $F_2^6: \begin{cases} F_{2,1}^6 & \text{— анализ действий оператора,} \\ F_{2,2}^6 & \text{— формирование ответа по запросу оператора.} \end{cases}$
 $F_1^7: \begin{cases} F_{1,1}^7 & \text{— обнаружение неисправностей,} \\ F_{1,2}^7 & \text{— классификация неисправностей.} \end{cases}$
 $F_2^7: \begin{cases} F_{2,1}^7 & \text{— локализация неисправностей,} \\ F_{2,2}^7 & \text{— идентификация неисправностей.} \end{cases}$
 $F_3^7: \begin{cases} F_{3,1}^7 & \text{— формирование возможных альтернатив устранения не-} \\ & \text{исправностей,} \\ F_{3,2}^7 & \text{— формирование решения.} \end{cases}$

V уровень.

Основные функции:

- $F_{1,1}^1: \begin{cases} F_{1,1,1}^1 & \text{— аналого-цифровое преобразование информа-} \\ & \text{ции,} \\ F_{1,1,2}^1 & \text{— считывание информации с носителя.} \end{cases}$

- $F_{1,2}^1: \begin{cases} F_{1,2,1}^1 & \text{— преобразование системы счисления,} \\ F_{1,2,2}^1 & \text{— преобразование форматов,} \\ F_{1,2,3}^1 & \text{— преобразование входных кодовых последовательностей.} \end{cases}$
 $F_{2,1}^1: \begin{cases} F_{2,1,1}^1 & \text{— реализация базовых логических функций,} \\ F_{2,1,2}^1 & \text{— реализация сложных логических функций,} \\ F_{2,1,3}^1 & \text{— логическая обработка командных слов.} \end{cases}$
 $F_{2,2}^1: \begin{cases} F_{2,2,1}^1 & \text{— реализация базовых арифметических операций,} \\ F_{2,2,2}^1 & \text{— реализация специальных арифметических операций,} \\ F_{2,2,3}^1 & \text{— арифметическая обработка командных слов.} \end{cases}$
 $F_{3,1}^1: \begin{cases} F_{3,1,1}^1 & \text{— преобразование форматов,} \\ F_{3,1,2}^1 & \text{— преобразование машинных кодов в коды обмена.} \end{cases}$
 $F_{3,2}^1: \begin{cases} F_{3,2,1}^1 & \text{— преобразование машинных кодов в информацию, вос-} \\ & \text{принимаемую пользователем,} \\ F_{3,2,2}^1 & \text{— преобразование кодов в информацию на носителе,} \\ F_{3,2,3}^1 & \text{— преобразование сигналов для телеобработки.} \end{cases}$
 $F_{1,1}^2: \begin{cases} F_{1,1,1}^2 & \text{— организация произвольного доступа,} \\ F_{1,1,2}^2 & \text{— фиксация информации на носителе,} \end{cases}$
 $F_{1,2}^2: \begin{cases} F_{1,2,1}^2 & \text{— сохранение информации,} \\ F_{1,2,2}^2 & \text{— защита информации.} \end{cases}$
 $F_{1,3}^2: \begin{cases} F_{1,3,1}^2 & \text{— организация произвольного обращения,} \\ F_{1,3,2}^2 & \text{— считывание информации.} \end{cases}$
 $F_{2,1}^2: \begin{cases} F_{2,1,1}^2 & \text{— организация произвольного обращения,} \\ F_{2,1,2}^2 & \text{— фиксация информации на носителе.} \end{cases}$
 $F_{2,2}^2: \begin{cases} F_{2,2,1}^2 & \text{— организация произвольного обращения,} \\ F_{2,2,2}^2 & \text{— фиксация информации на носителе.} \end{cases}$
 $F_{2,3}^2: \begin{cases} F_{2,3,1}^2 & \text{— организация произвольного обращения,} \\ F_{2,3,2}^2 & \text{— фиксация информации на носителе.} \end{cases}$
 $F_{3,1}^2: \begin{cases} F_{3,1,1}^2 & \text{— организация доступа к информации,} \\ F_{3,1,2}^2 & \text{— фиксация информации на носителе.} \end{cases}$
 $F_{3,2}^2: \begin{cases} F_{3,2,1}^2 & \text{— организация прямого доступа,} \\ F_{3,2,2}^2 & \text{— организация последовательного доступа.} \end{cases}$
 $F_{3,3}^2: \begin{cases} F_{3,3,1}^2 & \text{— организация прямого доступа,} \\ F_{3,3,2}^2 & \text{— организация последовательного доступа.} \end{cases}$
 $F_{1,1}^3: \begin{cases} F_{1,1,1}^3 & \text{— анализ состояния системных каналов,} \\ F_{1,1,2}^3 & \text{— формирование пакета сообщений.} \end{cases}$
 $F_{1,2}^3: \begin{cases} F_{1,2,1}^3 & \text{— выбор формата,} \\ F_{1,2,2}^3 & \text{— формирование семантики сообщений,} \\ F_{1,2,3}^3 & \text{— формирование служебной информации.} \end{cases}$

$F_{1.3}:$ $\begin{cases} F_{1.3.1} - \text{преобразование кодов в сигналы, осуществляющие фиксацию информации,} \\ F_{1.3.2} - \text{преобразование кодов в сигналы, осуществляющие отображение информации.} \end{cases}$

$F_{2.3}:$ $\begin{cases} F_{2.3.1} - \text{анализ состояния системных каналов,} \\ F_{2.3.2} - \text{формирование пакета сообщений.} \end{cases}$

$F_{2.2}:$ $\begin{cases} F_{2.2.1} - \text{выбор формата,} \\ F_{2.2.2} - \text{формирование семантики сообщений,} \\ F_{2.2.3} - \text{формирование служебных сообщений.} \end{cases}$

$F_{2.3.1} - \text{передача информации в речевой форме на дистанционно удаленный объект,}$
 $F_{2.3.2} - \text{дистанционный обмен символьной информацией,}$
 $F_{2.3.3} - \text{дистанционный обмен графической информацией.}$

$F_{2.4}:$ $\begin{cases} F_{2.4.1} - \text{опрос датчиков состояния объекта,} \\ F_{2.4.2} - \text{формирование управляющих сигналов на исполнительные механизмы.} \end{cases}$

$F_{1.1}:$ $\begin{cases} F_{1.1.1} - \text{управление процессами аналого-цифровых преобразований информации,} \\ F_{1.1.2} - \text{управление считыванием информации с носителя,} \\ F_{1.1.3} - \text{управление процессом декодирования,} \\ F_{1.1.4} - \text{управление преобразованием форматов.} \end{cases}$

$F_{1.2}:$ $\begin{cases} F_{1.2.1} - \text{управление обработкой операндов,} \\ F_{1.2.2} - \text{управление обработкой команд,} \\ F_{1.2.3} - \text{управление реализацией специальных функций,} \\ F_{1.2.4} - \text{управление реализацией сложных функций.} \end{cases}$

$F_{1.3}:$ $\begin{cases} F_{1.3.1} - \text{управление кодированием выходной информации,} \\ F_{1.3.2} - \text{управление преобразованием форматов,} \\ F_{1.3.3} - \text{управление процессами преобразования формы представления выходной информации,} \\ F_{1.3.4} - \text{управление процессами телеобработки.} \end{cases}$

$F_{2.1}:$ $\begin{cases} F_{2.1.1} - \text{управление процессом оперативной записи информации,} \\ F_{2.1.2} - \text{управление формированием блоков записей,} \\ F_{2.1.3} - \text{организация интерфейса с ВЗУ,} \\ F_{2.1.4} - \text{реализация принятой стратегии выделения блока памяти,} \\ F_{2.1.5} - \text{выделение блока памяти.} \end{cases}$

$F_{2.2}:$ $\begin{cases} F_{2.2.1} - \text{управление процессом оперативного чтения информации,} \\ F_{2.2.2} - \text{освобождение блока памяти,} \\ F_{2.2.3} - \text{выравнивание памяти с целью полной загрузки,} \\ F_{2.2.4} - \text{прием и преобразование блоков информации.} \end{cases}$

$F_{2.3}:$ $\begin{cases} F_{2.3.1} - \text{управление доступом к областям памяти,} \\ F_{2.3.2} - \text{защита областей памяти,} \\ F_{2.3.3} - \text{защита ядра операционной системы,} \\ F_{2.3.4} - \text{управление процессами сохранения информации в аварийных ситуациях.} \end{cases}$

$F_{3.1}:$ $\begin{cases} F_{3.1.1} - \text{обработка приоритетов запросов,} \\ F_{3.1.2} - \text{реализация запросов.} \end{cases}$

$F_{3.2}:$ $\begin{cases} F_{3.2.1} - \text{отслеживание состояния ресурса,} \\ F_{3.2.2} - \text{выбор метода обмена,} \\ F_{3.2.3} - \text{определение стратегии распределения ресурса,} \\ F_{3.2.4} - \text{выделение ресурса,} \\ F_{3.2.5} - \text{освобождение ресурса.} \end{cases}$

$F_{3.3}:$ $\begin{cases} F_{3.3.1} - \text{управление преобразованием данных,} \\ F_{3.3.2} - \text{определение готовности к обмену,} \\ F_{3.3.3} - \text{организация одиночного обмена,} \\ F_{3.3.4} - \text{организация группового обмена,} \\ F_{3.3.5} - \text{иницирование обмена,} \\ F_{3.3.6} - \text{формирование управляющих сигналов обмена,} \\ F_{3.3.7} - \text{управление формированием данных обмена.} \end{cases}$

$F_{3.4}:$ $\begin{cases} F_{3.4.1} - \text{управление опросом датчиков,} \\ F_{3.4.2} - \text{управление формированием сигналов на управляющие механизмы,} \\ F_{3.4.3} - \text{управление формированием данных,} \\ F_{3.4.4} - \text{определение готовности к обмену,} \\ F_{3.4.5} - \text{организация обмена,} \\ F_{3.4.6} - \text{формирование управляющих сигналов обмена,} \\ F_{3.4.7} - \text{управление формированием данных обмена.} \end{cases}$

Дополнительные функции:

$F_{2.1.1} - \text{анализ запросов на процессы,}$
 $F_{2.1.2} - \text{иницирование процессов,}$
 $F_{2.1.3} - \text{«разрушение» отработавших процессов,}$

$F_{2.1.4} - \text{освобождение ресурсов памяти,}$
 $F_{2.1.5} - \text{переход к обработке следующего задания,}$
 $F_{2.1.6} - \text{разрешение конфликтных ситуаций.}$

$F_{2.2.1} - \text{выделение заданию ресурсов памяти,}$
 $F_{2.2.2} - \text{генерация и запуск процессов управления устройствами,}$

$F_{2.2.3} - \text{ввод данных процесса,}$
 $F_{2.2.4} - \text{иницирование процесса.}$

$F_{2.3.1} - \text{обеспечение связи между процессами,}$
 $F_{2.3.2} - \text{мультиплексирование процессов,}$
 $F_{2.3.3} - \text{синхронизация процессов,}$
 $F_{2.3.4} - \text{создание процессов.}$

Дополнительные функции F^6 и F^7 декомпозируются аналогичным образом.

На V уровне декомпозиции общее число микрофункций, соответствующих только основным функциям системы, равно 98.

Необходимо отметить целостность рассмотрения системы при использовании модели в виде дерева функций системы. В частности, формирование дерева функций рассмотренной системы обработки информации не предполагает предварительного разделения ресурсов системы на аппаратные и программные средства. На начальном этапе не выделяются также функции, реализуемые пользователями системы. Такой целостный подход к анализу и синтезу системы оказывается весьма эффективным при формировании новой функционально-структурной организации — при формировании архитектуры нового поколения систем обработки информации.

АППАРАТНАЯ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИЙ

При построении дерева функций универсальной СОИ система рассматривается в целом: аппаратные, программные средства и пользователь (коллектив пользователей) или объект управления.

Следует отметить, что в состав СОИ входит вычислительный комплекс, периферийные внешние запоминающие устройства (ВЗУ), человек-оператор, а также, возможно, и другие взаимодействующие системы. Система может работать совместно с дистанционно-удаленными системами (системой государственной статистики, системой банковского учета и т. п.). Также СОИ может работать совместно с реальной системой, находящейся в непосредственной близости либо дистанционно удаленной: системы числового программного управления (ЧПУ) технологическим оборудованием; системы автоматизации научных исследований; системы обучения; комплексные тренажеры, имитирующие реальные условия эксплуатации соответствующих неподвижных и подвижных объектов (летательных аппаратов и других транспортных средств); системы управления мощными энергетическими объектами; системы управления вооружением и т. д.

Внутрисистемные функции целесообразно рассматривать независимо от программной или аппаратной реализации. Такое рассмотрение предполагает возможность реализации отдельных функций системы как аппаратными, так и программными средствами. К сожалению, в «классической» литературе по вы-

числительной технике рассмотрение вопросов организации и технической реализации системы, с одной стороны, и процессов решения задач на машине и разработки программных средств — с другой, ведутся, как правило, без достаточного учета взаимосвязи аппаратных и программных средств. Это приводит к искусственному разделению аппаратных и программных средств СОИ, что, в свою очередь, сдерживает эффективное развитие аппаратных и программных средств.

Известно, что любой алгоритм (любая совокупность функций обработки информации) может быть реализован как аппаратными, так и программными средствами. Проблема оптимального проектирования СОИ сводится по существу к выбору наилучшего соотношения между аппаратными и программными средствами системы при конкретной совокупности ограничений.

Упомянутое выше разделение аппаратных и программных средств имеет свою предысторию. Стоимость аппаратных средств ЭВМ предшествовавших поколений являлась весьма значительной и в начальный период существенно превосходила стоимость программных средств. Высокая стоимость комплектующих изделий и низкая надежность компонентов требовали минимизации структуры вычислительного комплекса — минимизации числа элементов системы. Однако необходимость реализации непрерывно расширяющегося спектра функций (усложнение решаемых задач, требование повышения производительности, организация новых режимов взаимодействия пользователя с системой) при объективно существовавших ограничениях на использование аппаратных средств приводила к необходимости совершенствования традиционной алгоритмически универсальной структуры, соответствующей модели структуры машины Дж. фон Неймана. В ЭВМ II и III поколений основные функционально-структурные изменения произошли в организации и технической реализации процессоров (увеличение быстродействия за счет новой элементной базы, введение регистров общего назначения, усложнения структуры операционных устройств, расширения систем команд и способов адресации). Большие изменения произошли также в организации и технической реализации памяти: организация многоуровневой и много-

блочной памяти, введение аппаратных и программных средств защиты памяти, введение принципов страничной организации и сегментации памяти, расширение номенклатуры ЗУ, развитие оперативной и сверхоперативной памяти, совершенствование ВЗУ на магнитных дисках и лентах.

Наибольшие успехи были достигнуты в развитии и совершенствовании периферийного оборудования: разработка диалоговых средств общения человека с системой, создание интеллектуальных терминалов, средств графического отображения информации, организация систем оптического ввода символьной информации, создание первых систем речевого ввода информации, развитие систем телеобработки, дальнейшее развитие систем и технических средств сбора, обработки и хранения информации, управления объектами в режиме реального времени.

Появилась возможность практического создания распределенных вычислительных систем, осуществляющих обмен информацией через систему спутниковой связи. Таким образом, расстояния перестали быть преградой для эффективного обмена информацией между системой и пользователем.

Следует отметить, что расширение функциональных возможностей и сфер применения вычислительной техники, совершенствование диалога пользователя с системой и сокращение времени подготовки задач к решению происходило за счет развития и совершенствования программного обеспечения. Развитие функционально-структурной организации аппаратных средств отставало от развития средств программного обеспечения. Большие успехи в совершенствовании технологии изготовления элементной базы, развитие технологии БИС привели к существенному снижению (на несколько порядков) стоимости аппаратных средств. Опыт, накопленный при создании программных средств (операционных систем, пакетов прикладных программ, библиотек стандартных подпрограмм) как управляющих, так и обрабатывающих, в сочетании с успехами, достигнутыми в процессе эволюции технологий, позволяет в настоящее время пересмотреть традиционные принципы функционально-структурной организации систем обработки информации.

В настоящее время одним из магистральных путей совершенствования функционально-структурной органи-

зации систем обработки информации и повышения их производительности является аппаратная реализация функций программного обеспечения и создание функциональных расширителей для аппаратной реализации функций, наиболее часто встречающихся при реализации проблемно-ориентированных систем.

Рассматриваемый в настоящей работе функционально-структурный подход к синтезу СОИ, базирующийся на закономерностях их развития, может рассматриваться как стратегия, метод и инструмент совершенствования функционально-структурной организации систем и их отдельных элементов. Программные и аппаратные средства, реализующие определенную совокупность функций и имеющие определенную структуру, должны рассматриваться с учетом взаимосвязи содержания и формы. Нельзя забывать о том, что понятия содержания и формы условны и структура и функция могут взаимопереходить друг в друга. Такой диалектический подход к рассмотрению процессов формирования функционально-структурной организации системы, ее аппаратных и программных средств расковывает воображение создателей СОИ и позволяет пересмотреть традиционные принципы функционально-структурной организации отдельных модулей систем на различных уровнях системной организации. Необходимость в таком пересмотре традиционных методов проектирования и разработки СОИ назрела, и всякое промедление в реализации новых идей и принципов приводит к существенным экономическим потерям.

Если на первых этапах развития вычислительной техники стоимость аппаратных средств существенно превышала стоимость программных средств, то на современном этапе наблюдается обратное соотношение — стоимость программного обеспечения в 2,5—3 раза превышает стоимость аппаратуры. И такое положение тоже нельзя считать нормальным. Сложность современных СОИ такова, что не только инженеры затрачивают массу времени на ввод системы в эксплуатацию и устранение неисправностей, но и большинство пользователей систем используют возможности операционных систем (особенно их управляющих программ) не более чем на 40—60%.

Выходом из создавшегося положения является пересмотр традиционной архитектуры СОИ, принципов

функционально-структурной организации подсистем различного уровня с учетом сбалансированности соотношения программных и аппаратных средств на всех уровнях системной организации. Основными путями совершенствования архитектуры и функционально-структурной организации СОИ являются: пересмотр традиционного распределения функций между средствами программного и аппаратного обеспечения; разработка функционально-ориентированных процессоров с целью повышения общей производительности системы; формирование и техническая реализация сбалансированных рядов многофункциональных и специализированных модулей на основе технологии БИС.

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ОСНОВНЫХ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Средства обработки информации прошли путь от простых механических устройств до современных ЭВМ с каналами связи, наращиваемых вычислительных систем с модульным принципом построения.

Расширение классов функций, реализуемых системой, порождает включение новых специализированных модулей. Но бесконечное усложнение функциональных связей на «старой» конструктивно-элементной базе приводит к неоправданному усложнению функционально-структурной организации. Система «обрастает» большим числом специализированных модулей, требующих дополнительного аппаратного и программного интерфейса с модулями, входившими в первоначальную конфигурацию системы. При этом нарушается простота и регулярность связей между модулями и снижается однородность и регулярность структуры системы.

Система начинает все больше работать «на себя», что проявляется в преобладании вызовов обслуживающих подпрограмм. Известно, например, что старшие модели ЕС ЭВМ затрачивают значительную часть времени на реализацию собственных системных функций.

Сложность реализации расширенной совокупности функций на базе старой технологии стимулирует развитие новых технологических методов. Необходимость повышения производительности систем, реализации новых

эффективных режимов их работы — режимов работы в реальном масштабе времени, интерактивных режимов, создание систем коллективного пользования приводят к необходимости аппаратной реализации ряда функций вычислительных систем, которые в системах предыдущих поколений реализовывались программно. Так, например, в настоящее время для ряда старших моделей ЕС ЭВМ разрабатываются специализированные процессоры для воспроизведения тригонометрических, показательных и других специальных функций [95]. Возможности развивающейся интегральной технологии позволяют решать поставленные задачи комбинированными аппаратно-программными методами с передачей ряда макрофункций системы аппаратным средствам.

Дополнительные функции СОИ определяются сервисом системы, расширением сферы применения системы, возрастающей мощностью и динамичностью обрабатываемых информационных потоков, а также требованиями к качеству и скорости обработки информации.

Улучшение сервиса систем связано с развитием средств абонентских пунктов и возможностью их распределения (удаления, увеличения их числа) относительно СОИ. Оно также зависит от «мощности» системного программного обеспечения:

- реализуемых режимов работы системы;
- наличия трансляторов с языков высокого уровня и полноты их реализации;
- простоты управления виртуальной машиной пользователя.

Анализ функций СОИ различных поколений показывает, что базовый набор функций, реализуемых системой, определяется ее целевым назначением и проблемной ориентацией. Изменение состава множества основных функций указывает на качественный скачок — появление нового класса систем.

Выше была доказана сводимость всех процессов в многоуровневых СОИ к реализации совокупности $\langle P, C, M, T \rangle$ -операторов. Следует отметить, что загруженность функциональных модулей системы реализацией тех или иных операторов зависит от уровня иерархии, к которому относится рассматриваемый функциональный модуль. Так, модули, находящиеся на верхних уровнях иерархии системы, несут основную нагрузку по реализации операторов управления C_i , а

модули нижних уровней в основном обеспечивают реализацию функциональных операторов передачи и обмена T_i^k и первичной (предварительной) обработки P_i^k . Нельзя не учитывать и проблемную ориентацию системы. Так, системы, предназначенные для научных расчетов, ориентируются на сравнительно небольшое число входных и выходных данных и значительную загрузку при реализации функциональных операторов обработки P_i^l . Для таких систем существенным параметром является скорость вычислений. Системы, ориентированные на обработку экономической и учетно-статистической информации, функционирование которых связано с большим удельным весом операций ввода — вывода T_i^l и промежуточного хранения M_i^l значительных по объему информационных файлов, не предъявляют столь жестких требований к скорости обработки. Эти системы, основная нагрузка в которых ложится на реализацию операторов передачи и обмена T_i^l , затрачивают много времени на обработку прерываний при выполнении операций ввода — вывода.

Перечисленные особенности должны учитываться на самых ранних этапах проектирования системы. Общим же, для различных классов и типов СОИ, является сводимость их базовых функций к перечисленному выше набору функциональных операторов, полнота реализации которых зависит от проблемной ориентации и условий работы системы. Поведение системы определяется выполнением большого числа взаимодействующих процессов. Рассматривая процесс как логически связанный набор активностей (динамических объектов, соответствующих выполнению некоторой единицы работы), можно, моделируя различные уровни описания системы, использовать аппарат декомпозиции процессов в активности.

Функционирование СОИ может быть представлено как взаимосвязанное протекание ряда процессов R^a , R^b ... и т. д. Процессы различаются: функциями F_k , приоритетами α_i , запросами на ресурсы β_m . При таком подходе четко прослеживается связь: «процесс» — «активности» — цепочка $\langle P, C, M, T \rangle$ -операторов (рис. 8.5). При этом процесс на уровне i порождает на $(i+1)$ -м уровне связанный набор активностей, каждая из которых реализуется совокупностью $\langle P_{i+1}^l, C_{i+1}^l, M_{i+1}^l, T_{i+1}^l \rangle$ -операторов. Реализация функционального оператора определенного уровня системной орга-

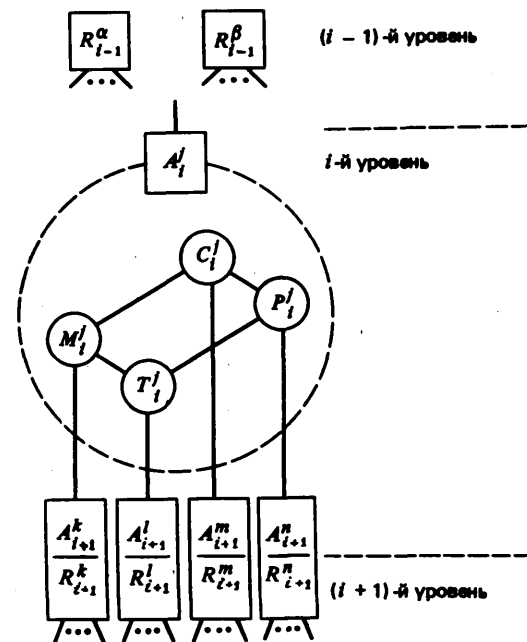


Рис. 8.5. Декомпозиция процессов в активности

низации отождествляется с процессом для следующего нижнего уровня.

Методики проектирования вычислительных структур предусматривают расчленение процесса проектирования на ряд этапов, каждому из которых соответствует определенный уровень представления объекта проектирования. Конкретный уровень определяется спектром решаемых задач и моделями, используемыми для решения. Процесс проектирования можно рассматривать как последовательное пополнение исходного описания недостающей информацией и формирование ряда последовательно уточняющих моделей, пока минимальные компоненты описания не будут соответствовать принятому «элементному базису».

Отметим два аспекта иерархической декомпозиции функций. Во-первых, при разложении различных функций, принадлежащих i -му уровню иерархии, на множество функций более низкого $(i+1)$ -го уровня может оказаться, что во вновь полученных множествах функ-

ций имеются совпадающие элементы. Это, однако, не означает, что при дальнейшей декомпозиции можно безусловно исключить из рассмотрения одну из пары совпадающих функций. Такое исключение возможно лишь на этапе формирования функциональных модулей, так как ввиду возможного параллелизма при реализации вычислительных процессов может возникнуть потребность в одновременном воспроизведении идентичных преобразований над различными аргументами. Во-вторых, при декомпозиции некоторой функции i -го уровня F_i может обнаружиться, что на последующем $(i+1)$ -м уровне функция отображается без разложения на составляющие, т. е.

$$F_i = F_{i+1}.$$

Декомпозиция множества основных и дополнительных функций производится до принятой степени детализации, т. е. в соответствии с имеющейся в распоряжении проектировщика совокупностью аппаратных и программных модулей. Основное требование, предъявляемое к элементам определенного уровня декомпозиции, — одинаковая степень детализации описания процессов, протекающих в системе. Каждый уровень отражает набор функций, реализуемых системой с определенной степенью детализации.

Выделим следующие уровни декомпозиции:

уровень 0 — на данном уровне система рассматривается как целостный функциональный модуль, предназначенный для воспроизведения целевой функции;

уровень 1 — элементами декомпозиции этого уровня являются: функциональные подсистемы, реализующие множество основных и дополнительных функций;

уровень 2 — элементами этого уровня являются функциональные блоки, множество которых определяется из соображений полноты реализации базовых функций;

уровень 3 — этому уровню обычно соответствуют функциональные элементы, отражающие декомпозицию множества основных и дополнительных функций на функциональные операторы $\langle P, C, M, T \rangle$ -типов;

уровень 4 — этот уровень соответствует функциональным возможностям типовых модулей, реализующих элементарные операции, соответствующие операторам, воспроизводимым используемой элементной базой.

Выделенные уровни декомпозиции можно разделить на три группы:

I группа соответствует функциональному назначению системы (уровень 0);

II группа отражает проблемную ориентацию системы и функциональную ориентацию отдельных ее подсистем (уровни 1 и 2);

III группа отражает способы реализации функциональных модулей посредством набора функциональных операторов $\langle P, C, M, T \rangle$ -типов (уровни 3 и 4).

Декомпозиция производится с учетом специфики применения системы и отражает ее проблемную ориентацию в соответствии с требованиями технического задания.

Функциональная структура проектируемой системы формируется на основе дерева функций, содержащего информацию о множестве основных и дополнительных функций.

Выше была показана сводимость активности A_i к реализации совокупности функциональных операторов $\langle P, C, M, T \rangle$ -типов. Определим операторную модель как автоматное представление системы на основе набора функциональных операторов $\langle P, C, M, T \rangle$ -типов с указанием внешних и внутренних связей между операторами модели различного уровня и логических условий их активности.

Методика формирования операторов определенного уровня декомпозиции дерева функций и синтез обобщенной операторной модели включают решение следующих задач:

1. Анализ алгоритмов моделируемых процессов и определение их характеристик.

2. Формализация описания алгоритмов;

3. Формирование операторных схем алгоритмов и их оптимизация.

4. Анализ возможности покрытия ветвей алгоритма типовыми функциональными модулями.

5. Эквивалентные преобразования алгоритма с целью улучшения покрытия.

6. Формирование упорядоченных наборов операторов для реализации процессов i -го уровня.

7. Совмещение операторных схем алгоритмов и фрагментов дерева функций.

8. Выполнение оптимизирующих эквивалентных преобразований на уровне операторных схем с целью дости-

жения максимального соответствия выполняемых на предыдущем этапе совмещений.

9. Формирование окончательного варианта операторной модели.

Выше отмечалась целесообразность операторного представления функций системы. Операторы могут быть представлены в аналитической, табличной и графической формах. От операторов может быть осуществлен простой переход к ориентированным графам, для которых разработан достаточно совершенный аппарат эквивалентных преобразований. Операторная схема описывает последовательность информационных процессов и их логическую взаимосвязь с учетом тактов обработки информации. Операторное представление системы на различных уровнях облегчает переход к структуре на основе функциональных модулей.

ОПЕРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ

Функционирование модуля ΦM_i любого i -го уровня полностью определяется совокупностью входных информационных потоков, внутренних функциональных преобразований и выходных информационных сигналов. Функциональный модуль ΦM_i представляет автомат $\langle X, A, Y; g, f \rangle$,

где X — множество сигналов на входе, A — множество внутренних состояний, Y — множество сигналов на выходе, g — операция, ставящая в соответствие сигналу на входе и внутреннему состоянию определенное новое состояние, f — операция, определяющая по входному сигналу и внутреннему состоянию сигнал на выходе.

Таким образом, совокупность функциональных операторов, реализуемая модулем ΦM_i , преобразует функциональные отношения, заданные множеством X , в совокупность функциональных отношений множества Y посредством отображения во множество A .

На рис. 8.6 представлена операторная модель функционального модуля ΦM_i , реализующего j -функцию на i -м уровне. Модуль ΦM_i реализует следующие функции: прием информации T_{i-1} в систему — оператор T_{i-1} ; разделение входного информационного потока, выделение служебной информации, различные структурные преобразования кодов — оператор P_i ;

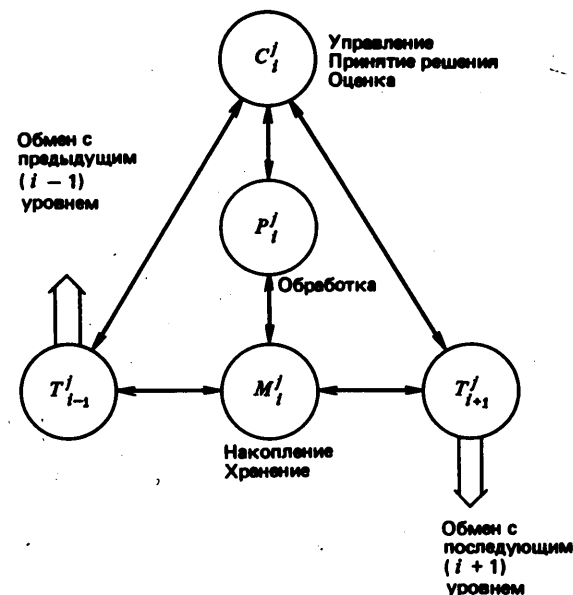


Рис. 8.6. Операторная модель функционального модуля ΦM_i

сопоставление с информацией, записанной в системе, — операторы P_i, M_i ;

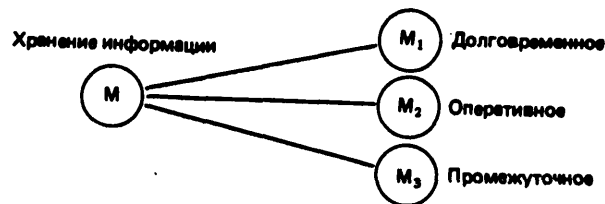
формирование выходного информационного потока — операторы C_i, P_i, M_i ;

выдача ответной информации — оператор T_{i+1} .

В процессе преобразования и передачи информации необходимо принимать во внимание пространственно-временные характеристики среды протекания процессов; t — временные характеристики (продолжительность действия оператора); l — пространственные характеристики (отображение единицы информации в пространстве); S — структурные характеристики (структурное представление информации).

Реализация функционального оператора хранения M_i связана с изменением временных характеристик Δt , оператора передачи T_i — с изменением пространственных характеристик Δl , а оператора обработки P_i — отражает изменения в структурном представлении элементов информационного потока (рис. 8.7).

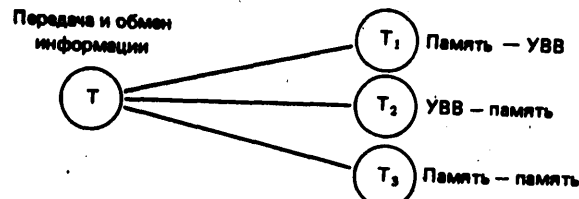
Оператор управления C_i отражает формирование внутренних связей в модуле, инициируя процессы



$$M\{X(t, l, s)\} \Rightarrow M\{X(t + \Delta t, l + \Delta l, s + \Delta s)\}$$

при $\Delta t \rightarrow \infty, \Delta l \rightarrow 0, \Delta s \rightarrow 0$

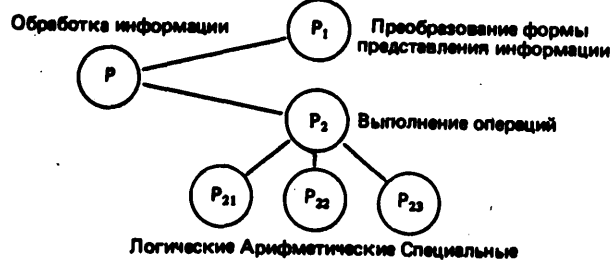
а)



$$T\{X(t, l, s)\} \Rightarrow T\{X(t + \Delta t, l + \Delta l, s + \Delta s)\}$$

при $\Delta t \rightarrow 0, \Delta l - \text{const} \neq 0, \Delta s \rightarrow 0$

б)



$$P\{X(t, l, s)\} \Rightarrow P\{X(t + \Delta t, l + \Delta l, s + \Delta s)\}$$

при $\Delta t \rightarrow 0, \Delta l \rightarrow 0, \Delta s - \text{const} \neq 0$

в)

Рис. 8.7. Декомпозиция функциональных операторов МРТ

P_i, M_i, T_i , а также организацию внешних связей модуля ΦM_i с модулями $(i+1)$ -го и $(i-1)$ -го уровней.

Можно показать сводимость оператора управления S к множеству $\{P, M, T\}$ -операторов.

Таким образом, реализация управления C_i i -го уровня

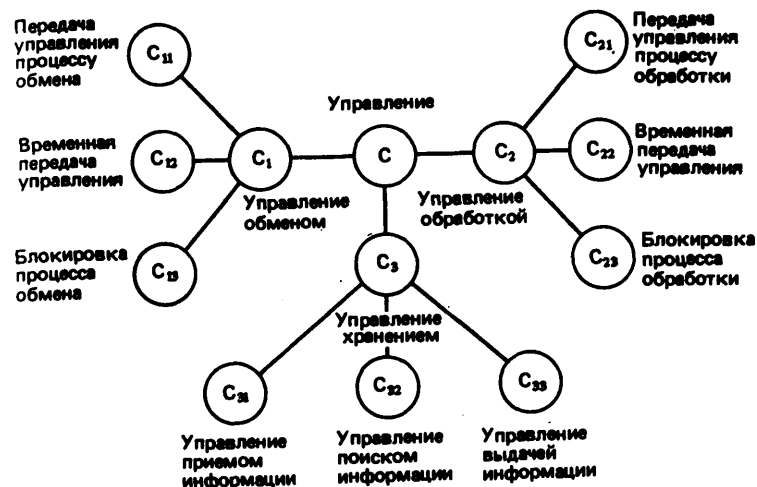


Рис. 8.8. Декомпозиция оператора управления C

порождает на уровне $(i+1)$ совокупность $\{P_{i+1}, M_{i+1}, T_{i+1}\}$ -операторов.

Функции, реализуемые оператором S , представлены на рис. 8.8.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ МОДУЛИ

Закономерность функциональной полноты элементов системы естественно приводит к модульному принципу организации систем. Принцип предполагает построение систем на основе определенного, как правило, функционально полного набора модулей. Благодаря высокой эффективности и экономичности создания и эксплуатации модульных систем этот принцип получил большое развитие в современной технике.

Модуль представляет обычно функционально и конструктивно законченную подсистему, предназначенную для воспроизведения определенной совокупности функций совместно с другими модулями соответствующего уровня функционально-структурной организации. Как правило, конструкция модулей обеспечивает простое сопряжение модуля с другими элементами системы соответствующего уровня. Определим модуль как законченный элемент, который может служить конструктивной, функциональной, метрологической, информацион-

ной и другой единицей (мерой) при проектировании, изготовлении, эксплуатации, а также сравнении изделий.

При разработке, например, ЭВМ под модулем будем понимать логическое вычислительное устройство, обладающее функциональной, конструктивной и электрической завершенностью, способное самостоятельно или в совокупности с другими модулями решать требуемые задачи. Функциональная завершенность характеризует способность воспроизведения без помощи дополнительных средств конечного числа функций вычислительного процесса.

Конструктивная завершенность предполагает выполнение устройства в виде конструктивного элемента одного из уровней иерархии конструктивов, а также наличие средств механической фиксации и электрической коммутации при установке в качестве элемента в конструктивном модуле высшего уровня.

Электрическая завершенность предусматривает наличие в модуле средств электрического сопряжения с модулями определенного класса, а также автономных схем синхронизации и питания. Дополнительными требованиями при проектировании модулей являются требования автономности (асинхронности), конструктивной, информационной, энергетической (электрической), эксплуатационной совместимости — способности непосредственного сопряжения модулей без использования дополнительных средств. Такие требования предъявляют к современным агрегатным средствам информационно-управляющих систем.

Конструктивно-функциональный анализ модулей существенно осложняется тенденцией отображения все более сложных функций конструктивными элементами низких уровней, что стимулируется интенсивным развитием интегральной технологии. В связи с этим целесообразно рассматривать отдельно конструктивные и функциональные модули. Функциональный модуль (ФМ) — функциональная часть устройства, обладающая функциональной завершенностью, не имеющая, как правило, самостоятельного конструктивного оформления.

Практика проектирования информационно-управляющих систем привела к выделению следующих функциональных уровней рассмотрения средств вычислительной техники и соответствующих им ФМ:

1. Логические элементы (ЛЭ) — вентили — логически неделимые элементы, реализующие одно- или

двухступенчатые логические функции И — НЕ, ИЛИ — НЕ, И — ИЛИ — НЕ, И — ИЛИ, И, ИЛИ, НЕ.

2. Элементарные функциональные модули (ЭФМ) — совокупность ЛЭ, реализующая заданную функцию хранения или преобразования информации над операндами единичной длины. К ним относятся одноразрядные ячейки памяти, триггеры, разрядные сечения регистров, счетчиков, сумматоров и других типовых функциональных узлов. Частным случаем ЭФМ являются ЛЭ.

3. Типовые функциональные узлы (ТФУ) — совокупность ЭФМ, предназначенная для хранения или (и) преобразования информационных слов (регистры, счетчики, сумматоры, дешифраторы, многоразрядные ячейки памяти). Частным случаем ТФУ являются ЭФМ.

4. Типовые функциональные блоки (ТФБ) — совокупность ТФУ, реализующая функции хранения, обработки, обмена массивов информации или управления этими процессами. Примерами ТФБ являются ОЗУ, ПЗУ, АЛУ, блок управления.

5. Функциональное устройство ЭВМ (ФУ ЭВМ) — совокупность ТФБ, реализующая одну или несколько функций хранения, обработки, управления и обмена над различными типами информационных массивов в ЭВМ. Примерами ФУ ЭВМ являются процессор, устройства ввода — вывода, ЗУ. Частным случаем ФУ ЭВМ являются ТФБ.

6. ЭВМ — совокупность устройств, осуществляющая автоматическое решение задач, представленных программами и данными в цифровой или аналоговой форме.

Необходимо отметить определенную условность деления ЭВМ на указанные ФМ.

7. Конструктивный модуль (КМ) — устройство, обладающее конструктивной завершенностью и рассматриваемое, как правило, безотносительно к функциональному назначению.

Можно выделить следующие уровни конструктивной иерархии и соответствующие им КМ:

1. Навесные элементы (НЭ) — электро-, радио- и вычислительные элементы, рассматриваемые при проектировании РЭА как конструктивно неделимые, выполненные методами дискретной или интегральной технологии, имеющие средства защиты (корпус), а также механической и электрической коммутации с другими

КМ. Основным видом НЭ при проектировании ЭВМ являются ИС, СИС, БИС, МПК, БИС.

2. Печатные узлы (ПУ) — совокупность НЭ, (ИС, СИС, БИС), размещенных на печатной плате и объединенных в конечную схему печатными проводниками, имеющая средства коммутации с другими КМ. В практике конструирования ЕС ЭВМ и других ЭВМ ПУ получил название типовой элемент замены (ТЭЗ). ТЭЗ — типовая минимальная составная часть устройства ЭВМ, которая может быть заменена аналогичной. ТЭЗом может быть КМ любого уровня.

3. Блок (Б) — совокупность ПУ (ТЭЗ), электрически объединенных проводным или печатным монтажом и имеющая средства защиты от внешних воздействий (в панели отсутствуют) и электрической коммутации с другими КМ. В Единой системе ЭВМ в качестве конструктива «блок» используется «панель».

4. Рама (Р) — совокупность блоков (панелей).

5. Стойка (С) — совокупность блоков (рам, панелей), имеющая корпус, средства стабилизации режимов эксплуатации, питания, управления и коммутации. К этому уровню могут быть отнесены автономные пульты управления, тумбы и т. д.

6. Конструктивный комплекс (К) — совокупность стоек, пультов управления, тумб и других КМ, выполняющих все необходимые функции в соответствии с назначением системы обработки информации.

Большое число модулей низших конструктивных уровней (НЭ, ПУ) в современных ЭВМ, снижение их повторяемости, различие темпов роста степени интеграции элементов и числа внешних связей КМ усложняют проблему конструктивно функциональной организации модулей при их исполнении в виде БИС, ПУ, ТЭЗ. Число ИС и их типов в ЭВМ измеряется соответственно десятками и сотнями тысяч. Так, например, в процессоре ЭВМ ЕС-1060 используется 20 000 ИС и 500 типов ТЭЗ, а повторяемость последних не превышает двух.

Серьезное внимание при разработке ЭВМ в настоящее время уделяется функциональной организации БИС и ПУ. Это вызвано тем, что они являются основными видами ТЭЗ, на уровне которых производится ремонт ЭВМ. Поэтому особенно важной является задача сокращения номенклатуры модулей низших конструктивных уровней.

Решение проблемы минимизации общего числа типов модулей, сокращение общего числа модулей, их унификация являются принципиально необходимыми при создании сложных многоуровневых систем. Эта большая, тяжелая работа связана с пересмотром и разработкой новых принципов функционально-структурной организации систем.

Диаграммы, приведенные на рис. 8.9, отражают изменения взаимного соответствия ФМ и КМ для ЭВМ различных поколений (I—III). Функциональное исполнение КМ и конструктивное оформление ФМ определяются как конструктивно-технологическими ограничениями, характерными для данного этапа развития технологии, так и принципами проектирования и структурной организации ЭВМ.

Изменение характера зон при переходе к новым поколениям ЭВМ отражает, с одной стороны, увеличивающееся разнообразие конструктивного исполнения ЭВМ, а с другой — возрастание функциональной нагрузки КМ низших уровней.

Анализ развития элементно-технологической базы показывает, что опрежение роста (расширение) функциональных возможностей элементов относительно повышения степени их конструктивной сложности приводит к развитию и углублению взаимно-неоднозначного соответствия функциональных и конструктивных модулей и к необходимости их совместного функционально-структурно-технологического синтеза. Разрешить противоречия взаимно-неоднозначного соответствия ФМ и КМ можно совместным функционально-технологическим проектированием модулей и использованием принципа максимального структурно-логического соответствия ФМ и КМ. Этот принцип предполагает разработку структур ФМ с учетом конструкторско-технологических ограничений. Это означает последующее

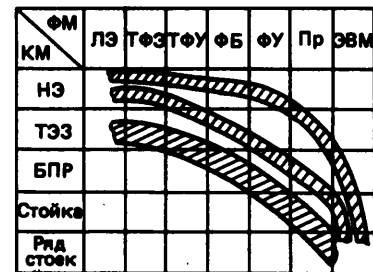


Рис. 8.9. Взаимное соответствие функциональных и конструктивных модулей для различных поколений СОИ

отображение ФМ конструктивными модулями, характеризующимися в функциональном отношении общностью структурной организации и логики функционирования с отображаемыми ФМ. Функциональное наполнение КМ при этом отличается от ФМ лишь количественными показателями (разрядностью, объемом памяти) и различной схмотехнической интерпретацией структурных решений ФМ.

Таким образом, вопрос о функционально-конструктивной организации модулей в условиях технологии БИС становится исключительно важным. Решение этого вопроса осложняется ограничениями экономического характера, проявляющимися в требованиях минимизации числа типов модулей, их внешних выводов, времени проектирования, изготовления и диагностики неисправностей и требует проведения работ не только в области конструкторско-технологической, но и в области функциональной унификации.

Десятки типов микропроцессов (МП), свидетельствуют, с одной стороны, об освоении процессов разработки и изготовления МПК БИС, а с другой — о трудностях разработки концепции многофункциональных модулей. Отсюда вытекает необходимость совместного использования принципов универсальности и специализации путем выделения и исследования классов задач алгоритмов, функций и создания модулей, проблемно и функционально-ориентированных на эти классы задач и обеспечения возможности развития, наращивания средств на основе базовых, относительно устойчивых структур.

В качестве основных направлений развития микропроцессорных средств можно отметить следующие: создание все более эффективных универсальных МП путем повышения степени интеграции, увеличения числа функций, реализуемых на кристалле, и расширения спектра схем сопряжения;

разработка проблемно-ориентированных МПК БИС, включающих как многофункциональные, так и специализированные модули;

создание СОИ на основе многофункциональных регулярных структур типа систем памяти.

Непременным условием проектирования ЭВМ в рамках каждого из направлений является анализ и учет возможностей, ограничений и тенденций развития интегральной технологии и принципов проектирования

ЭВМ и БИС. Отсутствие общей методологии минимизации числа типов структурно-однотипных модулей, отвечающих требованиям технологии БИС, и организации на их основе проблемно-ориентированных вычислительных и управляющих устройств существенно усложняет разработку систем.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МОДУЛИ

Основной вопрос, который решается на всех этапах проектирования, — это число типов используемых элементов и количество используемых элементов, т. е. решается задача о целесообразности разработки многофункциональных и специализированных элементов.

Основным достоинством цифровых систем является возможность их реализации на ограниченном функционально-полном наборе логических элементов. Многолетний спор о целесообразности применения многофункциональных или специализированных элементов никогда не может быть разрешен. Такая постановка вопроса неправомерна и противоречит в своей основе основным законам развития систем.

Как отмечалось выше, создатель системы всегда стремится реализовать заданные функции на основе минимального числа многофункциональных модулей. Однако непрерывное расширение и усложнение функций, реализуемых системой, приводит к включению в систему ряда специализированных модулей. Система разрастается, структура системы усложняется и требуется скачок в развитии наших представлений о системе, подкрепленный успехами технологий, чтобы появилась возможность реализации усложненной системы на базе многофункциональных модулей нового поколения. Далее процесс повторяется. В соответствии с принципом многофункциональности, для процесса развития систем характерно тяготение к использованию многофункциональных модулей. Применение многофункциональных модулей позволяет наиболее экономичным образом разрешить противоречия, возникающие между функциями, реализуемые модулями определенного уровня, и сложностью структуры, необходимой для реализации этих уровней.

Практика проектирования цифровых систем в настоящее время широко использует многофункциональные

интегральные микросхемы, реализующие функции «ИЛИ — НЕ» и «И — НЕ» в сочетании со специализированными интегральными микросхемами различной степени интеграции: счетчиками, сумматорами, регистрами и т. д. Специализация перечисленных выше интегральных микросхем весьма условна, так как перечисленные модули следует рассматривать и как многофункциональные. Действительно, регистр может выполнять следующие функции: прием, хранение и выдачу информации, последовательное и параллельное преобразование кодов, операции циклического сдвига и др. Счетчик не только выполняет операции счета импульсов, но и осуществляет хранение накопленного результата и формирует выходной сигнал при своем переполнении, т. е. выполняет функцию сравнения текущего значения с максимально допустимым.

Анализ развития конструктивно-технологической базы аналоговых и цифровых информационно-управляющих систем показывает, каким сложным путем идет разрешение традиционного противоречия между многофункциональными и специализированными модулями. Повышение степени функциональной и структурной целостности модулей (подсистем и систем) существенно расширяет их функциональные возможности на уровне макрофункций, одновременно повышая степень их специализации. Аналогично из многофункциональных модулей низкого уровня — кирпичей можно возвести различные инженерные сооружения, а из модулей более высокого уровня — блоков, панелей — только сравнительно ограниченный спектр строительных конструкций для создания которых разработаны конкретные модули.

Непрерывное повышение требований к эффективности, экономичности и надежности систем стимулирует появление новых поколений функциональных и конструктивных модулей.

ОТОБРАЖЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ НА МНОЖЕСТВО КОНСТРУКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ

Синтез структур требует выполнения эквивалентных преобразований над моделями системы и отдельных ее подсистем. Отображение функциональной структуры системы на множество конструктивных модулей связано реализацией указанных преобразований, в основу

которых положены «взаимопереходы» — эквивалентная замена функциональных операторов.

В процессе формирования структуры многоуровневых информационно-управляющих систем возможны следующие взаимные преобразования операторов. Преобразование вида $[P \leftrightarrow M]$ предназначено для перехода от реализации оператора обработки информации P к использованию табличных методов реализации алгоритмов обработки информации. Объем памяти и длительность хранения M информации в запоминающем устройстве, в свою очередь, могут быть сокращены при использовании специальных методов обработки информации и повышении скорости обработки информации. Взаимопереход типа $[T \leftrightarrow M]$ реализуется возможностью осуществлять прием и передачу информации T через общую внешнюю память M . В СОИ обмен информацией между отдельными модулями системы обычно осуществляется через общую память. Кроме того, объем памяти может быть существенно сокращен за счет эффективной реализации обмена информацией между модулями системы. Взаимопереход вида $[P \leftrightarrow C]$ иллюстрируется реализацией в операционном устройстве не только функцией обработки данных P , но и операцией оценки результатов обработки и формирования новых команд C . Взаимопереход вида $[P \leftrightarrow T]$ реализуется сжатием и предварительной обработкой P информации, что позволяет существенно сократить количество информации, подлежащей обмену T . Взаимопереход вида $[M \leftrightarrow C]$ наиболее наглядно просматривается при использовании принципа микропрограммного управления. Возможность микропрограммирования сложных процессов в модулях памяти позволяет построить наиболее простую и регулярную структуру устройства управления по сравнению с принципами жесткого управления. Однако для хранения микропрограмм требуются достаточно большие объемы памяти.

В соответствии с приведенным анализом взаимодействий операторов выделим два типа совмещения функциональных блоков, которые условно назовем пространственным и временным совмещением. Под пространственным совмещением функциональных модулей будем понимать такое преобразование модели системы, которое заключается в замене нескольких однотипных в функциональном отношении модулей на один модуль, который используется для выполнения всех операторов, ранее выполнявшихся

в заменяемых блоках. Под временным совмещением понимается такое преобразование модели системы, при котором изменяется порядок инициирования работы совмещаемых функциональных модулей, в результате чего работа некоторых модулей может осуществляться одновременно. Отметим, что временное совмещение может осуществляться как в отношении однотипных, так и в отношении разнотипных функциональных модулей.

Учитывая возможности реализации в процессе проектирования вычислительных структур временных и пространственных совмещений, сформулируем связанные с ними требования и ограничения.

1. Повышение производительности системы достигается путем увеличения степени параллелизма выполнения операторов. Однако это неизбежно приводит к дополнительным затратам. Эта проблема решается совмещением реализуемых операторов во времени и пространственным разделением функциональных блоков, воспроизводящих эти операторы.

2. Сокращение затрат достигается уменьшением степени параллелизма выполнения операторов, однако ведет к увеличению времени реализации алгоритма. Эта проблема решается путем пространственного совмещения реализации операторов вычислительного процесса и разделения их выполнения во времени.

ОБОБЩЕННАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНАЯ КАРТА

Для комплексной оценки требований к создаваемой системе, анализа возможных принципов ее функционально-структурной организации на основе имеющейся конструкторско-технологической базы могут быть использованы обобщенные функционально-структурные карты (ОФСК). В известной степени ОФСК отражает многообразие вариантов виртуального представления системы с учетом возможных покрытий структуры совокупностью функциональных и конструктивных модулей. На основе ОФСК могут быть определены типовые средства, реализующие базовую совокупность необходимых функциональных операторов, а также основные типы функциональных модулей.

ОФСК используется для формирования многофункциональных и специализированных модулей. Понятие «многофункциональный модуль» (МФМ) логично связывать

с функциями, реализуемыми модулем в устройстве. Многофункциональными могут быть модули любого уровня функционально-структурной организации системы. Модули, взятые вне устройства (системы, подсистемы) в состав которого они входят, могут быть как многофункциональными, так и специализированными, в соответствии с заложенными в них возможностями. Независимо от этого, модули могут использоваться в устройстве или многофункционально или специализированно.

К типовым способам формирования функциональных модулей можно отнести:

декомпозицию $\langle P, C, M, T \rangle$ операторов с целью формирования модулей определенной функциональной нагрузки.

создание совокупности модулей в рамках принятого функционального разбиения,

совмещение функций в модулях.

Перечисленные приемы формирования функциональных модулей (ФМ) могут быть осуществлены посредством выполнения ортогональных сечений ОФСК (табл. 8.1).

Декомпозиция информационных слов может идти по пути конкретизации их типов и длины; так, к информации типа данных могут быть отнесены входные (ВхД), промежуточные (ПД) и выходные (ВД) данные, константы (КД); управляющие слова могут быть командными (К), микрокомандными (МК), логическими условиями (ЛУ), отдельными кодами; объектами адресации могут быть данные (АД), команды (АК), микрокоманды (АМК), операнды команд и микрокоманд (АОМК), функциональные элементы внутри и вне процессора.

В случае горизонтальных сечений формируются многофункциональные модули для выполнения идентичных функций над различными видами информационных и управляющих слов. При вертикальных сечениях формируются многофункциональные модули, реализующие совокупность функций устройства над определенными информационными потоками. Комбинированные сечения позволяют получать модули, воспроизводящие совокупности функций над различными видами информационных и управляющих слов.

Вертикальное разбиение обеспечивает максимальный уровень функциональной нагрузки ФМ, а требование функционально-информационной полноты полученного набора функциональных модулей обеспечивается их горизонтальной трансляцией. Модели на основе вер-

Таблица 8.1
Обобщенная функционально-структурная карта (ОФСК)

Воспроизводимые функции	Типовые средства реализации		Виды обрабатываемых информационных слов																			
			Аппаратные		Программные		данные				адреса											
							ВхД	ПД	ВД	КД	К	МК	ЛУ	АД	АК	АМКАОМК						
хранение долгосрочное М М₁ М₂ М₃ оперативное сверхоперативное	ПЗУ, ППЗУ	ОЗУ	СОЗУ, регистры	базы данных, файловые структуры	общие программные секции, программные поля	программные области общих и супераналитических регистров																
обработка логическая Р Р₁ Р₂ Р₃ арифметическая специальная	АЛУ, сумматоры, регистры, счетчики, МФЗУ	линии связи	магистраль, коммутаторы	трансляторы, компилирующие программы	подпрограммы специального назначения	сервисные программы																
обмен внешний Т Т₁ Т₂ внутренний	программные средства управления вводом-выводом	управление с фиксированными приоритетами устройств и процессов	управление с вычисляемыми приоритетами																			
управление жесткое С С₁ С₂ адаптивное	ПЗУ, ПЛИ																					

тикальных сечений позволяют сформировать модули с высокой степенью функциональной нагрузки (многофункциональные модули), обеспечивают однотипность их структурной организации и параллельный характер функционирования модулей в системе. Возможность временного совмещения различных функциональных преобразований в однотипных многофункциональных модулях создает предпосылки к созданию структуры с минимальным числом типов модулей и позволяет осуществить формирование конструктивных модулей по принципу максимального структурного соответствия с ФМ. Достигаемая при этом информационная автономность модулей позволяет применить магистральный принцип обмена, а распределенность памяти повышает регулярность структуры модулей и уменьшает обменные процессы в системе.

Модели на основе горизонтальных сечений позволяют строить структуры, ориентированные на последовательный характер функционирования. Комбинированные сечения приводят к структурам на основе функционально- и информационно-специализированных модулей. Особенностью таких структур является повышение числа типов модулей и усложнение связей и характера обмена за счет высокого параллелизма их функционирования.

Учитывая задачу снижения сложности структурных решений за счет минимизации числа типов модулей и повышения степени многофункциональности элементов структуры, в ряде случаев целесообразно отдать предпочтение вертикальной модели, позволяющей минимизировать общее число типов модулей. Минимизация числа типов модулей может быть достигнута определенной структурной организацией ФМ высших уровней иерархии:

по принципу однозначного функционального соответствия ФМ и конструктивных модулей (КМ),
разделением ФМ и их реализацией совокупностью КМ,

объединением нескольких ФМ в один КМ.

Принцип максимального функционально-структурного соответствия при переходе от ФМ к КМ означает, что состав и связи ФМ при отображении ФМ на множество КМ сохраняются. Сущность перехода от ФМ к их конструктивным эквивалентам определяется принципами организации структуры системы на уровне ФМ, числом типов КМ и основными их характеристиками.

Анализ эволюции СОИ показывает предельное «сжатие» ОФСК по вертикали и горизонтали для первых поколений ЭВМ и микропроцессорных БИС при формировании структуры базовых ФМ. По мере повышения требований к производительности систем, увеличению объема перерабатываемой информации, расширению спектра реализуемых функций и повышения степени сервиса системы осуществлялась горизонтальная и вертикальная декомпозиция ОФСК при формировании ФМ и КМ. По мере совершенствования технологии продолжалась все большая специализация модулей и осуществлялось формирование структур высокопроизводительных СОИ с высоким уровнем совмещения разнородных процессов в специализированных модулях.

ПОКРЫТИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ КОНСТРУКТИВНЫМИ МОДУЛЯМИ

Анализ тенденций развития конструкторско-технологической базы показывает, что стремление к расширению функциональных возможностей элементов при незначительном усложнении их конструктивной сложности приводит к неоднозначному соответствию между функциональными и конструктивными модулями. Разрешить противоречия взаимно-неоднозначного соответствия функциональных и конструктивных модулей можно только при едином функционально-структурном подходе к формированию множеств функциональных {ФМ} и конструктивных {КМ} модулей.

Такой подход предполагает разработку функциональной структуры с учетом конструктивно-технологических ограничений. Это означает отображение структуры системы на основе {ФМ} на множество {КМ}, характеризующееся в функциональном отношении общностью структурной организации и логики функционирования с отображаемой функциональной структурой. Функциональные возможности элементов множества {КМ} отличаются от составляющих функциональной структуры {ФМ} различных уровней лишь количественными показателями: числом выводов элементов, объемом памяти, разрядностью.

Решение вопроса в функционально-структурной организации структур вычислительных систем в условиях технологии БИС должно производиться с учетом ограничений экономического характера, проявляющихся

в требованиях минимизации числа типов модулей, количества их внешних выводов и других ограничений, связанных с временем проектирования, организацией изготовления, внедрения, контроля и диагностики. Удовлетворение перечисленных ограничений связанных как с работами в области конструкторско-технологической, так и функциональной унификации вычислительных структур функционально-ориентированных СОИ.

Результат решения задачи синтеза структур СОИ в большой степени определяется качеством отображения функциональной структуры на множество {КМ}. Выше в силу перечисленных причин отмечалась неоднозначность результата такого отображения. Итогом структурного синтеза является совокупность базовых вариантов структурных решений, из которых в соответствии с требованиями и ограничениями технического задания и принятой стратегией сравнительного анализа выбирается и окончательно отрабатывается рациональный вариант структурной реализации системы.

Рассмотрим основные этапы отображения функциональной структуры системы на множество конструктивных модулей (рис. 8.10).

1. Выбор набора конструктивных модулей для формирования вариантов базовых структур.

На этом этапе решается задача оценки полноты выделенного набора конструктивных модулей и определяется необходимость пополнения набора либо с целью обеспечения его функциональной полноты, либо с целью повышения регулярности (однородности) проектируемых вычислительных структур.

2. Формирование обобщенных функционально-структурных карт (ОФСК).

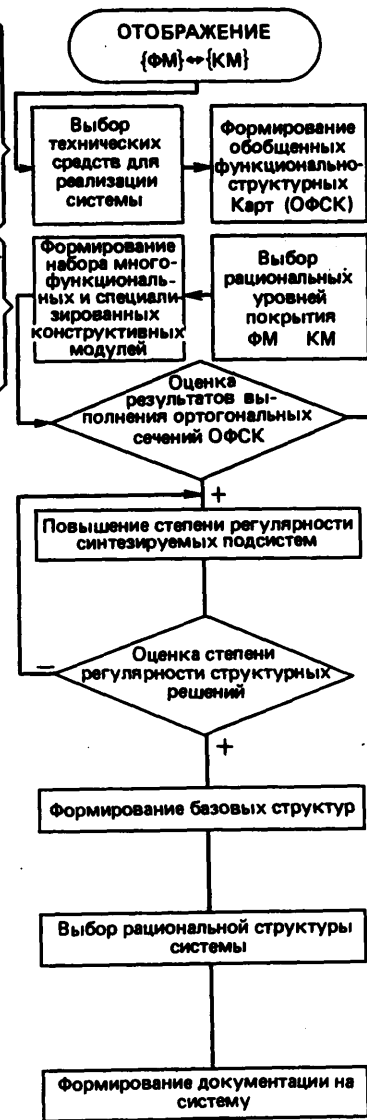
ОФСК используются для формирования многофункциональных и специализированных модулей, обеспечивающих необходимую степень однородности структуры, синтезируемой на их основе. Для построения ОФСК производится предварительный анализ модулей функциональной структуры и функциональных возможностей конструктивных модулей, которые могут быть использованы при создании системы. С этой целью формируются таблицы функциональных возможностей конструктивных модулей и таблицы соответствий элементов множеств {ФМ} и {КМ}.

На основе анализа каждого уровня функционально-структурной организации системы формируется ОФСК для

определение рационального набора конструктивных элементов

оценка необходимости разработки оригинальных технических средств

выполнение различных вариантов горизонтальных и вертикальных сечений ОФСК



формирование таблиц функциональных возможностей $\{КМ\}$

формирование таблиц соответствия $\{ФМ\}$ и $\{КМ\}$
построение ряда ОФСК для различных вариантов покрытия $\{ФМ\}$

формирование ОФСК для подсистемы и функциональных блоков

оценка полноты реализации функциональных отношений
оценка уровня соответствия $\{ФМ\}$ и $\{КМ\}$

исследование возможностей параллельной организации процессов
реализация приемов функциональной интеграции

оценка аппаратной временной избыточности структур
оценка достигнутого уровня регулярности структур и связей

формирование $\{КМ\}$ высокого уровня
формирование альтернативных вариантов системы

оценка показателей качества базовых структур
выбор рациональной структуры с учетом требований и ограничений на систему

отображение функциональной структуры системы на основе $\{ФМ\}$
отображение морфологической структуры системы на основе $\{КМ\}$

Рис. 8.10. Алгоритм отображения функциональной структуры системы на множество конструктивных модулей

различных вариантов предполагаемого покрытия функциональной структуры.

Таблица 8.2

Таблица соответствия функциональных и конструктивных модулей

ФМ		Используемые конструктивные модули			
Модули функциональной структуры		Р-типа	С-типа	М-типа	Т-типа
		$КМ_p \dots КМ_q$	$КМ_r \dots КМ_s$	$КМ_t \dots КМ_u$	$КМ_v \dots КМ_w$
Р-типа	$ФМ_p^1$				
	$\vdots$				
С-типа	$ФМ_p^k$				
	$\vdots$				
М-типа	$ФМ_c^1$				
	$\vdots$				
Т-типа	$ФМ_m^1$				
	$\vdots$				
	$ФМ_r^1$				
	$\vdots$				
	$ФМ_r^z$				

3. Формирование многофункциональных и специализированных конструктивных модулей различных уровней.

Для формирования многофункциональных и специализированных модулей используется метод ортогональных сечений ОФСК. Процедура формирования многофункциональных и специализированных модулей с использованием аппарата сечений рассмотрена в работе [93].

Покрываемость элементов функциональной структуры совокупностью конструктивных модулей производится на основе иерархически организованной совокупности ОФСК, соответствующей уровням декомпозиции функциональной структуры. Критерием выбора рационального уровня покрытия — уровня, на котором синтезируемая структура обладает минимальной сложностью, — является оценка сложности структуры (см. гл. 11).

4. Анализ сформированных наборов многофункциональных и специализированных модулей.

Таблица 8.2
Функциональные возможности конструктивных модулей

Реализуемые функции и их характеристики		Элементы используемого набора конструктивных модулей											
		Р-типа			С-типа			М-типа			Т-типа		
		KM_p	...	KM_q	KM_r	...	KM_s	KM_t	...	KM_u	KM_v	...	KM_w
Р	P_1												
	$\vdots$												
	P_k												
С	C_1												
	$\vdots$												
	C_l												
М	M_1												
	$\vdots$												
	M_m												
Т	T_1												
	$\vdots$												
	T_n												

На данном этапе осуществляется формирование специальных таблиц, отражающих функциональные возможности анализируемых наборов конструктивных модулей (табл. 8.2) и взаимное соответствие функций, реализуемых функциональными и конструктивными модулями (табл. 8.3). При окончательном выборе набора конструктивных модулей предпочтение отдается серийному набору КМ, функциональные возможности элементов которого наиболее адекватны модулям функциональной структуры, а также многофункциональным модулям, позволяющим минимизировать общее число модулей, используемых для формирования структуры системы.

5. Повышение степени регулярности синтезируемых структур.

Регулярность структуры как на уровне отдельных конструктивных модулей, так и на уровне структуры системы в целом повышается при замене подсистем логической, арифметической и специальной обработки информации (кодирование, декодирование, формирование кодовых последовательностей и т. д.), традиционно реализуемых комбинационными логическими схемами, на табличные и таблично-алгоритмические процессоры на основе БИС оперативной, постоянной и перепрограммируемой памяти.

Использование многофункциональных запоминающих устройств для реализации таблиц решений позволяет поднять производительность системы и воспроизвести функции нежесткой (нечеткой) логики.

Применение табличных процессоров в качестве функциональных расширителей микропроцессорных информационно-управляющих систем рассмотрено в гл. 10.

6. Формирование альтернативных вариантов покрытия и синтез базовых структур.

На этом этапе производится формирование ряда вариантов системы при покрытии трансформируемой (преобразуемой) функциональной структуры различными наборами конструктивных модулей.

Конечной целью преобразований является достижение максимального соответствия структуры на основе конструктивных модулей минимальной функциональной структуре. Так, например, если возможна реализация СОИ на базе серийной микро-ЭВМ при достаточной степени ее загрузки, то такой вариант системы будет экономически оправдан. На данном этапе осуществляется также формирование конструктивных модулей высокого уровня. Наличие альтернативных вариантов обусловлено неоднозначностью процедуры покрытия функциональной структуры системы конструктивными модулями.

7. Выбор рациональной структуры системы.

Выбор рациональной структуры системы с учетом принятой стратегии проектирования и концептуальной модели системы производится на основе всестороннего сравнения совокупности показателей качества базовых структур. При выборе окончательного варианта реализации дополнительно используется эвристическая оценка качества системы, отражающая всю совокупность требований к функциональным и конструкторско-технологическим характеристикам системы.

8. Формирование документации на систему.

Оформление документации на систему производится в соответствии с требованиями ЕСКД.

В заключение отметим, что методика формирования процессорных функциональных модулей МПС с учетом конструкторско-технологических ограничений рассмотрена в [93].

СВОЙСТВО ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЙ РАСШИРЯЕМОСТИ СИСТЕМ

На этапе организации производства системы и выпуска продукции исключительно важным является использование унифицированных технических решений, серийных изделий, ранее освоенных производством, типовых технологических процессов. Наиболее легко осваиваются в эксплуатации системы, адекватные (максимально приспособленные) к окружающей среде и пользователю. Продуманная совокупность дополнительных, сервисных функций системы, учитывающая не только потребности эксплуатации системы, но и проведение ряда мероприятий, необходимых на этапе ввода в эксплуатацию и освоения системы, существенно сокращает сроки внедрения системы.

В конечном счете следует помнить, что важно не столько сокращение времени создания системы и освоения ее в производстве, сколько сокращение всего периода рождения новой системы — от начала возникновения потребности в создании системы определенного функционального назначения до широкого практического внедрения систем, удовлетворяющих эти потребности. В силу всеобщего характера процесса развития и взаимосвязи систем, непрерывного усложнения и расширения функций, реализуемых системами при учете конечных сроков разработки, производства и освоения систем, постоянно возникает противоречие между сроками создания и сроками морального старения систем. Таким образом, как правило, большинство вновь создаваемых систем оказывается морально устаревшими к моменту ввода в эксплуатацию.

Единственным выходом создания живучих, морально неустаревающих сложных систем является их свойство функционально-структурной расширяемости. Таким образом, на этапе разработки системы должна учитываться не только предыстория развития рассматриваемого клас-

са систем, но и в реальную конструкцию системы должны закладываться возможности ее развития, совершенствования.

Тщательный анализ, исследование эволюции функций, проводимое на первой фазе эволюционного синтеза систем, позволяет не только научно прогнозировать и экстраполировать развитие определенного класса систем, но и предусмотреть расширение функциональных возможностей системы в процессе ее эксплуатации. Свойство совершенствования функционально-структурной организации системы в процессе эксплуатации является естественным для существующих и разрабатываемых рядов программно совместимых ЭВМ (ЕС ЭВМ, СМ ЭВМ). В этих системах предусмотрены не только совершенствование и развитие программного обеспечения, в соответствии с запросами пользователя, но и предусмотрена возможность организации многопроцессорных вычислительных систем, а также предусмотрена возможность подключения вновь разрабатываемого периферийного оборудования и малых ЭВМ к имеющимся магистралям ввода — вывода. Последнее положение является исключительно важным при создании функционально-ориентированных систем, при непрерывном расширении областей применения вычислительной техники.

При неучете требования функционально-структурной расширяемости системы общество несет большие потери. Достаточно вспомнить о таких системах, как линии метрополитена (существуют станции, работающие в часы пик только на подъем или на спуск), огромные кварталы новостроек, лишенные телефонной связи, транспортные пробки и отсутствие стоянок транспортных средств в городах, интенсивно развивавшихся даже в текущем столетии, с основным объемом строительства в последних десятилетиях. При современных темпах развития транспортных средств при строительстве дорог не предполагаются возможности их расширения, устанавливаются бетонные столбы и бордюры, сажаются многолетние деревья вместо того, чтобы предусматривать возможность потенциального расширения пропускной способности мостов и других дорожных сооружений. За все это человечеству приходится платить дорогой ценой!

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА

Для общения с микропроцессорными системами требуются периферийные устройства, соответствующие характеристикам систем нового типа. Большое внимание при этом уделяется разработке внешних запоминающих устройств (ВЗУ). В системе микро-ЭВМ широко применяются накопители на магнитной ленте, гибких магнитных дисках, цилиндрических магнитных доменах, а также различные типы кассетных накопителей.

К средствам управления ВЗУ относятся каналы и устройства управления. В связи с относительно высокой стоимостью каналов их число бывает обычно меньше, чем число подключаемых в вычислительную систему ВЗУ. Следовательно, каналы должны переключаться с одного устройства на другое. Для этого производится отделение электронной части устройств от механической. Электронные модули нескольких однотипных устройств заменяет общее многофункциональное устройство управления или контроллер.

Контроллер реализует совокупность функций, общих для конкретной группы ВЗУ, аналогично тому, как в канале реализуются функции, общие для периферийных устройств вычислительной системы. Эффективность реализации функций управления ВЗУ, возложенных на контроллер, определяет быстродействие входящих в СОИ устройств. Использование контроллеров ВЗУ позволяет: освободить центральный процессор (ЦП) от реализации функций управления ВЗУ; сократить затраты времени на обработку прерываний, связанных с обслуживанием запросов процессов, протекающих в системе; распараллелить работу большого числа ВЗУ и унифицировать программирование ввода — вывода.

Контроллер занимает промежуточное положение между ЦП и ВЗУ. Система управления ВЗУ в микро-ЭВМ представляет собой трехуровневую структуру. Верхним, командным уровнем (уровень 1) является ЦП, который инициирует работу контроллера (уровень 2).

Контроллер, в свою очередь, управляет всеми действиями группы ВЗУ (уровень 3).

Связь между уровнями осуществляется с помощью стандартных интерфейсов, определяемых набором управляющих, адресных и информационных шин, алгоритмами обмена информацией, временными и техническими характеристиками накопителей и ЦП. В состав контроллера ВЗУ входят программное и аппаратное обеспечение. Контроллер вырабатывает необходимые интерфейсные сигналы для ВЗУ и ЦП, анализирует поступающие от них сигналы и инициирует выполнение соответствующих действий.

Различия в функционировании, определяемые, с одной стороны, алгоритмами управления внешними накопителями и используемыми форматами записи информации, а с другой — различными требованиями со стороны ЦП, привели к появлению большого числа различных специализированных контроллеров. Эти контроллеры ориентированы на управление определенным типом ВЗУ и имеют, как правило, специфическое сопряжение с микропроцессорной системой.

В настоящее время широкое распространение получают микропроцессорные контроллеры. Применение микропроцессоров уменьшает сроки разработки и стоимость изделия за счет уменьшения общего количества микросхем и увеличивает функциональные возможности системы. Разработаны сложные БИС для управления различными типами ВЗУ, например: INTEL 8271, INTEL 8272, DF 1771 и т. д. Эти контроллеры совместимы с микропроцессорной шиной и обеспечивают подключение устройств определенного типа к микро-ЭВМ. Вследствие жесткого управления они ориентированы на определенные скорости передачи данных, способы записи и форматы.

Учитывая наличие большого числа общих функций при управлении различными типами ВЗУ, сходство алгоритмов их управления, близость временных характеристик накопителей и принципов функционирования ВЗУ, возникает задача унификации процесса управления и создания многофункционального контроллера (МФК).

На основе анализа функционирования современных ВЗУ и принципов их сопряжения с ЦП можно выделить основные аспекты многофункциональности контроллера и обеспечивающую их совокупность требований, а также соответствующие методы реализации этих требований (см. табл. 9.1).

Таблица 9.1

Принципы реализации многофункционального контроллера

Требования к контроллеру	Способы реализации требований
Адаптивность: к виду интерфейса к методу обмена к скоростям передачи данных	программируемый интерфейс адаптеры сопряжения и промежуточный интерфейс внешняя передача синхросигналов программируемая схема тактирования
Управление различными типами ВЗУ	Программный анализ сигналов состояния накопителя и выработка управляющих сигналов, многофункциональные схемы кодирования информации
Распределенная обработка данных	использование буферов для промежуточного хранения данных, использование памяти для программ обработки, наличие шин для подключения внешнего оборудования
Расширение функциональных возможностей за счет наращиваемости аппаратных средств Простота программирования	наличие собственной шины, проблемно-ориентированная система команд микропрограммируемость контроллера, проблемно-ориентированная система команд
Низкая стоимость	многофункциональное использование аппаратных средств, высокая серийность, использование минимального числа типов интегральных схем

ПОСТРОЕНИЕ ДЕРЕВА ФУНКЦИЙ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА

Операции, реализуемые контроллером ВЗУ, можно условно разделить на две группы: основные операции, обеспечивающие расширение функциональных возможностей. Операции первой группы определяют необходимые условия, обеспечивающие работоспособность контроллера. Операции второй группы определяются требованиями технического задания, направленными на дополнительную разгрузку ЦП, т. е. отражают представления заказ-

чика о достаточном наборе функций контроллера. Исходя из многоуровневой организации системы, в которой функционирует контроллер, весь реализуемый набор функций контроллера разделяется на три группы: функции сопряжения с ЦП, функции обработки информации в контроллере, функции сопряжения с ВЗУ.

Приняв выделенные функции в качестве базовых, можно произвести их декомпозицию.

I уровень

F^0 — управление ВЗУ

II уровень

F^0 : $\begin{cases} F_1^1 & \text{— организация сопряжения с ЦП,} \\ F_2^1 & \text{— промежуточная обработка информации,} \\ F_3^1 & \text{— организация сопряжения с ВЗУ.} \end{cases}$

III уровень

F^1 : $\begin{cases} F_1^1 & \text{— обмен параллельной информацией,} \\ F_2^1 & \text{— формирование и хранение слова состояния канала (ССК),} \\ F_3^1 & \text{— управление обменом.} \end{cases}$
 F^2 : $\begin{cases} F_1^2 & \text{— хранение параллельной информации,} \\ F_2^2 & \text{— обработка принимаемой информации.} \end{cases}$
 F^3 : $\begin{cases} F_1^3 & \text{— управление приводом,} \\ F_2^3 & \text{— обработка последовательной информации.} \end{cases}$

IV уровень

F_1^1 : $\begin{cases} F_{1,1}^1 & \text{— прием параллельной информации из ЦП,} \\ F_{1,2}^1 & \text{— передача параллельной информации в ЦП,} \\ F_{1,3}^1 & \text{— хранение (кратковременное) передаваемой информации.} \end{cases}$
 F_2^1 : $\begin{cases} F_{2,1}^1 & \text{— прием ССК,} \\ F_{2,2}^1 & \text{— передача ССК,} \end{cases}$
 F_3^1 : $\begin{cases} F_{3,1}^1 & \text{— анализ поступающих сигналов,} \\ F_{3,2}^1 & \text{— выдача управляющих сигналов.} \end{cases}$
 F_1^2 : $\begin{cases} F_{1,1}^2 & \text{— прием передаваемых данных,} \\ F_{1,2}^2 & \text{— хранение передаваемых данных,} \\ F_{1,3}^2 & \text{— прием служебной информации,} \\ F_{1,4}^2 & \text{— хранение служебной информации.} \end{cases}$
 F_2^2 : $\begin{cases} F_{2,1}^2 & \text{— анализ слова состояния ВЗУ,} \\ F_{2,2}^2 & \text{— формирование управляющего слова ВЗУ,} \\ F_{2,3}^2 & \text{— анализ информации, передаваемой из ВЗУ.} \end{cases}$
 F_3^2 : $\begin{cases} F_{3,1}^2 & \text{— передача управляющего слова в ВЗУ,} \\ F_{3,2}^2 & \text{— прием слова состояния ВЗУ.} \end{cases}$
 F_1^3 : $\begin{cases} F_{1,1}^3 & \text{— кодирование информации,} \\ F_{1,2}^3 & \text{— декодирование информации,} \\ F_{1,3}^3 & \text{— формирование циклического кода контроля (ЦКК),} \\ F_{1,4}^3 & \text{— опознавание маркеров,} \\ F_{1,5}^3 & \text{— параллельно-последовательные преобразования информации.} \end{cases}$
 F_2^3 : $\begin{cases} F_{2,1}^3 & \text{— формирование сигнала сдвига,} \\ F_{2,2}^3 & \text{— формирование маркеров.} \end{cases}$

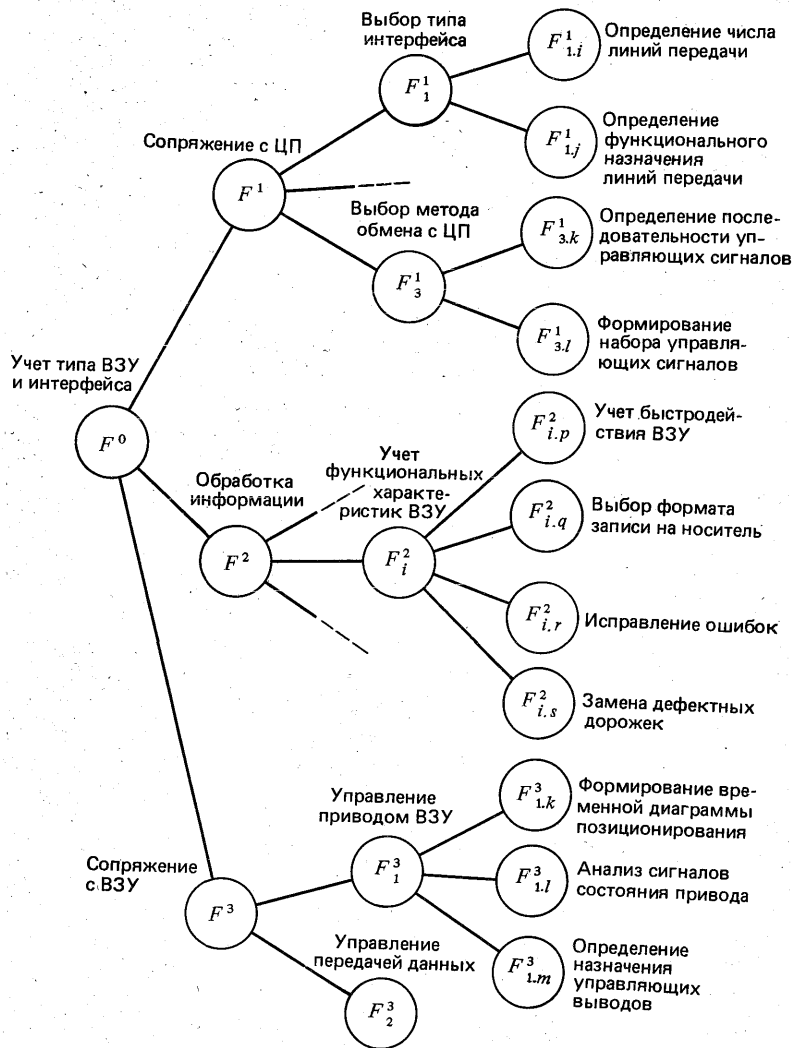


Рис. 9.1. Структурная схема алгоритма работы multifункционального контроллера

С целью упрощения анализа на следующих уровнях приводится декомпозиция только одной функции $F_{2,1}^3$ — кодирование информации.

V уровень

$F_{2,1}^3$ { $F_{2,1,1}^3$ — последовательно-параллельные преобразования, $F_{2,1,2}^3$ — формирование потока данных и управляющих сигналов,

VI уровень

$F_{2,1,1}^3$ { $F_{2,1,1,1}^3$ — прием слова данных, $F_{2,1,1,2}^3$ — сдвиг вправо, $F_{2,1,1,3}^3$ — счет битов, $F_{2,1,1,4}^3$ — формирование сигнала запроса данных. $F_{2,1,2}^3$ { $F_{2,1,2,1}^3$ — проверка разрешения записи, $F_{2,1,2,2}^3$ — анализ битовой информации, $F_{2,1,2,3}^3$ — проверка наличия факта, $F_{2,1,2,4}^3$ — выдача импульсов записи. $F_{2,1,3}^3$ { $F_{2,1,3,1}^3$ — проверка комбинации битов, $F_{2,1,3,2}^3$ — проверка разрешения сдвига, $F_{2,1,3,3}^3$ — сдвиг импульса. $F_{2,1,4}^3$ { $F_{2,1,4,1}^3$ — определение типа маркера, $F_{2,1,4,2}^3$ — проверка записи маркера, $F_{2,1,4,3}^3$ — исключение импульса синхросигнала.

Для упрощения проводимого анализа на рис. 9.1 представлена структурированная схема алгоритма управления ВЗУ, отражающая последовательность выполнения основных функций, независимо от типа используемого ВЗУ. Для конкретного типа ВЗУ каждой из перечисленных функций соответствует вполне определенный алгоритм функционирования.

ОБОБЩЕННАЯ ОПЕРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЛЕРА

Начальный этап проектирования multifункционального контроллера связан с анализом ТЗ, уточнением исходных данных и определением в соответствии с общесистемными требованиями и назначением системы ряда характеристик контроллера (рис. 9.2).

Взяв за основу сформированное дерево функций можно построить обобщенную операторную модель multifункционального контроллера. На рис. 9.3 приведена обобщенная операторная модель с учетом проведенной декомпозиции базовых функций и выделением типовых функциональных операторов $\langle P, C, M, T \rangle$ -типов.

На операторной модели с учетом выполненной декомпозиции выделены функциональные модули высокого уровня:



Рис. 9.2. Комплекс задач, решаемых на начальном этапе проектирования

ΦM_1 — модуль сопряжения с ЦП; ΦM_2 — модуль реализации операций над последовательными данными; ΦM_3 — модуль сопряжения с ВЗУ. Построение операторной модели производится с учетом следующих характеристик: передачи T_i , обработки P_i и хранения M_i данных D , $D_{3п}$ — данных записи, D_B — данных воспроизведения, D_K — данных команд, $D_{си}$ — служебной информации. Кроме того, отражены: $\omega_i (i=1 \div 3)$ — логические условия протекания информационных процессов, $MK_j (j=1 \div 3)$ — микрокоманды, микрооперации, а также управляющие сигналы интерфейса УСИ и сигналы управления накопителем СУН.

Операторная модель используется для формирования структуры системы на основе функциональных модулей. С целью синтеза базовых структур строятся и анализируются временные диаграммы активностей на уровне базовой операторной модели.

С учетом проведенного анализа функций контроллера в функциональной структуре контроллера могут быть выделены следующие блоки: блок сопряжения с ЦП (БС); байтовый процессор (БП) с блоком буферной памяти (ББП); блок сопряжения с ВЗУ, состоящий из битового процессора (БтП) и, возможно, контроллера прямого доступа (КПД).

Временные диаграммы активностей отражают возможность временного согласования основных функциональных блоков контроллера с учетом протекания внутрисистемных процессов.

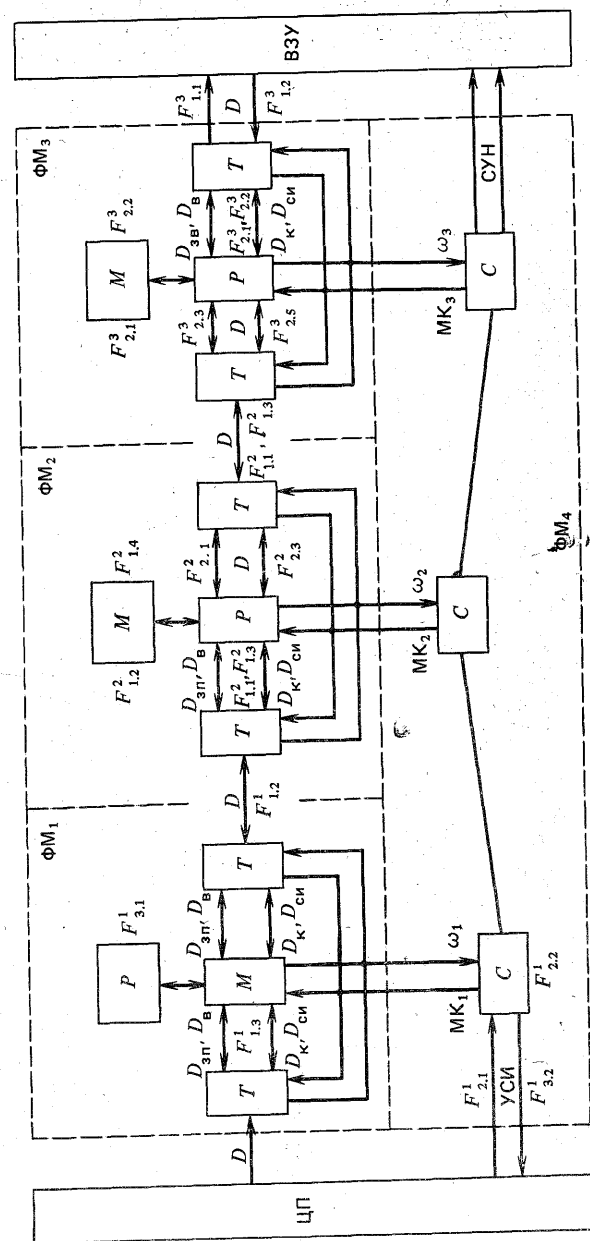


Рис. 9.3. Обобщенная операторная модель многофункционального контроллера

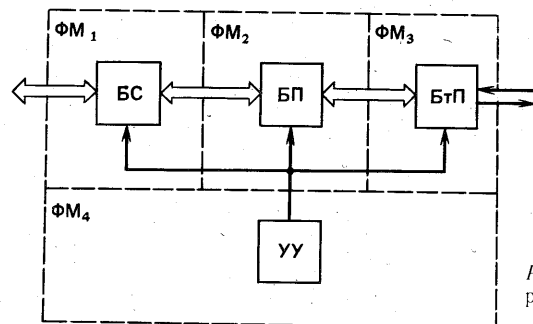


Рис. 9.4. Первый вариант структуры контроллера

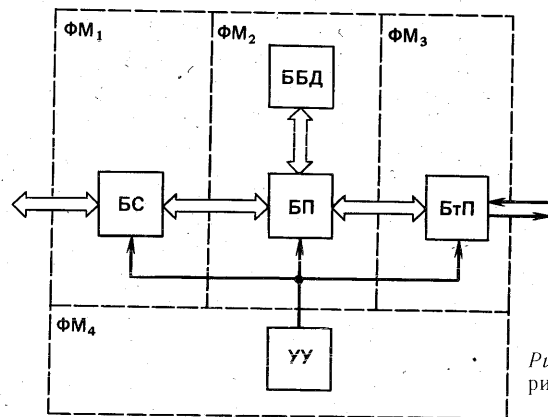


Рис. 9.5. Второй вариант структуры контроллера

При подключении ВЗУ в вычислительную систему контроллер реализует две группы операций: операции над данными и операции по управлению приводом. В контроллере выполняются следующие процессы над данными: синхронная передача последовательных данных между ВЗУ и контроллером; обработка параллельных данных; передача слов данных между контроллером и ЦП.

ФОРМИРОВАНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БАЗОВЫХ СТРУКТУР МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА

Анализ обобщенной операторной модели указывает на различные соотношения между процессами обработки и передачи данных. Одной из основных задач контроллера является временное согласование этих процессов. Каждый

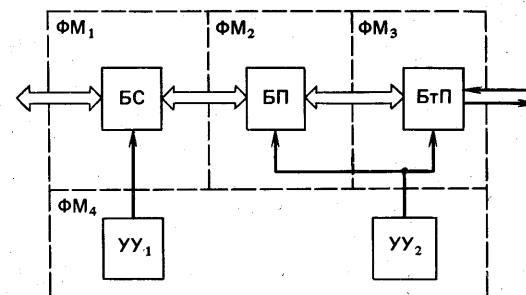


Рис. 9.6. Третий вариант структуры контроллера

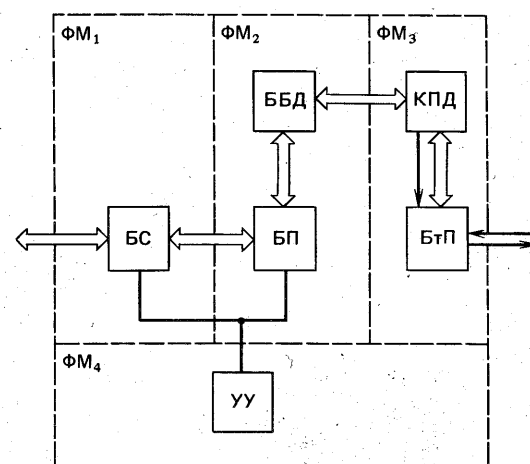


Рис. 9.7. Четвертый вариант структуры контроллера

блок обобщенной структуры характеризуется временем выполнения процесса: байтовый процессор (БП) — временем обработки слова данных $t_{обр}$, битовый процессор (БтП) — временем формирования слова $t_{сл}$, блок сопряжения (БС) — временем передачи слова данных $t_{обм}$.

В зависимости от временных соотношений между процессами могут быть предложены различные варианты базовых структур с учетом проведенного ранее анализа (рис. 9.4—9.7).

Одна из предлагаемых структур соответствует случаю, когда устройство управления (УУ) обладает достаточным быстродействием для обработки и передачи слова данных без промежуточного хранения:

$$t_{\text{сл}} \geq t_{\text{обр}} + t_{\text{обм.}}$$

Если УУ не успевает управлять обработкой и передачей данных в период формирования одного слова:

$$t_{\text{сл}} < t_{\text{обр}} + t_{\text{обм.}}$$

то возможны два варианта структур. В первом случае в структуру включается буфер блока данных (ББД). Этот вариант целесообразно применять, если над данными необходимо выполнить большой объем операций их преобразования. Если время обработки и время передачи в ЦП меньше времени формирования слова:

$$t_{\text{обр}} < t_{\text{сл}}; t_{\text{обм}} < t_{\text{сл}},$$

то есть возможность увеличить быстродействие путем включения устройства управления (УУ) интерфейсом. В таком случае все три уровня работают параллельно.

Последняя из предлагаемых структур соответствует случаю, когда УУ не успевает управлять передачей слов данных в ЦП или буфер: $t_{\text{обр}} \gg t_{\text{сл}}$. Для обеспечения требуемой пропускной способности необходимо включить контроллер прямого доступа. В этом варианте увеличиваются аппаратные затраты и время передачи блока данных.

В рассматриваемых структурах не учитываются функции контроллера управления приводом накопителя и обработки управляющих сигналов связи с ЦП. Для реализации функций управления необходимо анализировать поступающие в контроллер управляющие сигналы процессорного интерфейса и сигналы состояния накопителя. В зависимости от того, где анализируются и обрабатываются эти данные, возможны два варианта структур. В первом случае эти сигналы обрабатываются на командном уровне, во втором — эти сигналы анализируются и выполняются на микрокомандном уровне в УУ, что позволяет существенно увеличить быстродействие системы. Выбор той или иной структуры зависит от требований по быстродействию и аппаратным затратам, от элементной базы и от функциональной нагрузки контроллера.

Рассмотренные базовые структуры отражают разнообразие возможных вариантов построения контроллера. Применение микропроцессорных комплектов БИС в качестве элементной базы позволяет сократить сроки разработки и расширить функциональные возможности контроллера. Основной задачей проектирования при этом является разработка битового процессора и соответствующего

математического обеспечения. Большие функциональные возможности микропроцессорных комплектов БИС позволяют передать контроллеру ряд дополнительных функций и таким образом существенно разгрузить ЦП.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ КОМПЛЕКТЫ

Типовой микропроцессорный комплект (МПК) представляет функционально полный набор БИС, выполненный, как правило, по единой технологии и предназначенный для построения вычислительных и управляющих устройств и систем различного функционального назначения на их основе.

В состав МПК обычно входят БИС: МП, микропрограммного управления, обмена информацией, оперативной, постоянной и полупостоянной памяти. Помимо перечисленных БИС базового комплекта, в некоторых МПК предусмотрены дополнительные БИС, ускоряющие процесс обработки информации и повышающие эффективность организации микро-ЭВМ. В дополнительный комплект могут входить БИС ускоренного переноса, БИС арифметического расширителя, БИС приоритетных прерываний, БИС прямого доступа к памяти, БИС управления внешним оборудованием, БИС двунаправленных шинных формирователей и т. д. Кроме аппаратных средств для МПК разрабатывается комплекс средств программного обеспечения и отладочных аппаратных и программных средств.

В развитии отечественной микропроцессорной техники могут быть выделены следующие основные направления: воспроизведение и развитие лучших зарубежных образцов, создание оригинальных отечественных МПК БИС, разработка единой системы микропроцессоров (ЕС МП). Наша промышленность освоила все современные технологические процессы производства БИС. Быстродействие серийных МПК БИС для различных технологий составляет: p -МОП — 50 тыс. оп/с, n -МОП — 700 тыс. оп/с, КМОП — 400 тыс. оп/с, И²Л — 1 млн. оп/с, ТТЛ — 2 млн. оп/с, ЭСЛ — 5 млн. оп/с (быстродействие указано для операций типа регистр — регистр). Основные характеристики отечественных МПК БИС приведены в табл. 9.2 [93]. В таблице указаны характеристики МПК на основе однокристалльных и микропрограммируемых МП. Символ в гра-

Таблица 9.2

Тип МПК	Тип схемы или число БИС в МПК	Функциональные назначения схемы	Технология	Разрядность, бит	Баст-родей-ствие, мкс	Потреб-ляемая мощ-ность, Вт	Число команд (мик-ро-команд)	Напряже-ние пита-ния, В	Число регист-ров, ариф-метиче-ских (включ-ных) РОН	Температур-ный диа-пазон °С	Тип корпуса, число выводов
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K536	14 БИС	Различное	p-МОП	8	10,0	1,0	149	-24; +1,5	—	-10 ... +50	413.48-1
K580	K580ИК80	Микропроцессор	n-МОП	8	2,0	0,8	78	+5; +12; -5	1(0)6	-10 ... +70	244.48-1
	K580ИК51	Последовательный периферийный адаптер	n-МОП	8	—	—	—	+5	—	-10 ... +70	244.48-1
	K580ИК55	Параллельный периферийный адаптер	n-МОП	8	—	—	—	+5	—	10 ... +70	244.48-1
	K580ИК57	Канал прямого доступа в память	n-МОП	8	—	—	—	+5	—	-10 ... +70	—
	K580ИК22	Контроллер-регенератор для динамических ЗУ емкостью 4К импульсов	p-МОП	—	—	—	—	—	—	—	—
	K580ИК24	Генератор тактовых импульсов	n-МОП	—	0,5	—	—	+5; +12	—	—	—
K580	K580ИК53	Интервальный таймер	n-МОП	16n	—	—	—	+5	3	-10 ... +70	—
K581	K580ИК59	Контроллер обработки АЛУ	n-МОП	8	—	—	—	+5	—	-10 ... +70	—
	K581ИК1		n-МОП	16	1,6	0,9	—	+5; +12; -5	0(0)26	-10 ... +55	244.48-8

Продолжение табл. 9.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	K581ИК2	Устройство управления	n-МОП	—	—	—	—	—	—	-10 ... +55	244.48-8
	K581РУ1	Микропрограммное ЗУ	n-МОП	12	—	0,16	512	+5; +12; -5	—	-10 ... +55	244.48-8
K582	K581РУ2	То же	n-МОП	4	1,5	0,2	—	—	0(1)10	-10 ... +85	244.48-1
	K581К1	Процессорный элемент	И ² Л	8n	1,0	0,3	—	1,2	—	—	244.48-8
K583	13 БИС	Различное	И ² Л	4n	1,0	0,13	512	1,2	α(1)10	-10 ... +70	244.48-8
K584	K584ВУ1	Центральный процессорный элемент	И ² Л	16/10	0,5	—	—	1,2	—	—	244.48-8
	K584УМ1	Блок микропрограм-много управления	И ² Л	16	0,5	—	—	1,2	—	—	244.48-8
	K584УМ2	Контроллер состояния	И ² Л	8	0,1	—	—	—	—	—	244.48-8
	K584КП1	Магистральный при-емопередатчик	И ² Л	16	0,5	1,0	—	+5	—	—	244.48
K586	9 БИС	Различное	n-МОП	4n	2,0	0,01	168	9	1(1)8	-60 ... +85	429.42-1
K587	K587ИК2	АЛУ	КМОП	—	1,5	0,01	—	9	—	-60 ... +85	429.42-1
	K587РП1	Управляющая память	КМОП	8	1,5	0,01	60	9	—	-60 ... +85	429.42-1
	K587ИК1	Устройство обмена информацией	КМОП	8	2,0	0,01	64	9	—	-60 ... +85	429.42-1
	K587ИК3	Арифметический расширитель	КМОП	1	2,5	—	—	3-15	—	—	402.16-11
	564РУ24	Оперативное ЗУ на 256 бит	КМОП	1	3,5	—	—	3-15	—	—	402.16-11
	564РУ2Б	Оперативное ЗУ на 256 бит	КМОП	1	3,5	—	—	3-15	—	—	402.16-11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	K530АП2	Двухнаправленный усилитель-формирователь	ТТЛДШ 4		0,03	—	—	—	—	—60... + 120	402.16-16
K588	K588K2	АЛУ	КМОП 16n		2,0	0,005	96	5	1(0)16	—60 ... + 85	429.42-1
	K588ИК1	Управляющая память	КМОП	—	2,0	0,005	—	5	—	—10 ... + 70	429.42-1
	K589ИК01	Микропрограммное управление	ТТЛДШ	—	0,02	0,4	—	5	—	—10 ... + 70	230.40-1
K589	K589ИК02	Центральный процессорный элемент переноса	ТТЛДШ 2n	2n	0,15	0,85	—	5	1(0)11	—10 ... + 70	247.28-2
	K589ИК03	Схема ускоренного переноса	ТТЛДШ 8	8	0,02	0,4	—	5	—	—10 ... + 70	247.28-2
	K589ИР12	Буферный регистр	ТТЛДШ	—	0,08	0,45	—	5	—	—10 ... + 70	239.24-2
	K589ИК14	Схема приоритетного прерывания	ТТЛДШ	—	0,08	0,45	—	5	—	—10 ... + 70	239.24-2
	K589АП16	Шинный формирователь	ТТЛДШ 4	4	0,02	0,45	—	5	—	—10 ... + 70	238.16-2
	K589АП26	Шинный формирователь с инверсией	ТТЛДШ 4	4	0,02	0,45	—	5	—	—10 ... + 70	238.16-2
	K589ХЛ4	Пересчетное устройство	ТТЛДШ 4	4	0,02	0,45	—	5	—	—10 ... + 70	238.16-2
K1800	K589РЕ4	Микропрограммное ЗУ на 1024 бита	ТТЛДШ 4	4	0,04	0,5	—	5	—	—	238.16-2
	K1800ВС1	4 БИС	ЭСЛ	2n	0,04	1,4	—	—5,2 ÷ —2	—	—	48
	У1801	3 БИС	n-МОП	16	0,13	—	—	+5	—	—	42
K1802	K1802ВС1	6 БИС	ТТЛДШ	8n	0,13	1,0	—	+5	—	—60 ... + 125	42
K1804	K1804ВС1	6 БИС	ТТЛДШ	4n	0,13	1,0	—	+5	—	—60 ... + 125	40

фе «разрядность» показывает возможность кратного наращивания разрядности для микропрограммируемых МП ($n=1, 2, 3, \dots$).

МПК серий K580, K582 и K586, содержащие однокристалльные МП, наиболее эффективно применяются при построении устройств цифровой автоматики и простейших контроллеров, но могут быть использованы и для построения микро- и мини-ЭВМ различного назначения.

МПК серий K536, K581, K583, K584, K587, K588 и K589 предназначены в первую очередь для построения микро-ЭВМ и сложных контроллеров, но могут быть с успехом применены и для построения средств цифровой автоматики. Благодаря секционной организации, применению микропрограммирования, магистральности связей они обеспечивают возможность построения различных вычислительных и управляющих систем. На основе комплектов K536 и K581 выполнены микро-ЭВМ серий «Электроника-С5» и «Электроника-60» соответственно. Серии МПК K587 и K588 предназначены для построения ряда совместимых микро-ЭВМ «Электроника-НЦ». Эти серии отличаются от всех других серий низкой потребляемой мощностью, высокой помехоустойчивостью, что делает перспективным их применение в микро-ЭВМ и контроллерах для систем управления технологическими процессами, в различных агрегатах и объектах с коммутацией сильных токов. Быстродействующий МПК типа K589 предназначен для построения микро-ЭВМ и систем быстродействующей автоматики. Этот комплект широко используется при разработке технических средств отечественных управляющих микро-ЭВМ серии СМ ЭВМ.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРИЕНТАЦИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

Многофункциональность определяется совокупностью функций, реализуемых системой. Для определения степени многофункциональности системы необходимо, с одной стороны, зафиксировать уровни ее элементов, а с другой — определить набор функций, выполняемых элементами каждого уровня. Понятие функция при этом может быть употреблено как в смысле назначения элемента, так и в смысле реализуемой им математической или логической зависимости.

Многофункциональность элементов позволяет на основе универсального оборудования создавать специализи-

рованные системы. Анализ развития функциональных и конструктивных модулей систем позволяет выявить тенденцию отображения функциональных модулей более высокого уровня на конструктивные модули нижних уровней системы. Аналогичный анализ, выполненный на уровне элементов БИС, позволил выявить закономерность реализации компонентами БИС все более сложных функций.

Возможность аппаратно-программной реализации функций привела к созданию большого класса многофункциональных модулей, объединенных в МПК БИС. Большинство разработанных и проектируемых вычислительных и управляющих модулей являются устройствами в определенном смысле многофункциональными. Многофункциональность позволяет: сократить число типов модулей, унифицировать схемотехнические, технологические, структурные и алгоритмические решения, увеличить серийность и, следовательно, снизить стоимость устройств.

Необходимо отметить, что единство универсальности и специализации проявляется в специализации элементов систем многоцелевого назначения для достижения необходимого функционального эффекта при допустимых материальных, энергетических и временных затратах. Таким образом, многофункциональность более высокого уровня системы обеспечивается специализацией нижних уровней.

Универсальность следует понимать как свойство объекта реализовать полную совокупность функций определенного класса. В определенном смысле универсальность следует рассматривать как предельный случай многофункциональности. Очевидно, что при решении конкретных задач, определяемых функциональным назначением системы, эффективность использования универсальных средств оказывается ниже, чем многофункциональных и специализированных.

Отображение алгоритмов на базовые структуры на основе многофункциональных и специализированных модулей. Успехи интегральной технологии, создание наборов многофункциональных (алгоритмических универсальных) МПК БИС, переход к функционально-программному методу проектирования привели к дальнейшему развитию принципа отображения реализуемых алгоритмов на множество многофункциональных и специализированных модулей путем интерпретации алгоритма в терминах команд и микрокоманд этих модулей. Данный принцип находит самое широкое применение при проекти-

ровании систем на базе МП и проявляется в тенденции введения в состав МПК функционально-ориентированных модулей для эффективной проблемной ориентации комплектов. Он также предполагает разработку базовых, наиболее общих и устойчивых структур ЭВМ, что способствует типизации структурных решений при проектировании ЭВМ, реализует идею унификации модулей. Принцип обеспечивает наращиваемость, совершенствование систем на базе основной модели.

Развитие ЭВМ идет в направлении их проблемной ориентации. Это означает, что в разрабатываемых системах реализуется компромиссное решение вопроса о соотношении универсальности и специализации путем разработки средств, предназначенных для эффективного решения задач достаточно широкого класса. Примерами таких средств являются системы централизованного контроля и управления, системы числового программного управления технологическим оборудованием, системы управления подвижными объектами, системы связи и др.

Функциональная ориентация как составная часть проблемной ориентации есть специализация систем для эффективного выполнения одной или нескольких достаточно специфических и автономных функций определенного класса. В качестве примеров функциональной ориентации можно указать модули (БИС) для выполнения операций ускоренного переноса, быстрого умножения, преобразования матриц, вычисления элементарных функций, преобразования кодов и т. д.

Осуществление проблемной и функциональной ориентации систем предполагает на начальных этапах проектирования проведение анализа классов задач с целью выделения особенностей их решения, а также функций и требований к их реализации и последующее распределение этих функций между многофункциональными (проблемно-ориентированными) и специализированными (функционально-ориентированными) модулями. Проблемная ориентация — одно из средств повышения технико-экономической эффективности систем.

Отмеченные принципы проектирования ЭВМ на основе БИС получили развитие благодаря совершенствованию интегральной технологии. Одна из перспективных архитектурных организаций СОИ состоит в объединении микромашин, многофункциональных и специализированных модулей, оперативной, постоянной памяти в системы конвейерного типа, аналогичные аналоговым комплексам.

При такой архитектуре специализированные модули могут выполнять как относительно простые операции и макрооперации (например, умножение, вычисление элементарных и тригонометрических функций), так и более сложные (например, матричные, векторные).

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

Разработка и создание цифровых систем различного назначения на современной технологической базе предполагает анализ всех возможных способов реализации этих систем. Так, комбинационные схемы могут быть выполнены на основе стандартных логических схем, ПЗУ или ПЛМ. Последовательностные системы могут быть спроектированы на основе заказных БИС («классические» методы проектирования) или на основе ПЗУ, работающего как автомат, реализующий алгоритм управления. Наконец, алгоритм управления можно реализовать с помощью микро-ЭВМ. Основанием для выбора способа реализации являются часто экономические факторы.

Микропроцессоры и микро-ЭВМ появились как устройства с программируемой логикой. Основная сфера их применения — замена жесткой логики. Однако в ряде случаев положительные результаты были получены и при замене мини-ЭВМ. Рассмотрим эти два основных применения. Как правило, замена мини-ЭВМ устройствами на основе микро-ЭВМ является нецелесообразной. Это объясняется тремя причинами: микро-ЭВМ не имеют хорошего периферийного интерфейса, микро-ЭВМ имеют ограниченный комплект программного обеспечения, использование микро-ЭВМ требует программирования (как правило) в кодах или на языках ассемблера, индивидуальных для каждой микро-ЭВМ.

Следует также отметить, что экономия аппаратурных затрат относится только к процессору, поскольку память и вся периферийная часть, стоимость которых больше половины общей стоимости системы, используются практически в том же наборе и для мини-ЭВМ и для микро-ЭВМ. Относительно небольшой выигрыш по стоимости при переходе к микро-ЭВМ может дать существенную экономию при большом объеме выпуска этих ЭВМ. Другой положительный эффект — повышение надежности вследствие уменьшения числа компонентов и соединений.

Таким образом, микро-ЭВМ экономически целесообразно использовать вместо мини-ЭВМ, если экономия от уменьшения аппаратурных затрат компенсирует дополнительные затраты на разработку системы.

При замене жесткой логики в пользу микро-ЭВМ приводятся следующие доводы: уменьшение времени разработки и ее стоимости; снижение стоимости устройства.

Анализ показывает, что в современных СОИ, использующих микросхемы различной степени интеграции, стоимость схем малой степени интеграции — 15—30% от общей стоимости системы. Поэтому попытки добиться существенной экономии за счет, например, увеличения объема выпуска устройств дадут незначительный эффект. Следует также отметить, что стоимость установки на печатной плате интегральных микросхем различной степени интеграции примерно одинакова.

Таким образом, при переходе на БИС экономия может быть получена в основном за счет уменьшения приведенной стоимости одного вентиля. Для БИС, содержащих 800—1000 вентиляй, приведенная стоимость одного вентиля уменьшается в 20—50 раз по сравнению со схемами малой степени интеграции. Наибольшая эффективность получается при применении БИС с регулярной структурой типа ПЗУ.

Принято считать, что один вентиль заменяется 8—16 битами ПЗУ, т. е. одно ПЗУ емкостью 1К заменяет 64—128 схем малой интеграции и примерно одну заказную БИС. Следует отметить, что ПЗУ является не специальной, заказной БИС, а серийной БИС, выпускаемой большим тиражом. При известной стоимости одного бита ПЗУ и принятом условии, что один эквивалентный вентиль заменяется 12 битами ПЗУ, легко вычисляется стоимость вентиля при использовании в качестве комбинационной схемы БИС ПЗУ.

Таким образом, можно оценить целесообразность использования ПЗУ вместо устройств жесткой логики на ИС конкретной системы элементов. Наконец, третий способ реализации последовательностной системы — на основе микропроцессорного комплекта БИС. Обычно МП заменяет примерно 30% ИС типовой системы с жесткой логикой, а управляющая память — 40—50%. Оставшиеся 20—30% ИС, выполняющих функции интерфейса в микро-ЭВМ, либо частично покрываются БИС ввода-вывода (интерфейсные адаптеры), либо реализуются также на схемах малой и средней степени интеграции. Считается,

что 60—80% ИС устройств с жесткой логикой заменяются МП и ПЗУ.

Для определения экономической целесообразности замены устройств с жесткой логикой микро-ЭВМ на стадии проектирования рассмотрим два взаимосвязанных фактора — время разработки и стоимость.

При построении расчетной модели используются следующие данные:
 Q — коэффициент программной эффективности МП, равный числу команд МП, необходимых для реализации функций, выполняемых «средней» ИС;

для МП I поколения $Q = 30—50$ команд на ИС;

для МП II поколения $Q = 10—50$ команд на ИС;

для МП III поколения $Q = 5—10$ команд на ИС;

S_1 — производительность программиста (число команд, составляемых в единицу времени, например, в день); обычно $S_1 = 15—20$ команд в день;

S_2 — производительность инженера при разработке устройств жесткой логики на основе ИС; обычно $S_2 = 1,5—2$ ИС в день.

Предположим, что в устройстве с жесткой логикой содержится M ИС, а при микропроцессорной реализации этой же системы N ИС заменяется L элементами микропроцессорного комплекта. Допустим также, что производительность инженера при разработке этих L схем равна S_3 ИС в день. Определим времена разработки аппаратных и программных средств:

M/S_2 — время разработки устройства с жесткой логикой;

$(M-N)/S_2$ — время разработки части микро-ЭВМ, выполненной на обычных ИС;

QN/S_1 — время разработки программ микро-ЭВМ;

L/S_3 — время разработки микропроцессорной части микро-ЭВМ.

Сокращение времени проектирования при разработке МПС:

$$\Delta T = N/S_2 - QN/S_1 - L/S_3.$$

Выигрыш по времени разработки при микропроцессорной реализации системы достигается при условии:

$$N/S_2 > QN/S_1 + L/S_3.$$

Так как $L/S_3 \ll QN/S_1$, то выигрыш во времени имеет место при $N/S_2 > QN/S_1$ или $Q/S_1 < 1/S_2$.

Соотношение показывает, что независимо от стоимости устройств с жесткой логикой, основным путем сокращения времени проектирования является уменьшение отношения Q/S_1 .

Так как усложнение системы команд (т. е. уменьшение Q) обычно приводит к уменьшению S_1 , то можно сделать вывод об основном пути сокращения времени проектирования — представлении в пользовании программисту вспомогательных средств, позволяющих при уменьшении Q сдерживать уменьшение S_1 . Например, хорошие кросс-ассемблеры и другие развитые аппаратно-программные средства, автоматизирующие разработку программного обеспечения МПС.

Для определения стоимости разработки системы учтем:

Z_1 — заработная плата программиста в расчете на день;

Z_2 — заработная плата разработчика аппаратной части системы в расчете на день.

Тогда стоимость проектирования микро-ЭВМ:

$$R_1 = \frac{QNZ_1}{S_1} + \frac{(M-N)Z_2}{S_2} + \frac{LZ_2}{S_3}.$$

а стоимость проектирования устройства с жесткой логикой:

$$R_2 = MZ_2/S_2.$$

Разница в затратах на проектирование микро-ЭВМ и устройства с жесткой логикой:

$$\Delta R = R_1 - R_2 = QNZ_1/S_1 + LZ_2/S_2 - NZ_2/S_2.$$

Экономия будет иметь место при

$$QNZ_1/S_1 + LZ_2/S_3 < NZ_2/S_2.$$

Затраты на этапе проектирования должны быть приведены к единице продукции и просуммированы со стоимостью аппаратной части системы. Полученная сумма и даст стоимость единицы продукции. При этом следует помнить, что величина S_1 (производительность программиста) связана с наличием или отсутствием вспомогательных средств, стоимость которых необходимо также учитывать.

Глава 10.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

РАЗВИТИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЕГУЛЯРНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Развитие интегральной технологии обусловило, с одной стороны, создание новых поколений средств вычислительной техники, улучшение их характеристик, внедрение вычислительных средств в ряд новых областей, а с другой — усложнило процесс проектирования вычислительных и управляющих средств на базе БИС. При этом на первый план выдвигаются вопросы определения функционального состава БИС, их применяемости, а также проблемы «тирании типажа и соединений». Одним из важнейших требований при проектировании БИС и систем на их основе становится учет возможностей и ограничений технологии на самых ранних этапах проектирования. Примером частичного преодоления указанных проблем являются разработка и применение в качестве элементной базы микропроцессорных комплектов БИС, причем эво-

люция микропроцессоров происходит в двух взаимосвязанных направлениях: разработка алгоритмически универсальных комплектов БИС широкого применения и создание проблемно- и функционально-ориентированных микропроцессорных модулей в целях замены или дополнения универсальных средств для повышения эффективности реализации требуемых функций. При проектировании таких модулей и реализации их в виде БИС особое значение приобретают вопросы минимизации числа типов БИС, разработки базовых структур модулей и процессоров с учетом возможностей и ограничений интегральной технологии.

В настоящее время сформировались главные принципы проектирования систем на основе БИС: модульность, программируемость (микропрограммируемость), магистральность, регулярность, многофункциональность, принципы базовых структур и процессорной организации средств на различных уровнях и др.

Очень важным является вопрос совместимости БИС микропроцессорного устройства семейства с серийно выпускаемыми интегральными схемами различных степеней интеграции и функционального назначения.

Как всегда, актуальными являются также экономические аспекты: минимизация времени проектирования и создания системы, минимизация стоимости БИС и систем на их основе. При этом комплексно также должны решаться вопросы контроля работоспособности отдельных модулей и системы в целом как в процессе изготовления, так и в процессе эксплуатации. Удовлетворить эти разнообразные, часто противоречивые требования — очень трудная задача. Исключительно важен выбор правильной стратегии проектирования. Одна из возможных стратегий — создание систем на основе минимального числа типов достаточно простых многофункциональных модулей (МФМ). Причем структура модулей и связей между ними должна быть предельно простой — регулярной.

В СССР в начале 70-х годов разработано новое научное направление «Многофункциональные регулярные вычислительные структуры (МРВС)». Это направление тесно связано с одним из ведущих отечественных направлений в области вычислительной техники «Однородные вычислительные системы и среды», которое базируется на модели коллектива вычислителей, разработанной в 1962 г. Э. В. Евреиновым [71, 83, 84]. Имея общую

цель — построение систем переработки и хранения информации повышенной надежности и эффективности благодаря однородности их структуры, МРВС отличаются функциональной законченностью модулей различного уровня и реализуемостью последних методами современной интегральной технологии. В основе построения МРВС лежат два принципа: принцип многофункциональности и принцип регулярности [94, 95].

Многофункциональность определяется возможностью реализации неединичного набора функций. С этой точки зрения многофункциональные структуры занимают промежуточное положение по своим функциональным возможностям между специализированными и универсальными.

Регулярность структуры определяется повторяемостью ее элементов и связей. Регулярная структура — это структура, характеризующаяся регулярностью по одной или нескольким координатам. Количество элементов в группе, повторяющейся по i -й координате, называется периодом регулярности T_i по i -й координате. Здесь необходимо подчеркнуть отличие регулярности от однородности.

Однородная структура — это структура, состоящая из одинаковых элементов, соединенных между собой одинаковым образом. В соответствии с приведенным выше определением регулярности однородная структура регулярна по всем координатам и имеет период регулярности по всем координатам, равный единице. В этом смысле регулярность является более общим понятием, чем однородность.

Степень регулярности n -мерной структуры может оцениваться коэффициентом ее регулярности:

$$K_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{T_i - 1}{N_i - 1} \right),$$

где T_i — период регулярности по i -й координате, N_i — количество элементов по i -й координате. Однородная структура имеет $K_p = 1$, полностью нерегулярная — $K_p = 0$. Для структур с различной степенью регулярности коэффициент находится в пределах $0 < K_p < 1$.

МРВС могут различаться по количеству и типу реализуемых функций, по технической реализации (см. гл. 11).

Одной из разновидностей МРВС являются многофункциональные запоминающие устройства (МФЗУ), совмещающие функции хранения и переработки информации.

МФЗУ — функционально-ориентированные структуры типа памяти, предназначенные для обработки хранимой в них информации.

Понятие МФЗУ является обобщающим и охватывает все многообразие видов ЗУ как с точки зрения выполняемых операций, так и с точки зрения их технической реализации.

В МФЗУ могут быть реализованы: любой заданный набор поразрядных логических операций, сложные логические операции, операции переработки число-импульсной информации, арифметические операции, операции общего и простого ассоциативного поиска, операции поиска и сравнения кодов по различным числовым критериям. Концепция МФЗУ базируется на принципе многофункциональности, на использовании резервных функциональных возможностей регулярных структур типа памяти. Разработка научного направления «Многофункциональные запоминающие устройства» предшествовала становлению направления МРВС.

В конце 1960-х г. были предложены оригинальные принципы функционально-структурной организации процессоров для логической, арифметической и специальной обработки информации в ферромагнитных запоминающих устройствах. Специализированные процессоры на основе модулей оперативной и постоянной памяти имеют простую и экономичную структуру, отличаются высокой надежностью хранения и переработки информации, а также радиационной стойкостью.

В этот период были разработаны структуры процессоров для реализации разветвленных логических алгоритмов, воспроизведения сложных булевых функций, многоканальные счетные и пересчетные устройства, операционные и управляющие устройства и предложены три типа функционально-структурной организации алгоритмически универсальных процессоров на основе МФЗУ. Развитие технологии БИС заставило пересмотреть некоторые принципы организации МФЗУ и способствовало дальнейшему развитию табличных и таблично-алгоритмических процессоров с регулярной структурой на основе БИС с оперативной, постоянной и перепрограммируемой памятью.

В настоящее время специализированные процессоры на основе МФЗУ могут рассматриваться как самостоятельные операционные и управляющие модули, а также

как функциональные расширители информационно-управляющих систем.

На основе МФЗУ могут быть построены также процессоры для реализации функций нежесткой логики, процессоры для решения задач классификации образов и принятия решений в системах ситуационного управления. Показана целесообразность использования таблично-алгоритмических процессоров для воспроизведения элементарных функций в высокопроизводительных вычислительных системах. При непрерывно возрастающих требованиях к производительности СОИ, по мере перехода от программной реализации функций математического обеспечения к аппаратной, по мере расширения сервиса предоставляемого пользователю СОИ, разработки и внедрения эффективных диалоговых систем пятого поколения будет расширяться сфера применения МФЗУ как функционально-ориентированных модулей с регулярной структурой, предназначенных для хранения и обработки массивов информации.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ МОДУЛЕЙ ТАБЛИЧНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматривая применимость таблично-алгоритмических методов к числовой обработке информации, отметим, что к ней относятся арифметические операции сложения, умножения, деления, получения значений элементарных и специальных функций, преобразования по сложным формулам.

Выполнять операцию сложения прямым табличным способом нецелесообразно, так как созданы БИС-сумматоры, отличающиеся более высоким быстродействием и компактностью, чем ПЗУ. Для хранения таблиц результатов умножения требуется ПЗУ емкостью $V = 2^{2n} \cdot 2n$, где n — разрядность сомножителей. Для класса 16-разрядных МПС таблица становится сверхбольшой и прямой подход к построению табличного множительного устройства становится малоэффективным. Тем не менее реализовать подобное устройство рассматриваемым методом возможно, если использовать многоуровневый подход к построению табличного умножителя. Разрядная сетка сомножителей по определенному закону разбивается на части, и в соответствии с этим законом формируются вместо одной большой несколько таблиц меньшего разме-

ра. Время получения результата при этом сравнительно невелико: в основном оно определяется характеристиками ПЗУ и числом сумматоров.

И все же, как и для операции сложения, табличный умножитель на ПЗУ малоэкономичен. В настоящее время выпускаются множительные матричные устройства на БИС с быстродействием 100—200 нс, размещенные в одном корпусе, т. е. более компактные, чем система на основе табличных ПЗУ.

При реализации таблично-алгоритмическими методами операции деления также возникают трудности, связанные с физической реализацией таблиц большого объема. Большинство разработчиков видит решение этой задачи в замене операции деления операцией умножения. В этом случае необходимо иметь таблицу обратных величин для всех используемых чисел. Так как операция деления при обработке информации встречается сравнительно редко, то ее воспроизводят, как правило, программным способом.

Хотя непосредственно, как было отмечено выше, не всегда целесообразно интерпретировать операции умножения и деления с помощью таблиц, занесенных в ПЗУ, все же существует эффективный прием построения табличных умножителей и делителей. Выше отмечалась целесообразность использования «логарифмической арифметики». Для реализации арифметических операций на основе логарифмических зависимостей необходимо иметь эффективные приемы построения табличных функциональных модулей, воспроизводящих функции одной переменной. Именно для этих целей применение таблично-алгоритмических методов преобразования данных считается наиболее целесообразным. Малая разрядность большинства современных МПС (8—16 бит) удовлетворяет требованиям построения таблиц небольших размеров, поэтому процесс создания табличных модулей существенно упрощается.

Существует достаточно много способов воспроизведения функций одной переменной устройствами табличного типа. Разработчики в первую очередь ищут возможности сокращения размера таблиц, сжатия воспроизводимой информации.

В принципе, модули, реализующие таблично заданные функции, можно условно разбить на три группы: модули, в которых в ПЗУ хранятся значения функции в узловых точках, а поправка вычисляется с помощью дополнитель-

ного оборудования (регистры, множительные устройства, сумматоры и т. п.) или по специальной программе; модули, в которых значения функции в узлах и коды поправок зафиксированы в блоках ПЗУ. В настоящее время наиболее хорошо разработаны методы и приемы проектирования модулей первого типа. Они основаны на разбиении интервала изменения аргумента на ряд подынтервалов и приближении функции на разных подынтервалах различными аппроксимирующими функциями.

Самым распространенным приемом является представление аргумента в виде совокупности его составных частей: $x = x_1 + x_2 + \dots + x_n$, причем число возможных значений каждого из слагаемых всегда значительно меньше, чем число возможных значений исходного аргумента. Такое разложение часто называют сегментированием и его суть состоит в том, что в коде аргумента выделяется группа разрядов, называемая сегментом, которая обрабатывается по определенному закону. Номер подынтервала, определяемый сегментом, является адресом ячейки ПЗУ, хранящей константы, соответствующие аппроксимирующей функции. Для реализации модулей первого типа используют, как правило, различные виды полиномиальной интерполяции. Полином $F(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m$ представляется в виде известной схемы Горнера:

$$F(x) = a_0 + x(a_1 + x(a_2 + x(\dots + xa_m))) \dots$$

На рис. 10.1 показан возможный вариант устройства для воспроизведения функций одной переменной. Аргумент

Рис. 10.1. Функциональный преобразователь интерполяционного типа

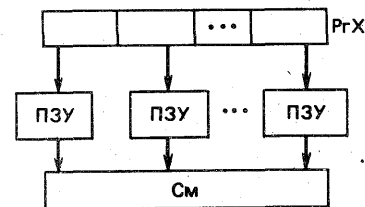
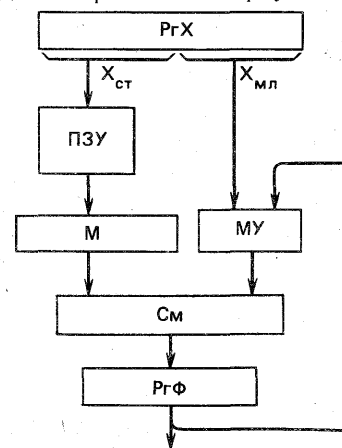
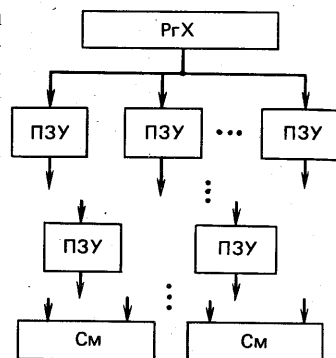


Рис. 10.2. Таблично-алгоритмический модуль с одноуровневой структурой



x заносится в регистр PrX , а значение функции накапливается на регистре $Pr\Phi$. В ПЗУ хранятся коэффициенты полинома a_i , в матрицах умножителя (МУ) происходит формирование произведений, на сумматоре (См) выполняется суммирование полученных произведений с коэффициентами a_i . Необходимые коэффициенты поступают в сумматор из ПЗУ через мультиплексор (М).



Рассмотренная организация таблично-алгоритмических модулей (ТАМ) первого типа *Рис. 10.3*. Многоуровневая параллельная структура ТАМ является наиболее распространенной. Большинство известных вариантов представляет собой структурные разновидности этого подхода. Недостатком подобных устройств является относительная сложность их структуры при реализации мало-разрядных функций (8—16 бит). Второй тип модулей отличается меньшими аппаратными затратами, отводимыми для хранения таблиц, но для организации вычислительного процесса требуется разработка специальных схем. Третий тип модулей в ряде случаев оказывается весьма эффективным. Могут быть выделены четыре основных способа функционально-структурной организации систем обработки информации табличного типа: одноуровневая структура, многоуровневая параллельная структура, многоуровневая последовательная и замкнутая структуры (*рис. 10.2—10.5*).

Одноуровневая структура предназначена для проведения вычислений в двоично-кодированной системе счисления — для выполнения арифметических операций, а также преобразования чисел из одной системы

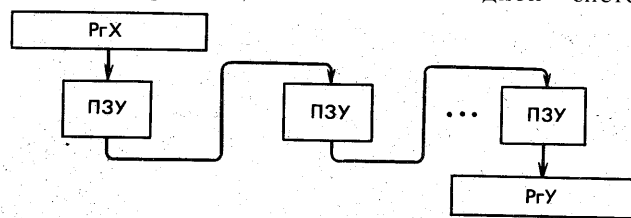


Рис.10.4. Многоуровневая последовательная структура ТАМ

счисления в другую. Многоуровневая параллельная структура может быть использована для воспроизведения сложных математических зависимостей; подобная организация в большинстве случаев позволяет осуществлять переход от «объемной» реализации арифметических функций двух переменных к функциям одной переменной. Последовательная многоуровневая структура используется для воспроизведения ряда специальных функций (например, $\ln \sin x$, когда «выход» одного из ПЗУ является входом другого). Такая взаимосвязь набора ПЗУ позволяет организовать различные сдвиговые и функциональные схемы. Замкнутая структура (*рис. 10.5*) может быть применена для построения серии последовательных схем, таких как счетчик, построенный на основе циклических кодов, реверсивный счетчик, делитель и т. п.

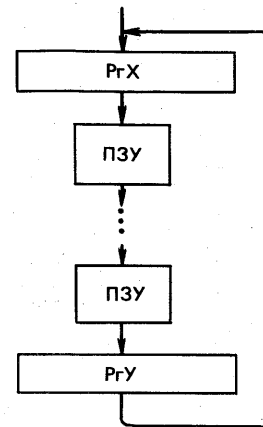


Рис.10.5. Замкнутая структура ТАМ

Организация табличных функциональных модулей в общем напоминает организацию многопроцессорных систем, в которых в качестве процессора для обработки информации используется система таблиц, связанных между собой в соответствии с заданным законом.

Специализированные устройства, реализованные на ПЗУ с использованием таблично-алгоритмических методов обработки информации и принятия решений, позволяют расширять функциональные возможности СОИ. Отметим, что при этом не требуется разработки специальных микропрограмм для выполнения микропроцессором заданных функций.

ВВЕДЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РАСШИРИТЕЛЕЙ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ

Повышение производительности микропроцессорных систем (МПС) может быть достигнуто за счет схемной реализации сложных арифметических и логических операций или алгоритмов на основе быстродействующих специализированных микропроцессоров (МП) и введения их в состав универсальной или построения на их основе специализированной МПС. Введение в состав универсаль-

ной МПС специализированного МП позволяет осуществить ее проблемную ориентацию, не нарушая ее базовой конфигурации.

Модульность и наращиваемость современных МПС сравнительно легко позволяет осуществлять эту идею. При этом специализированный МП может быть реализован в виде заказной БИС или на основе стандартных БИС и ИС. Очевидно, что первый подход сопряжен с известными трудностями и вряд ли может найти широкое применение. Второй путь более реален, однако его высокая эффективность обеспечивается только при использовании универсального пути построения специализированных быстродействующих МП различного назначения. Таким подходом может служить использование табличных способов преобразования информации.

Неуклонная тенденция к снижению стоимости полупроводниковых БИС, особенно постоянных запоминающих устройств (ПЗУ) большой емкости, увеличение их быстродействия, надежности и простая технология изготовления позволяют рассматривать БИС ПЗУ и БИС перепрограммируемой памяти (ППЗУ) как специализированные функциональные модули, реализуемые на едином субстрате — многофункциональных конструктивных модулях. Рассмотрение БИС ЗУ как многофункционального модуля, позволяющего на основе однотипных конструктивных модулей реализовать сложные функции, накладывает определенный отпечаток на традиционные методы проектирования СОИ. Основным недостатком ЗУ является то, что обладая большой информационной емкостью, оно является относительно пассивным блоком. Преобразование модуля ЗУ в процессор осуществляется посредством фиксации в его структуре закона (таблицы) обработки данных. При этом конструктивно модуль памяти остается без изменений, так же как и принцип его действия.

Набор ЗУ, выполняющих функции стандартных (библиотечных) программ, позволяет создавать многофункциональные вычислительные средства и рассматривать их как элементы адаптивных структур. Используя многофункциональные модули ЗУ как специализированные аппаратно-программные средства, можно создавать на их основе сосредоточенные распределенные МПС с модульной организацией для решения широкого класса задач числовой и логической обработки информации. В БИС ПЗУ могут заносятся таблицы логических, арифметических

и элементарных функций, специальные и универсальные программы общим объемом от 20 Кбайт до 1 Мбайта. Отлаженные ПЗУ-программы легко «копируются» большими тиражами. Такой подход позволит рассматривать подобные ПЗУ, как специализированные модули микропроцессорных комплектов БИС. Свойство ПЗУ воспроизводить функции комбинационных и последовательных схем путем фиксации в них таблиц заданных преобразований позволяет исключить ряд традиционных этапов проектирования, связанных с получением описания функционирования схемы на каком-то языке, моделированием схем, минимизацией структуры системы, построением систем контроля. Это позволяет сконцентрировать усилия разработчика на вопросах рациональной организации МПС с целью обеспечения ее оптимального функционирования.

Рассмотрим один из наиболее эффективных способов реализации функциональных преобразователей для функции одной переменной в 8-разрядной микропроцессорной системе. Он соответствует третьему типу таблично-алгоритмических устройств.

В основу метода положена кусочно-линейная аппроксимация функций, которая предполагает разбиение интервала изменения аргумента на множество подынтервалов и приближение функции между узлами линейными прямыми с заданной степенью точности. В результате предварительного анализа поведения функций на интервале изменения аргумента можно установить, что для ряда монотонных функций на некоторых участках необходимая точность воспроизведения функций обеспечивается при меньшем числе аппроксимирующих прямых. Это достигается за счет применения одного и того же приближения к ряду межузловых расстояний. В результате анализа выделяются подынтервалы, каждый из которых имеет только одну «свою» корректирующую прямую. Таким образом, число аппроксимирующих прямых может быть существенно снижено. Для технической реализации этого способа следует знать число узлов функции и количество подынтервалов коррекции, которые прямо зависят от заданной точности воспроизведения функций. Такой анализ проводится при воспроизведении моделируемой функции на универсальной ЭВМ.

Структура устройства, построенного на блоках ПЗУ для реализации функции рассмотренным способом, показана на рис. 10.6. Здесь RgX — регистр аргумента,

ПЗУ₁ — память, в которой записаны значения функции в узлах, ПЗУ₂ — память для хранения корректирующих прямых, число которых равно числу подынтервалов коррекции, См — комбинационный сумматор. Часть старших разрядов аргумента, подаваемых на вход ПЗУ₁, определяет адрес ячейки, в которой хранится значение функции в узлах, а часть старших и часть младших разрядов определяют подынтервал коррекции и ячейку с корректирующей константой в ПЗУ₂. Сумматор формирует значение функции по формуле

$$F(x) = f_0(x) + \varphi(x),$$

где $f_0(x)$ — значение функции в узлах, $\varphi(x)$ — корректирующая константа.

Если использовать обычные подходы, т. е. строить таблицу всех значений, то потребовалось бы ПЗУ объемом

$$V = 2^n n,$$

где n — разрядность аргумента, а если реализовать функциональный преобразователь по предложенному способу, то общий объем ПЗУ составит

$$V = V_{f_0(x)} + V_{\varphi(x)} = 2^{n_1} (x_k - x_n) + K \cdot 2^{n_2 - 1} \cdot n_2,$$

где 2^{n_1} — количество узловых точек, K — количество подынтервалов коррекции, n_1 — число разрядов функции в узлах, n_2 — число разрядов корректирующей функции, причем здесь

$$n = n_1,$$

x_n, x_k — начальные и конечные значения функции.

При использовании данной методики для ряда элементарных функций базового набора, таких как $\log_2 x$, 2^x , $\sin x$, $\arcsin x$ при разрядности аргумента $n = 16$, средний объем ПЗУ составляет $(2^{10} \cdot 16 + 2^9 \cdot 9)$ бит.

Рассматривая устройство для воспроизведения функций одной переменной на блоках ПЗУ как функциональный расширитель микропроцессорной системы, покажем, каким образом его следует вводить в состав базовой

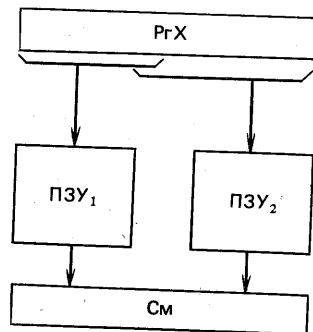


Рис. 10.6. Экономичная структура функционального преобразователя

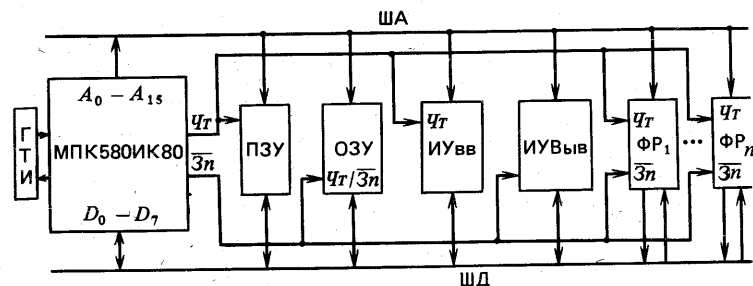


Рис. 10.7. Организация МПС с функциональным расширителем

МПС, построенной на основе микропроцессорного компонента К580.

МПС, схема которой приведена на рис. 10.7, содержит микропроцессор К580ИК80, генератор тактовых сигналов (ГТИ), ПЗУ, ОЗУ, два интерфейсных устройства ввода — вывода, одно из которых используется для ввода (ИУВв), другое — для вывода (ИУВыв), а также функциональные расширители (ФР₁...ФР_n). Обращение к устройствам производится по коду на шине адреса (ША), который, во-первых, указывает адрес ячейки внутри устройства (ПЗУ, ОЗУ, ФР_i), а во-вторых, разрешает работу ПЗУ, ОЗУ или ФР подачей соответствующих потенциалов на входы выборки кристаллов. Через шину данных (ШД) осуществляется обмен данными между микропроцессором и устройствами МПС.

Организация 16-разрядного ФР представлена на рис. 10.8. В рассматриваемом примере выбрана организация с отдельными шинами данных и адреса. При этом для осуществления обращения МП к ФР необходимо по шине адреса передавать информацию об адресе ФР, а также сигналы для выборки кристалла.

Удобно в качестве регистров аргумента и функции ФР использовать многорежимные буферные регистры К589ИР12, каждый из которых имеет входную и выходную шины данных, два входа выборки кристалла (Вк₁, Вк₂), а также вход ВР, определяющий режим работы регистра на прием или выдачу информации. Выбор регистров осуществляется подачей сигналов с шины адреса через дешифратор Дш на входы выборки кристалла ВК. Значение аргумента из МП в Рг₁ и Рг₂ происходит по сигналу записи (Зп).

Для управления выборкой информации из ФР буферные регистры Рг₃ и Рг₄ подключены к выходу комбинацион-

Последнее допущение, основано на том, что $t_{\text{сум}} \ll t_{\text{фр}}$. Отсюда $t_{\text{умн(дел)}} = 160$ мкс. Обычным программным путем умножение выполняется за несколько миллисекунд. И в этом случае видно, что предлагаемый подход обладает значительными преимуществами по быстродействию. Естественно, что применение ФР в микропроцессорных комплексах повышенного быстродействия дает более высокие результаты. Важной особенностью построения МПС с ФР является простота структуры ФР, а также простота его включения в состав МПС. Кроме того, следует помнить, что ФР реализуется на серийных ПЗУ стандартным путем.

Включение с состав МПС ФР различного назначения позволяет существенно увеличить ее производительность, особенно при ориентации на класс задач, связанных с вычислением ряда элементарных функций, с большим числом операций умножения, деления, преобразования кодов и др., которые можно реализовать аппаратным способом на ПЗУ. Особенно эффективно введение в состав МПС ФР базовой системы функций, позволяющих наиболее коротким и простым путем получать значения большинства элементарных функций, а также сводить операции умножения и деления к операциям обращения к ФР и алгебраического сложения.

Глава 11.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯРНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ БИС

Решение задачи разработки структуры СОИ относится к этапу структурного проектирования. В качестве исходных данных для этой задачи выступают результаты, полученные на системном этапе, а также общие требования к разрабатываемому устройству.

Рассмотрим кратко основные исходные данные, критерии оценки принимаемых разработчиком технических решений и возможные подходы к повышению степени однородности СОИ. Основными исходными данными для разработки структуры СОИ являются:

описание структуры СОИ как элемента системы, для которой СОИ разрабатывается;

описание поведения (функционирования) СОИ на уровне взаимодействия ее с другими элементами системы — с внешней средой;

требования к СОИ и рекомендации по ее разработке, определяемые техническим заданием и особенностями системы, в состав которой проектируемая система входит в качестве подсистемы.

1. Описание структуры СОИ как элемента системы формируется либо в результате анализа системы, либо является одним из результатов системного проектирования, в процессе которой была выделена СОИ. В обоих случаях описание структуры СОИ должно полностью определять состав внешних связей.

Определение состава внешних связей СОИ предполагает, в частности, определение содержания, форматов и структуры кодов всех видов сообщений, которые должны принимать и выдавать СОИ, и выделение всех входов и выходов СОИ. Информационное описание внешних связей СОИ в общем случае может быть дополнено соответствующими физическими описаниями этих связей (например, уровни электрического напряжения, используемые в качестве носителей информации на входах и выходах) и конструктивными ограничениями (например, способы механического подключения входов и выходов).

2. Описание поведения (функционирования) СОИ на уровне ее взаимодействия с другими элементами системы должно содержать описание функций, выполняемых СОИ во всех возможных режимах работы. При описании поведения СОИ может быть использован некоторый начальный вариант внутреннего языка (понятие внутреннего языка включает систему команд, структуры и форматы команд и данных). Начальный вариант внутреннего языка выбирается на основе анализа описаний функций, выполняемых СОИ, или некоторого набора алгоритмов решения типовых с точки зрения назначения системы задач. Начальный вариант

внутреннего языка практически не учитывает возможные особенности будущих аппаратных средств, но наилучшим образом отвечает внешним требованиям, таким как: минимальный объем, необходимый для памяти программ; удобство программирования; программная совместимость с другими СОИ. В большинстве случаев рассматриваются следующие режимы работы СОИ: ввод информации, обработка информации, вывод информации, передача управляющих и осведомительных сигналов в другие устройства (например, на пульт), реакция на входные сигналы управления и прерывания. Функции, выполняемые СОИ в каждом из перечисленных режимов, обычно представляются набором соответствующих команд.

3. Требования к СОИ и рекомендации по ее разработке определяются на основе технического задания и результатов системного проектирования. Основной задачей при разработке структуры СОИ является обеспечение необходимых характеристик СОИ при минимальной сложности принимаемых структурных решений. Обычно основным требованием, предъявляемым к устройству, является обеспечение заданного быстродействия. При этом, естественно, не упускаются из виду и требования по таким показателям, как надежность, вес, габариты, потребляемая мощность, и другим. Быстродействие СОИ задается с учетом характера решаемых задач в одной из двух следующих форм: в форме номинального быстродействия, определяемого числом операций в секунду при заданной частоте выполнения команд каждого типа; либо в форме системы неравенств, определяющих наибольшее допустимое время решения устройством отдельных задач. В качестве основных рекомендаций по разработке СОИ выделим рекомендации, связанные с выбором элементной базы. Будем считать заданным некоторый предварительный набор систем элементов. При разработке СОИ в этот набор могут войти как готовые, так и заказные БИС. В первом случае для каждого элемента считается известным его описание в информационном, физическом и конструктивном обеспечении, дополненное техническими характеристиками. Во втором случае считается известным подобное описание для типовых базовых ячеек выбранных технологий, а также ограничения на число выводов и степень интеграции БИС, возможности, особенности

и характеристики БИС по приему и выдаче информации через внешние выводы.

Принципы функционально-структурной организации информационно-управляющих систем с регулярной структурой и минимальным числом типов БИС рассмотрены в [95].

ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Процесс проектирования систем обработки информации может быть представлен в виде последовательности этапов, имеющих итеративную структуру. На каждом этапе задачи проектирования решаются с помощью процедур, объединяющих аналитические, алгоритмические и эвристические методы и обеспечивающих синтез вариантов, их оценку и выбор оптимального варианта. Выбор технических решений, принимаемых разработчиком структуры СОИ, определяется принятым критерием оптимизации структуры. Наиболее общей характеристикой структуры системы может служить ее сложность. Сложность системы определяется числом типов компонентов и связей между ними, их сложностью, а также общим числом компонентов и связей. Естественно, что наименее сложная в указанном смысле система, удовлетворяющая основным требованиям технического задания (например, заданному быстродействию), обладает также наилучшими экономическими, надежностными и эксплуатационными характеристиками. Как правило, на каждом этапе проектирования генерируются несколько удовлетворительных вариантов (с точки зрения требований технического задания) и преимущество отдается наименее сложному из них.

Оценка сложности структур рассматривается в теории сложных систем. Простейший показатель сложности S системы учитывает число и сложность элементов, из которых состоит данная система

$$S = \sum_{i=1}^n S_{эли} N_{эли},$$

где $S_{эли}$ — сложность элементов i -го типа, $N_{эли}$ — число элементов i -го типа, n — число типов элементов. Это выражение может служить лишь грубой оценкой сложности структурных решений, поскольку оно не учитывает сложности связей. Сложность связей может быть учтена, например, выражением

$$S = (1 + \nu\alpha) \sum_{i=1}^n S_{эл i} \cdot N_{эл i},$$

где ν — относительный коэффициент сложности связей по сравнению со сложностью элементов, α — отношение числа реализованных в системе связей к максимально возможному их числу. Однако этот показатель, во-первых, не учитывает разнообразия связей, а во-вторых, основывается на зависимости сложности связей от сложности элементов, что далеко не всегда справедливо. Более целесообразно производить оценку сложности S структурных решений не только в соответствии с числом, сложностью и разнообразием элементов и связей, но и с учетом степени отличия анализируемой структуры от эталонной, в качестве которой целесообразно рассматривать однородную структуру. Пусть анализируемая структура содержит n типов элементов. Обозначим сложность элемента i -го типа через $S_{эл i}$, а число элементов i -го типа через $N_{эл i}$. Аналогичные характеристики для связей будем обозначать через m , $S_{св j}$, $N_{св j}$ соответственно. Для оценки степени отличия анализируемой структуры от однородной введем показатели степени неоднородности по элементам $K_{н эл}$ и по связям $K_{н св}$, причем для однородной структуры $K_{н эл} = K_{н св} = 0$, а для полностью неоднородной $K_{н эл} = K_{н св} = 1$.

Сложностью структуры будем называть сумму составляющих, характеризующих сложность элементной структуры $S_{эл}$ и сложность структуры связей $S_{св}$:

$$S = S_{эл} + \nu S_{св}.$$

Сложность элементной структуры $S_{эл}$ является составляющей сложности S , зависящей только от элементного состава структуры без учета связей. Величина $S_{эл}$ определяется числом, сложностью и разнотипностью (неоднородностью) элементов:

$$S_{эл} = (1 + \beta_{эл} K_{н эл}) \sum_{i=1}^n S_{эл i} N_{эл i},$$

где $\beta_{эл}$ — коэффициент, характеризующий степень влияния изменения значения $K_{н эл}$ на сложность структуры.

Сложность структуры связей $S_{св}$ является составляющей сложности S , зависящей только от состава связей без учета числа и типов элементов структуры. Величина $S_{св}$ определяется числом, сложностью и разнотипностью (неоднородностью) связей:

$$S_{св} = (1 + \beta_{св} K_{н св}) \sum_{j=1}^m S_{св j} N_{св j},$$

где $\beta_{св}$ — коэффициент, характеризующий степень влияния изменения значения $K_{н св}$ на сложность структуры.

Значения коэффициентов $\beta_{эл}$ и $\beta_{св}$ зависят главным образом от используемой конструкторско-технологической и элементной базы. Например, при оценке сложности внутренней структуры разрабатываемой БИС $\beta_{эл} = 1,5 - 3$, $\beta_{св} = 5 - 15$; при оценке сложности структуры СОИ, размещаемой на печатной плате $\beta_{эл} = 1 - 2$, $\beta_{св} = 3 - 5$. Следует отметить, что, поскольку показатель сложности используется при выборе структурных решений для сравнительной оценки вариантов, точность определения коэффициентов $\beta_{эл}$ и $\beta_{св}$ может быть низкой.

РЕГУЛЯРНОСТЬ СТРУКТУР СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Обычно при задании структур выделяется два уровня: уровень исходных элементов и уровень, на котором сама структура рассматривается как элемент. Очевидно, что если заданная структура содержит более одного исходного элемента, то может быть выделен некоторый (в общем случае не один) дополнительный структурный уровень, элементы которого будут представлять собой фрагменты структуры, содержащие определенное количество исходных элементов. Выделяемый таким образом дополнительный структурный уровень будем называть промежуточным. Введем следующее определение.

Структура, заданная двухуровневым описанием, регулярна, если существует такой промежуточный структурный уровень, на котором она однородна. В данном определении предполагается, что в число выделенных промежуточных структурных уровней включается и уровень исходных элементов структуры, поэтому регулярная структура может быть одновременно и однородной, когда она будет однородна на уровне исходных элементов. С этой точки зрения понятие регулярной структуры является более общим, чем понятие однородной структуры, хотя и может быть определено с использованием последнего. Если заданная структура регулярна, то она может содержать в повторяющейся части от одного до половины всех элементов. Минимально возможное количество элементов в повторяющейся части конкретной регулярной структуры (при фиксированном общем числе элементов) характеризует близость ее к однородной структуре. Для количественной оценки

близости регулярной структуры к соответствующей ей однородной структуре могут быть использованы специальные показатели регулярности.

Анализ структур ВУ показывает, что степень регулярности хотя и зависит от однотипности исходных элементов и связей, но в большей мере определяется их повторяемостью (в некотором направлении) в структуре. При рассмотрении информационных систем взаимное расположение элементов в структуре не играет роли, поэтому направления, в которых наблюдается их повторяемость (координаты регулярности), получаются обычно в результате упорядочивания элементов по связям определенного функционального назначения. Для структур операционных и запоминающих устройств вычислительных машин в качестве таких связей могут быть использованы информационные и управляющие связи. Для комбинационных схем можно выделить две координаты регулярности: разрядную и словарную.

Под повторяемостью элементов определенного типа понимается такое их расположение в структуре в заданном направлении, при котором соседние элементы данного типа находятся на одинаковом расстоянии друг от друга. При этом расстояние определяется числом элементов других типов, разделяющих ближайшие элементы данного типа. Необходимо заметить, что при проектировании СОИ степень регулярности структуры является важной характеристикой, так как при воплощении элементов определяемого ею промежуточного структурного уровня в конструктивных элементах степень регулярности будет отражать степень однородности устройства на уровне реальных узлов и блоков.

ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ РЕГУЛЯРНОСТИ И ОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ

Анализ методов формирования структур информационных схем позволяет выделить два основных подхода к повышению степени их однородности. В первом случае с целью повышения однородности преобразуется структура СОИ, полученная в процессе проектирования. Во втором случае преобразуется модель поведения устройства. При этом повышение степени однородности структуры СОИ может производиться еще до фактического ее формирования.

Преобразование структуры СОИ. Для решения задачи повышения степени однородности путем преобразования структуры СОИ можно рекомендовать следующие приемы.

1. Замена в устройстве наиболее нерегулярных частей стандартными блоками с регулярной структурой, способными выполнять функции исключаемых частей устройства. В качестве блоков с регулярной структурой обычно используются: модули оперативной и постоянной памяти, программируемые логические матрицы, блоки регистров.

2. Введение в структуру СОИ избыточных элементов, устраняющих различия между ее отдельными частями и тем самым повышающих степень однородности и регулярности.

3. Замена в структуре СОИ разнотипных специализированных («монофункциональных») элементов однотипными многофункциональными. В результате такой замены сокращается число типов элементов и повышается однотипность связей в структуре.

4. Применение магистрального способа связи между регистрами СОИ.

5. Переход от структуры СОИ с закрепленными за регистрами микрооперациями к структуре с общими микрооперациями.

Перечисленные приемы являются основными и наиболее общими, но не исчерпывают всех возможностей повышения степени однородности, открывающихся при преобразовании конкретных структур.

Преобразование модели поведения СОИ. Наиболее глубокие преобразования структуры системы происходят, когда преобразуется модель ее поведения. Такие преобразования приводят не только к изменению количества оборудования, но и к изменению степени однородности структуры системы. Последнее обстоятельство позволяет проводить преобразования модели поведения СОИ и модели поведения отдельных подсистем, направленные на повышение степени однородности структуры устройства. При выполнении этих преобразований могут быть использованы следующие рекомендации.

1. Ориентация на преимущественное использование алгоритмов с преобладанием операторов, аппаратная реализация которых характеризуется высокой степенью однородности. (Примерами таких операторов могут служить операторы сдвига, логических операций, суммирования и другие.)

2. Выполнение алгоритмическим путем преобразований, требующих для своей аппаратурной реализации введения в СОИ модулей с низкой степенью однородности.

3. Преобразование аналитических выражений операторов, аппаратурная реализация которых характеризуется низкой степенью однородности, к виду, представляющему собой многократную суперпозицию или примитивную рекурсию функции. Указанные представления операторов обеспечивают их аппаратурную реализацию регулярными структурами.

4. Использование для повышения степени однородности автоматных моделей поведения. Применение этих моделей основывается на эквивалентности (с точки зрения поведения) регулярной структуры, реализующей оператор, конечному автомату, на вход которого переменные структуры поступают последовательно во времени. Процедура повышения степени однородности в данном случае состоит из четырех шагов:

а) проверка возможности перехода от исходной модели поведения к автоматной и представление ее в форме, пригодной для синтеза автоматов;

б) абстрактный синтез автомата; структурный синтез автомата;

в) переход от построенного автомата к соответствующей ему регулярной структуре.

5. Использование для повышения степени однородности модели дискретного преобразователя. В этом случае для заданного оператора (или алгоритма) строится дискретный преобразователь — производится синтез операционного и управляющего автоматов. Переход к регулярной структуре осуществляется путем «развертывания» дискретного преобразователя в пространстве в соответствии с последовательностью интервалов дискретного времени, в котором рассматривается его функционирование. При этом получаемая регулярная структура имеет незначительную аппаратную избыточность, если алгоритм вычисления заданного оператора представляет собой цикл, и период регулярности структуры соответствует однократному повторению цикла. Период регулярности в данном случае — это часть структуры, реализующая множество элементарных операторов, выполнение которых осуществляется в дискретном преобразователе в течение единицы времени. Приведенные рекомендации позволяют приступить к решению задачи повышения степени однородности структуры

СОИ на ранних этапах проектирования и в дальнейшем могут существенно упростить ее решение.

Глава 12.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В настоящее время отсутствует четкое определение кибернетической системы. В основном к этому классу относят многоуровневые системы с обратными связями. Одним из основных аспектов рассмотрения кибернетических систем является информационный аспект.

По-видимому, все кибернетические системы можно разделить на естественные и антропогенные (искусственные). Человечество не научилось создавать «живые» кибернетические системы. В настоящее время идет процесс изучения живых организмов с позиций кибернетики. Такой подход уже дал многое и даст еще больше. Интенсивно развиваются биотехнические кибернетические системы, в которых производится анализ и управление функциональным состоянием биообъекта при широком использовании технических средств и прежде всего средств обработки информации. Все большее распространение получают эргатические — человеко-машинные системы. Краткий анализ функций, реализуемых биотехническими системами, и вопросы синтеза из структуры изложены в гл. 13.

В настоящем разделе рассмотрены функции и обобщенная структура автоматизированной системы управления (АСУ). Рассмотрение АСУ проводится инвариантно к физической природе объекта управления.

Для современного мира характерно большее разнообразие АСУ, отличающихся функциональным назначением, сложностью реализации и условиями эксплуатации. Не претендуя на полноту и точность классификации АСУ, можно выделить следующие классы АСУ:

автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП);

автоматизированные системы управления производством (АСУП);

автоматизированные системы для научных исследований (АСНИ);

автоматизированные системы управления энергетическими объектами (АСУ ЭО);

автоматизированные системы управления подвижными объектами (АСУ ПО);

автоматизированные системы управления радиоэлектронным оборудованием и средствами связи;

автоматизированные системы управления вооружением;

биотехнические системы.

Из рассмотрения выпал большой спектр информационных АСУ, входами и выходами которых являются информационные потоки. К подобным системам относятся: информационно-поисковые и информационно-справочные системы; системы связи и т. п.

В соответствии с рассмотренной выше закономерностью вложения деревьев функций в развивающихся системах информационные системы с точки зрения функционально-структурной организации могут рассматриваться с позиций разомкнутых управляющих систем.

Несмотря на большое разнообразие классов АСУ, все автоматизированные системы предназначены для реализации единой целевой функции: изменение состояния объектов воздействия (объектов управления и окружающей среды) в соответствии с принятой стратегией управления. Стратегия управления предусматривает, как правило, реализацию определенной целевой функции, формальное математическое определение которой в большинстве случаев сопряжено с большими трудностями, но довольно легко может быть представлено лингвистическим алгоритмом (словесным описанием целей и способов управления).

Нечеткость (нежесткость) лингвистических алгоритмов, их недостаточная разработанность и отсутствие технических средств для их реализации требуют обязательного участия человека в многоуровневых АСУ. В последующих разделах работы рассматриваются вопросы формирования деревьев функций и деревьев противоречий АСУ инвариантно к виду управляемого объекта. Показывается, что на различных уровнях информационных подсистем АСУ реализуется совокупность выделенных выше РСМТ-операторов. Анализируются особенности отдельных подсистем АСУ и кратко,

с позиций функционально-структурного подхода, рассматриваются вопросы их технической реализации. Деревья функций и конкретные варианты формирования структуры АСУ приводятся для наименее исследованного и интенсивно развивающегося класса АСУ — биотехнических систем различного функционального назначения.

Следует отметить, что необходимо различать автоматизированные и автоматические системы управления. В автоматических системах управления все функции, возложенные на систему, реализуются без участия человека. В автоматизированных системах — функции распределены между человеком-оператором и техническими средствами системы.

На человека-оператора возлагаются наиболее ответственные функции оценки текущей ситуации, прогнозирования поведения системы и принятия решений. Отдельные контуры, отдельные подсистемы АСУ работают автономно и представляют по существу автоматические системы, входящие в состав автоматизированных систем.

Многоуровневость современных систем управления приводит к тому, что иерархическая организация этих систем предусматривает включение ряда автоматических систем определенной функциональной ориентации на различных уровнях системной организации и наличие человека-оператора на высшем уровне управления системой. Следует отметить, что в наиболее сложных и ответственных системах управления, а также при необходимости управления объектами и процессами, формирование моделей которых сопряжено с большими трудностями, в состав системы может входить ряд операторов, принимающих решения на различных уровнях управления.

Приведенные примеры показывают насыщенность окружающего нас мира автоматическими системами. В последующих разделах анализируются вопросы функционально-структурной организации АСУ ТП, некоторые аспекты развития автоматизированных и автоматических систем и принципы функционально-структурной организации биотехнических систем.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

В последние годы все большее развитие получают автоматизированные системы управления технологи-

ческими процессами (АСУ ТП). На верхнем уровне АСУ ТП обязательно наличие человека-оператора, осуществляющего контроль за ходом технологического процесса и вносящего необходимые изменения в ход процесса в целом и отдельных подсистем АСУ ТП, например при изменении характеристик сырья, при износе технологического оборудования и т. д. Отдельные подсистемы АСУ ТП могут работать как в автоматическом, так и в полуавтоматическом режиме.

Одним из наиболее совершенных видов автоматизированного производства являются системы числового программного управления (ЧПУ) технологическим оборудованием. Системы ЧПУ получили наибольшее распространение в металлообрабатывающей, приборостроительной и радиотехнической промышленности. В системах ЧПУ управление рабочим органом (резец, фреза, сверло и т. д.) осуществляется специальными командами, поступающими с выхода процессора, управляющего процессом обработки изделий. Эти команды преобразуются в сигналы, управляющие рабочим органом. Программы обработки задаются совокупностью определенных кадров, записанных на перфоленту или магнитный носитель информации.

Системы ЧПУ эффективно используются при электроэрозионной обработке материалов, автоматическом монтаже сложной РЭА, выполнении других, продолжительных во времени технологических операций, связанных с обработкой изделий с высокой степенью точности.

В настоящее время все большее распространение получают многокоординатные станки и обрабатывающие центры, управляемые системой ЧПУ. В связи с интенсивной роботизацией промышленного производства и внедрением роботов в различные отрасли народного хозяйства системы ЧПУ получают все большее распространение. Учитывая вышесказанное, любая многоуровневая система управления может рассматриваться как автоматизированная система, включающая ряд автоматических систем на нижних уровнях системной организации. В дальнейшем будут рассматриваться вопросы анализа и синтеза автоматизированных систем с учетом отмеченного выше положения. Это позволяет при изложении использовать широко распространенную аббревиатуру АСУ.

Обычно при анализе и синтезе АСУ необходимо учитывать ограничения на классы рассматриваемых устройств. Это вполне справедливо и широко используется на всех этапах технического проектирования систем. В данной работе, при рассмотрении вопросов структурного синтеза систем, автор исходит из необходимости рассмотрения обобщенных принципов анализа функционально-структурной организации антропогенных систем с целью формирования общей методологии их синтеза. При обобщенном анализе АСУ основное внимание уделяется рассмотрению основных информационных потоков в системе, формированию первичных сигналов с объекта управления и формированию управляющих воздействий. Функциональное назначение конкретной системы, определенная физическая природа объекта управления и принятые конкретные способы воздействия на объект управления оказывают существенное влияние на выбор законов управления отдельными подсистемами и определяют стратегию управления системой в целом. Рассмотрение этих вопросов выходит за пределы данной работы и составляет предмет исследования таких дисциплин, как теория исследования операций, теория массового обслуживания, теория автоматического управления и регулирования и другие.

В процессе структурного синтеза систем определяются основные функциональные и конструктивные модули системы, возможные варианты их функциональной и конструктивной интеграции (дифференциации). Таким образом, на этапе структурного синтеза определяется функционально-структурная организация системы, необходимость включения модулей определенного функционального назначения в состав системы, т. е. определяются состав модулей системы и основные связи между ними.

Вопросы технического проектирования модулей системы, которые могут быть реализованы на различных физических принципах, при использовании различной конструкторско-технологической базы, должны решаться известными методами, рассматриваемыми в соответствующей технической литературе. Покажем, что в каждой из подсистем АСУ, на выходах и входах управляемой системы осуществляется соответственно преобразование вещества, энергии и информации на выходе системы во входной информационный поток и преобразование выходной управляющей информации в ре-

альные физические воздействия на объект управления и окружающую среду посредством изменения вещества, энергии и информации на входах управляемой системы. Воздействие на объект управления может осуществляться как непосредственно от управляющей системы, так и посредством изменения параметров окружающей среды, а также при комплексном воздействии. Такой подход позволяет разомкнуть замкнутую систему АСУ и проводить автономный анализ информационных потоков в системе. При рассмотрении будем полагать, что съём информации о состоянии управляемой системы осуществляется первичными преобразователями информации (ППИ) и контролируется состояние объекта управления (ППИ ОУ) и окружающей среды (ППИ ОС). ППИ осуществляют преобразование контролируемых параметров ОУ и ОС в непрерывные и дискретные сигналы, поступающие на информационные входы подсистемы сбора информации. Следует отметить, что ППИ являются составной частью подсистемы сбора информации. В процессе функционирования АСУ вырабатываются информационные дискретные и непрерывные сигналы, на основе которых формируются управляющие воздействия (УВ).

Рассмотренное выше разделение АСУ на управляемую и информационную подсистемы позволяет поставить вопрос о разработке обобщенного метода формирования информационных подсистем АСУ, совокупность которых может рассматриваться как единая система обработки информации и принятия решения.

ОБОБЩЕННОЕ ДЕРЕВО ФУНКЦИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

При обобщенном анализе АСУ основное внимание уделяется рассмотрению основных информационных потоков в системе, формированию первичных сигналов с объекта управления и формированию управляющих воздействий. В каждой из подсистем АСУ, на выходах и входах объекта управления осуществляется преобразование вещества, энергии и информации во входной и выходной информационные потоки, а также преобразование выходной управляющей информации в реальные физические воздействия на объект управления и окружающую среду.

Разделение АСУ на управляемую и информационную подсистемы позволяет поставить вопрос о разработке обобщенного метода формирования информационных подсистем АСУ, совокупность которых может рассматриваться как единая система обработки информации и принятия решения. Ниже рассматривается обобщенное дерево функций автоматизированной системы управления технологическими процессами.

Дерево функций автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП)

I уровень

F^0 — целевое назначение АСУ ТП.

II уровень

$F^0 \begin{cases} F^1 & \text{— прием исходной информации,} \\ F^2 & \text{— организация управления технологическими процессами (ТП),} \\ F^3 & \text{— реализация управления.} \end{cases}$

III уровень

$F^1 \begin{cases} F_1^1 & \text{— ввод исходной информации,} \\ F_2^1 & \text{— первичная обработка исходной информации,} \\ F_3^1 & \text{— вторичная обработка исходной информации.} \end{cases}$
 $F^2 \begin{cases} F_1^2 & \text{— построение моделей ТП,} \\ F_2^2 & \text{— анализ состояния ТП,} \\ F_3^2 & \text{— принятие решения об управлении ТП.} \end{cases}$
 $F^3 \begin{cases} F_1^3 & \text{— формирование и воспроизведение управляющих воздействий,} \\ F_2^3 & \text{— представление информации о ТП.} \end{cases}$

IV уровень

$F_1 \begin{cases} F_{1.1}^1 & \text{— сбор текущей информации с внешних устройств,} \\ F_{1.2}^1 & \text{— поступление информации с внешних устройств.} \end{cases}$
 $F_2 \begin{cases} F_{2.1}^1 & \text{— контроль и обеспечение достоверности исходной информации,} \\ F_{2.2}^1 & \text{— организация функционирования информационной системы.} \end{cases}$
 $F_3 \begin{cases} F_{3.1}^1 & \text{— определение показателей процесса,} \\ F_{3.2}^1 & \text{— определение характеристик процесса.} \end{cases}$
 $F_1^2 \begin{cases} F_{1.1}^2 & \text{— построение статистических моделей ТП,} \\ F_{1.2}^2 & \text{— построение динамических моделей ТП.} \end{cases}$
 $F_2^2 \begin{cases} F_{2.1}^2 & \text{— анализ технологических ситуаций,} \\ F_{2.2}^2 & \text{— оперативный учет.} \end{cases}$
 $F_3^2 \begin{cases} F_{3.1}^2 & \text{— оперативное планирование хода ТП,} \\ F_{3.2}^2 & \text{— оперативно-диспетчерское управление ТП.} \end{cases}$
 $F_1^3 \begin{cases} F_{1.1}^3 & \text{— позиционное управление,} \\ F_{1.2}^3 & \text{— программное и логическое управление,} \\ F_{1.3}^3 & \text{— динамическое непрерывное управление,} \\ F_{1.4}^3 & \text{— оптимальное и адаптивное управление.} \end{cases}$
 $F_2^3 \begin{cases} F_{2.1}^3 & \text{— сигнализация событий,} \\ F_{2.2}^3 & \text{— вывод информации по запросу оператора,} \end{cases}$
 $F_3^3 \begin{cases} F_{3.1}^3 & \text{— предупредительная и аварийная сигнализация,} \\ F_{3.2}^3 & \text{— обмен сообщениями.} \end{cases}$

V уровень

- $F_{1.1}^1$: $F_{1.1.1}^1$ — сбор информации с датчиков аналоговых сигналов,
 $F_{1.1.2}^1$ — сбор информации с датчиков позиционных сигналов,
 $F_{1.1.3}^1$ — сбор информации с датчиков число-импульсных сигналов.
- $F_{1.2}^1$: $F_{1.2.1}^1$ — поступление информации с пульта ручного ввода,
 $F_{1.2.2}^1$ — поступление информации с внешних носителей информации,
 $F_{1.2.3}^1$ — поступление информации с устройств телепередачи данных,
 $F_{1.2.4}^1$ — поступление информации с экрана видеотерминала.
- $F_{2.1}^1$: $F_{2.1.1}^1$ — фильтрация входных сигналов,
 $F_{2.1.2}^1$ — обработка данных испытаний и анализов,
 $F_{2.1.3}^1$ — масштабирование и корректировка сигналов.
- $F_{2.2}^1$: $F_{2.2.1}^1$ — динамическая коррекция сигналов,
 $F_{2.2.2}^1$ — формирование информационной базы АСУ ТП,
 $F_{2.2.3}^1$ — экстра- и интерполяция измеряемых сигналов,
- $F_{3.1}^1$: $F_{3.1.1}^1$ — усреднение параметров,
 $F_{3.1.2}^1$ — расчет простейших показателей,
 $F_{3.1.3}^1$ — определение технико-экономических показателей.
- $F_{3.2}^1$: $F_{3.2.1}^1$ — определение статистических характеристик,
 $F_{3.2.2}^1$ — определение динамических характеристик,
 $F_{3.2.3}^1$ — расчет статистических характеристик.
- $F_{1.1}^2$: $F_{1.1.1}^2$ — воспроизведение статистических моделей ТП,
 $F_{1.1.2}^2$ — настройка и коррекция статистических моделей ТП.
- $F_{1.2}^2$: $F_{1.2.1}^2$ — воспроизведение динамических моделей ТП,
 $F_{1.2.2}^2$ — настройка и коррекция динамических моделей ТП.
- $F_{2.1}^2$: $F_{2.1.1}^2$ — прогнозирование хода ТП,
 $F_{2.1.2}^2$ — оперативный анализ показателей процесса,
 $F_{2.1.3}^2$ — контроль и диагностика работы оборудования,
 $F_{2.1.4}^2$ — диагностика каналов управления,
 $F_{2.1.5}^2$ — обнаружение событий,
 $F_{2.1.6}^2$ — оценка состояния рабочих сред и оборудования,
 $F_{2.1.7}^2$ — диагностика информационных каналов.
- $F_{2.2}^2$: $F_{2.2.1}^2$ — учет сырья, материалов и энергии,
 $F_{2.2.2}^2$ — учет выпускаемой продукции,
 $F_{2.2.3}^2$ — определение работоспособности и ремонтпригодности оборудования,
 $F_{2.2.4}^2$ — учет времени работы оборудования,
 $F_{2.2.5}^2$ — оценка оперативной деятельности персонала,
 $F_{2.2.6}^2$ — организация функций оперативного учета.
- $F_{3.1}^2$: $F_{3.1.1}^2$ — учет нормативных расходов сырья, энергии и оборудования,
 $F_{3.1.2}^2$ — согласование производительности производственных подсистем,
 $F_{3.1.3}^2$ — технико-экономическое планирование работы,
 $F_{3.1.4}^2$ — планирование состава оборудования,
 $F_{3.1.5}^2$ — организация ремонтов оборудования.
- $F_{3.2}^2$: $F_{3.2.1}^2$ — диспетчеризация процедур обработки информации,
 $F_{3.2.2}^2$ — определение оптимальной дисциплины обслуживания заявок на управление.

- $F_{1.1}^3$: $F_{1.1.1}^3$ — включение и выключение технологического оборудования,
 $F_{1.1.2}^3$ — позиционное автоматическое регулирование.
- $F_{1.2}^3$: $F_{1.2.1}^3$ — последовательное временное программное управление,
 $F_{1.2.2}^3$ — ситуационное управление.
- $F_{1.3}^3$: $F_{1.3.1}^3$ — многосвязное цифровое управление,
 $F_{1.3.2}^3$ — комбинированное цифровое управление,
 $F_{1.3.3}^3$ — воспроизведение управляющих воздействий,
 $F_{1.3.4}^3$ — настройка устройств управления.
- $F_{1.4}^3$: $F_{1.4.1}^3$ — статистическая оптимизация режимов работы агрегатов,
 $F_{1.4.2}^3$ — оптимальное распределение нагрузки между агрегатами,
 $F_{1.4.3}^3$ — оптимальное динамическое управление процессом.
- $F_{2.1}^3$: $F_{2.1.1}^3$ — предупредительная и аварийная сигнализация,
 $F_{2.1.2}^3$ — сигнализация состояния оборудования.
- $F_{2.2}^3$: $F_{2.2.1}^3$ — вывод информации на цифровые приборы,
 $F_{2.2.2}^3$ — вывод информации на видеотерминалы,
 $F_{2.2.3}^3$ — вывод информации на печатающие устройства.
- $F_{2.3}^3$: $F_{2.3.1}^3$ — вывод отчетной алфавитно-цифровой информации о ходе процесса,
 $F_{2.3.2}^3$ — регистрация предаварийных и аварийных ситуаций,
 $F_{2.3.3}^3$ — регистрация событий в нормальном режиме.
- $F_{2.4}^3$: $F_{2.4.1}^3$ — формирование различных сообщений,
 $F_{2.4.2}^3$ — обслуживание информационно-справочной системы.

ТИПОВЫЕ ПОДСИСТЕМЫ АСУ

Анализ дерева функций обобщенной структуры автоматизированной системы управления позволяет выделить следующие основные подсистемы:

1. Управляемая подсистема, включающая объект управления и окружающую среду.
2. Подсистема сбора информации о состоянии объекта управления и окружающей среды.
3. Подсистема анализа и оценки состояния объекта управления и окружающей среды.
4. Подсистема принятия решений.
5. Подсистема формирования управляющих воздействий.
6. Подсистема реализации управляющих воздействий.
7. Подсистема регистрации информации.
8. Подсистема связи и обмена информацией с другими подсистемами.

9. Подсистемы преобразования формы представления информации.

Каждая из выделенных подсистем представляет по существу функционально-ориентированный процессор. В зависимости от функций, реализуемых АСУ ТП, требуемых характеристик производительности системы, необходимой точности управления, динамических характеристик объекта управления, числа контролируемых параметров и управляющих воздействий определяются требования к управляющей подсистеме. Обобщенная структура АСУ ТП включает все выделенные подсистемы.

Требования к производительности системы резко возрастают при создании многоканальных автоматизированных систем, в которых управление несколькими объектами осуществляется единой управляющей системой. Примерами подобных многоканальных систем управления являются системы, обслуживающие несколько станков, обрабатывающие системы с многооперационными станками, боевые информационно-управляющие системы, используемые на флоте и в авиации.

ЭВОЛЮЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ АСУ

Очевидно, в функционально-структурной организации АСУ возможны два предельных варианта:

система с минимальной структурой, совмещающая в едином функциональном модуле перечисленные выше функции сбора информации, принятия решений и формирования управляющих воздействий (см. дерево функций АСУ ТП);

предельно декомпозированная структура, в которой каждой основной и дополнительной функции соответствует определенный модуль.

На первых этапах развития автоматизированных систем управления (системы управления стрельбой, первые разработки в области АСУ ТП) создавались специализированные аналоговые и цифровые, а также гибридные управляющие вычислительные машины. Их предшественниками были механические и электромеханические счетно-решающие устройства и управляющие автоматы. Механические и электромеханические аналоговые вычислительные системы интенсивно развивались перед второй мировой войной и в последующие 10—20 лет после ее окончания (1930—1960 гг.).

Несмотря на довольно высокий уровень развития электронных аналоговых вычислительных машин (АВМ) к середине 60-х гг., они не смогли занять достойного места в системах управления и широко использовались только для моделирования динамических процессов. Это объясняется ограниченными функциональными возможностями АВМ: отсутствием оперативной памяти, ограниченной алгоритмической универсальностью, однозначным соответствием структуры АВМ виду решаемой задачи, ограниченной точностью решения задач, жесткими требованиями к характеристикам комплектующих изделий и условиям эксплуатации.

Первые цифровые вычислительные машины (ЦВМ), несмотря на привлекательность алгоритмической универсальности, были дорогостоящими и ненадежными изделиями. Поэтому серьезное внедрение ЦВМ в управляющие системы началось только при освоении полупроводниковой элементной базы в начале 60-х гг.

На начальный период 60-х гг. приходится большое число разработок специализированных цифровых вычислительных машин (СЦВМ). Невозможность непосредственного использования универсальных ЦВМ для управления процессами была также связана с их ограниченными функциональными возможностями и техническим несовершенством машин второго поколения: ограниченная производительность, отсутствие устройств сопряжения с реальными объектами, отсутствие средств оперативного диалога пользователя с системой, недостаточный уровень надежности при работе в производственных и других экстремальных условиях.

Узкая специализация управляющих ЦВМ второго поколения была, естественно, экономически неоправданной. Создавались управляющие машины для управления производственными процессами в металлургии (управление доменной печью), управления технологическими процессами в химической промышленности, управления отдельными технологическими процессами в машиностроении, на транспорте, в связи и т. д. И для каждого процесса требовались разработка и освоение в производстве уникальной ЦВМ. Аналогично обстояло дело в специальном приборостроении и оборонных отраслях промышленности. Накопление опыта, переосмысление с единых позиций задач управления технологическими процессами и непрерывное совершенствование конструкторско-технологической базы позволили пе-

рейти к созданию многофункциональных управляющих ЦВМ. Во второй половине 60-х гг. были созданы управляющие машины широкого назначения «УМШН», «Днепр» и «УМІНХ».

Таким образом, традиционное для систем обработки информации и управления диалектическое противоречие «многофункциональность — специализация» на различных витках спирали развития автоматических и автоматизированных систем находило свое конкретное разрешение, однако тенденция создания многофункциональных модулей различного уровня была преобладающей. Эта тенденция сохранилась до настоящего времени, однако интенсивное развитие микропроцессорной техники неизбежно приводит к децентрализации отдельных управляющих подсистем.

В конце 60-х гг. была разработана агрегатная система средств вычислительной техники АСВТ, которая при переходе на элементную базу третьего поколения — интегральные микросхемы — трансформировалась в систему АСВТМ. Системы АСВТ и АСВТМ содержали широкий спектр модулей, реализующих следующие функции: съема и преобразования информации с объекта управления, обработки информации и принятия решений о ходе процесса управления, диалога с человеком-оператором, формирования и реализации воздействий на объект управления, связи и обмена информацией с другими системами, регистрации информации.

Перечисленные функции соответствуют основным макрофункциям дерева функций АСУ ТП. Конкретная реализация функций, соответствующих третьему уровню дерева функций АСУ ТП, обеспечивается соответствующими программными и аппаратными средствами. Во второй половине 70-х гг. были разработаны управляющие вычислительные комплексы (УВК) на основе малых машин серии СМ. Таким образом, как отмечалось выше, магистральным путем развития подсистем обработки информации и управления является многофункциональное использование технических и программных средств на всех уровнях системной организации, что соответствует стратегии формирования системы с минимальной структурой.

Непрерывное повышение производительности систем, усложнение структуры систем, распределенность объектов управления в пространстве, необходимость дистанционного управления системами, требование обеспечения вы-

сокой живучести сложных систем стимулируют развитие распределенных вычислительных и управляющих систем.

Сложность и высокая стоимость каналов связи, необходимость обеспечения автономного функционирования отдельных подсистем, с одной стороны, и отмеченное выше интенсивное развитие микропроцессорной техники, с другой стороны, приводят к пересмотру существующих принципов организации автоматизированных систем. Не высокая стоимость микропроцессорных комплектов БИС, возможность формирования на одной печатной плате модуля, эквивалентного по производительности ЭВМ второго поколения, позволяют перейти к новым принципам функционально-структурной организации автоматизированных систем.

Для систем, создаваемых сегодня и в ближайшем будущем, будут иметь место две противоположные тенденции: интеграция функций в одном модуле, дифференциация функций по отдельным модулям.

Системы первого типа с многофункциональными модулями съема, обработки информации и принятия решения будут характерны для централизованных систем и компактной аппаратуры; многофункциональные цифровые измерительные приборы, интеллектуальные терминалы, системы числового программного управления технологическим оборудованием, робототехнические системы и т. д.

Для более сложных и распределенных в пространстве систем будет типичной децентрализованная организация: системы управления сложным технологическим оборудованием, системы связи, многоуровневая автоматизированная система государственной статистики и т. д.

В системах специального назначения и системах, устанавливаемых на подвижных объектах, будут сосуществовать обе тенденции: первая тенденция будет соответствовать стратегии достижения минимальных габаритно-весовых характеристик и минимального потребления энергии, вторая обеспечит максимальную живучесть системы. Таким образом, на протяжении всей полувекковой истории становления и развития автоматических и автоматизированных систем решалась задача совершенствования их функционально-структурной организации с учетом взаимосвязи двух параллельно идущих эволюционных процессов — эволюции функций и эволюции технологий. Развитие информационно-управ-

ляющих систем соответствует сформулированному выше принципу многофункциональности и диалектической спирали «многофункциональность — специализация».

Непрерывное повышение требований к качеству выпускаемой продукции, автоматизация технологических процессов, переход к безлюдной технологии требуют широкого внедрения методов статистического контроля и регулирования качества массовой продукции. Несмотря на то что разработка и внедрение этих методов ведутся более десяти лет, только современный уровень развития технологических процессов и переход к их полной автоматизации позволяют решить задачу повышения качества массовой продукции в различных отраслях промышленности [101].

ГИБКИЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Реализация курса XXVI съезда на всемерную интенсификацию и повышение эффективности функционирования всего народного хозяйства требует новых методов и решений в организации управления производством. Современное производство характеризуется широкой номенклатурой и частой сменяемостью выпускаемых изделий. Несмотря на большую работу по унификации изделий и технологических процессов, доля мелкосерийного и среднесерийного производства в машиностроении, например, составляет 70—75%, и главное, продолжает неуклонно увеличиваться.

Естественным выходом из создавшегося положения является формирование гибких автоматических и автоматизированных производств (ГАП), способных производить широкую номенклатуру изделий и осуществлять быстро и экономично переход от выпуска изделий одного вида к выпуску изделий другого вида в пределах установленной номенклатуры.

ГАП создаются на уровне участка, цеха и даже целого предприятия и позволяют:

- сократить цикл изготовления изделий,
- повысить непрерывность производственного процесса,
- уменьшить тяжесть и повысить производительность труда,
- осуществить переход на безлюдную технологию.

ГАП реализуются на основе соответствующих производственных систем, обладающих свойствами гибкости и автоматичности функционирования.

При достаточной надежности работы оборудования и управляющей электронной аппаратуры, при высокой стойкости инструмента ГАП обеспечивают повышение производительности труда в 3—5 раз по сравнению с обычным производством.

Концепция ГАП соответствует основным закономерностям совершенствования функционально-структурной организации антропогенных систем:

- закономерности вещественно-энергетической и информационной целостности систем;

- закономерности повышения функциональной и структурной целостности систем;

- закономерности преемственности функционально-структурной организации развивающихся систем;

- закономерности перехода к ресурсосберегающим и экологически чистым комплексам с высоким уровнем функционально-структурной интеграции;

- принципу многофункциональности и диалектической спирали развития атропогенных систем.

Гибкая автоматическая производственная система (ГАПС) — это производственная система, реализующая гибкий автоматический процесс производства и представляющая взаимосогласованную совокупность станков с числовым программным управлением, промышленных роботов, автоматических транспортных средств, автоматических складов, центральной управляющей ЭВМ и работников, обслуживающих указанные средства.

В условиях наиболее развитого варианта автоматизации управленческих, конструкторских и технологических функций ГАПС непосредственно связана со следующими системами:

- автоматизированной системой управления производством (АСУП);

- системой автоматизированного проектирования изделий;

- автоматизированной системой технологической подготовки производства;

- системой автоматизированного проектирования технологических процессов и другими производственными системами и службами.

В ГАПС используются станки с числовым программным управлением (ЧПУ) с расширенными функциональными возможностями. В этих станках осуществляются автоматическая смена инструмента (до 120 единиц

режущего инструмента) и автоматическая смена обрабатываемых деталей.

Промышленные роботы представляют автоматы, запрограммированные на выполнение вспомогательных и некоторых основных производственных операций.

Выделяются три поколения роботов. К первому поколению относятся программно-управляемые роботы без развитых внешних сенсорных датчиков. Второе поколение представлено осязательными роботами, способными к простейшим видам адаптации. К третьему поколению относятся роботы с искусственным интеллектом.

Функционально-структурная целостность ГАПС во многом обеспечивается центральной управляющей ЭВМ, выполняющей следующие основные функции:

- оперативное планирование работы ГАПС;
- координацию работы всех подсистем ГАПС;
- хранение и передачу управляющих программ в станки с ЧПУ;

- контроль, управление и оптимизацию процессов загрузки технологического оборудования;

- управление измерительными и контрольными подсистемами;

- контроль и выдачу информации о работоспособности подсистем, недопущение аварийных ситуаций;

- подготовку и выдачу документированной информации о работе ГАПС.

При использовании ГАПС в несколько раз сокращается необходимое число работников и изменяется характер их труда. Основными категориями работников ГАПС являются: технологи-программисты, операторы, наладчики и вспомогательные рабочие.

Для успешного внедрения ГАПС исключительно важным является создание единой унифицированной технической основы ГАПС — создание унифицированных и совместимых друг с другом многофункциональных и специализированных модулей ГАПС: станков с ЧПУ, промышленных роботов, автоматических транспортных средств, автоматических складов, микропроцессорных информационно-управляющих подсистем, автоматически действующей контрольно-измерительной аппаратуры.

Важными социальными задачами являются подготовка специалистов-разработчиков ГАПС и подготовка высококвалифицированных кадров технологов-программистов и операторов ГАПС, а также психологическая адаптация людей к условиям их работы в роботизированном производстве.

ОСНОВНЫЕ КЛАССЫ БИОМЕДИЦИНСКИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В настоящем разделе рассматривается ряд примеров формирования базовых структур биомедицинских технических систем (БМТС), анализируются основные и дополнительные функции проблемно-ориентированных БМТС. Анализируются основные противоречия, разрешаемые при синтезе БМТС. Рассматриваются варианты функционально-структурной организации типовых БМТС и обсуждаются основные вопросы их технической реализации.

Формирование структур БМТС определенного функционального назначения ведется с позиций эволюционного синтеза, рассматриваются варианты реализации систем на основе специализированных и многофункциональных модулей. Производятся сравнение и качественный анализ синтезированных вариантов.

Рассматриваются следующие классы проблемно-ориентированных БМТС.

1. Информационно-диагностические БМТС. Данный класс систем включает:

- автоматизированные диагностические системы, системы оценки психофизиологического состояния человека,
- системы слежения за состоянием больного в палатах интенсивной терапии;
- системы оценки состояния подсистем живого организма,
- автоматизированные комплексы биохимического анализа,
- автоматизированные системы многопрофильной оценки здоровья (АСМОЗ) и др.

2. Управляющие БМТС. Этот класс включает следующие разновидности систем:

- автоматизированные системы для научных исследований биообъекта,

- БМТС управления функциональным состоянием человека,

системы реабилитации,
системы замещения внутренних органов и др.
3. Эргатические биотехнические системы — человеко-машинные системы, включающие:

тренажеры,
системы управления сложными объектами.

Информационно-диагностические БМТС относятся к системам разомкнутого типа. Управляющие БМТС представляют системы замкнутого типа. В эргатических биотехнических системах в контуре управления работает человек-оператор.

ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Задача формулируется следующим образом: разработать систему оценки психофизиологического состояния биообъекта. Система должна работать в автоматическом и полуавтоматическом режимах с регистрацией результатов анализа.

При рассмотрении данного вопроса будут опущены основные медицинские концепции выбора вида снимаемых физиологических показателей, определение и методика формирования основных информативных признаков, способов классификации состояния биообъекта и методов диагностики — определения конкретной нозологической группы заболевания. Основное внимание будет уделено анализу функций различных уровней диагностической системы, вопросам формирования структуры и возможным вариантам взаимного отображения функциональных и конструктивных модулей.

Сформулируем целевую функцию системы — диагностика состояния биообъекта (F^0). Основные функции системы: анализ состояния биообъекта (F^1); предъявление информации врачу (F^2).

Дополнительные функции системы: автоматизация процесса диагностики (F^3); контроль работоспособности диагностической системы (F^4).

Ниже приводится декомпозиция основных и дополнительных функций системы. В качестве символа декомпозиции используются двоеточие и фигурная скобка. Следует учитывать, что дополнительные функции сводятся к контролю процессов реализации базовых функций и повышению уровня сервиса системы.

I уровень

F^0 — диагностика состояния биообъекта.

II уровень

F^0 : $\left\{ \begin{array}{l} F^1 — анализ состояния биообъекта, \\ F^2 — предъявление информации врачу, \\ F^3 — автоматизация процесса диагностики, \\ F^4 — контроль работоспособности диагностической системы. \end{array} \right.$

III уровень

F^1 : $\left\{ \begin{array}{l} F_1^1 — получение информации о биообъекте, \\ F_2^1 — обработка информации о биообъекте. \end{array} \right.$
 F^2 : $\left\{ \begin{array}{l} F_1^2 — оперативное предъявление информации, \\ F_2^2 — регистрация информации. \end{array} \right.$
 F^3 : $\left\{ \begin{array}{l} F_1^3 — автоматизация процесса диагностики, \\ F_2^3 — автоматизация процесса предъявления информации. \end{array} \right.$
 F^4 : $\left\{ \begin{array}{l} F_1^4 — контроль съема и обработки информации, \\ F_2^4 — контроль предъявления информации. \end{array} \right.$

IV уровень

F_1^1 : $\left\{ \begin{array}{l} F_{1.1}^1 — объем биоинформации, \\ F_{1.2}^1 — первичная обработка информации. \end{array} \right.$
 F_2^1 : $\left\{ \begin{array}{l} F_{2.1}^1 — выделение информативных признаков, \\ F_{2.2}^1 — классификация состояний. \end{array} \right.$
 F_1^2 : $\left\{ \begin{array}{l} F_{1.1}^2 — преобразование информации к виду, удобному для предъявления, \\ F_{1.2}^2 — предъявление информации. \end{array} \right.$
 F_2^2 : $\left\{ \begin{array}{l} F_{2.1}^2 — преобразование информации, \\ F_{2.2}^2 — запись информации. \end{array} \right.$
 F_1^3 : $\left\{ \begin{array}{l} F_{1.1}^3 — определение последовательности операций, \\ F_{1.2}^3 — формирование управляющих воздействий. \end{array} \right.$
 F_2^3 : $\left\{ \begin{array}{l} F_{2.1}^3 — определение последовательности операций, \\ F_{2.2}^3 — формирование управляющих воздействий. \end{array} \right.$
 F_1^4 : $\left\{ \begin{array}{l} F_{1.1}^4 — контроль передачи, \\ F_{1.2}^4 — контроль хранения, \\ F_{1.3}^4 — контроль преобразования. \end{array} \right.$
 F_2^4 : $\left\{ \begin{array}{l} F_{2.1}^4 — контроль передачи, \\ F_{2.2}^4 — контроль хранения, \\ F_{2.3}^4 — контроль преобразования. \end{array} \right.$

V уровень

$F_{1.1}$: $\left\{ \begin{array}{l} F_{1.1.1} — усиление биосигналов, \\ F_{1.1.2} — коммутация сигналов, \\ F_{1.1.3} — сжатие информации, \\ F_{1.1.4} — буферизация информации. \end{array} \right.$
 $F_{1.2}$: $\left\{ \begin{array}{l} F_{1.2.1} — фильтрация биосигналов, \\ F_{1.2.2} — линеаризация показаний датчиков, \\ F_{1.2.3} — нормализация сигналов, \\ F_{1.2.4} — аналого-цифровые преобразования. \end{array} \right.$
 $F_{2.1}$: $\left\{ \begin{array}{l} F_{2.1.1} — выделение амплитудных и временных параметров сигналов, \\ F_{2.1.2} — статистическая обработка значений параметров. \end{array} \right.$

- $F_{2.2.1}^1$ — сравнение информативных признаков с пороговыми значениями;
 $F_{2.2.}^1: \begin{cases} F_{2.2.2}^1 & \text{— статистическая обработка,} \\ F_{2.2.3}^1 & \text{— логическая обработка.} \end{cases}$
 $F_{1.1.}^2: \begin{cases} F_{1.1.1}^2 & \text{— преобразование кодов,} \\ F_{1.1.2}^2 & \text{— преобразование формы представления информации.} \end{cases}$
 $F_{1.2.}^2: \begin{cases} F_{1.2.1}^2 & \text{— коммутация информационных потоков,} \\ F_{1.2.2}^2 & \text{— формирование сообщений.} \end{cases}$
 $F_{2.1.}^2: \begin{cases} F_{2.1.1}^2 & \text{— преобразование кодовых последовательностей,} \\ F_{2.1.2}^2 & \text{— преобразование формы представления информации.} \end{cases}$
 $F_{2.2.}^2: \begin{cases} F_{2.2.1}^2 & \text{— выбор способа регистрации,} \\ F_{2.2.2}^2 & \text{— выбор регистратора информации,} \\ F_{2.2.3}^2 & \text{— преобразование формы представления информации,} \\ F_{2.2.4}^2 & \text{— регистрация информации.} \end{cases}$
 $F_{1.1.}^3: \begin{cases} F_{1.1.1}^3 & \text{— анализ результата выполнения предыдущей операции,} \\ F_{1.1.2}^3 & \text{— принятие решения о типе следующей операции.} \end{cases}$
 $F_{1.2.}^3: \begin{cases} F_{1.2.1}^3 & \text{— выбор приемника (приемников) управляющих воздействий,} \\ F_{1.2.2}^3 & \text{— определение момента воздействия.} \end{cases}$
 $F_{2.1.}^3: \begin{cases} F_{2.1.1}^3 & \text{— анализ результата выполнения предыдущей операции,} \\ F_{2.1.2}^3 & \text{— принятие решения о типе следующей операции.} \end{cases}$
 $F_{2.2.}^3: \begin{cases} F_{2.2.1}^3 & \text{— выбор приемника управляющих воздействий,} \\ F_{2.2.2}^3 & \text{— определение момента воздействия.} \end{cases}$
 $F_{1.1.}^4: \begin{cases} F_{1.1.1}^4 & \text{— введение «избыточности» в сообщение,} \\ F_{1.1.2}^4 & \text{— контроль передачи сообщений,} \end{cases}$
 $F_{1.2.}^4: \begin{cases} F_{1.2.1}^4 & \text{— введение избыточности в запись,} \\ F_{1.2.2}^4 & \text{— контроль считываемой записи.} \end{cases}$
 $F_{1.3.}^4: \begin{cases} F_{1.3.1}^4 & \text{— ввод тестовой последовательности,} \\ F_{1.3.2}^4 & \text{— обработка тестовой последовательности,} \\ F_{1.3.3}^4 & \text{— оценка результата тестирования.} \end{cases}$
 $F_{2.1.}^4: \begin{cases} F_{2.1.1}^4 & \text{— формирование тестовой последовательности,} \\ F_{2.1.2}^4 & \text{— контроль оператором соответствия преобразования.} \end{cases}$
 $F_{2.2.}^4: \begin{cases} F_{2.2.1}^4 \\ F_{2.2.2}^4 \end{cases}$ — аналогично $F_{2.1.}^4$.
 $F_{2.3.}^4: \begin{cases} F_{2.3.1}^4 \\ F_{2.3.2}^4 \end{cases}$ — аналогично $F_{2.1.}^4$.

Реализация функций F^1 (анализ состояния биообъекта) сводится к получению информации о биообъекте (F_1^1) и обработке полученной информации (F_2^1). В свою очередь, выполнение перечисленных функций сводится к съему биоинформации ($F_{1.1}^1$), первичной обработке информации ($F_{1.2}^1$), выделению информативных (врачебных) призна-

ков ($F_{2.1}^1$) и классификации состояний биообъекта ($F_{2.2}^1$).

Обычно при диагностике производится измерение динамических (быстро изменяющихся параметров) — электрокардиограммы (ЭКГ), электроэнцефалограммы (ЭЭГ), электромиограммы (ЭМГ) и др. и измерение медленно изменяющихся параметров — температуры поверхности тела, верхнего и нижнего уровней артериального давления, частоты пульса и т. д. Естественно, что в систему могут вводиться данные биохимического анализа крови и мочи, заключение рентгеновского обследования, показатели респираторной системы организма и другие.

Сигналы первичных преобразователей информации (ППИ) подвергаются усилению ($F_{1.1.1}^1$), коммутации ($F_{1.1.2}^1$), буферизации ($F_{1.1.4}^1$) и сжатию во времени ($F_{1.1.3}^1$). Первичная обработка входной информации сводится к фильтрации сигналов ($F_{1.2.1}^1$), линеаризации показаний датчиков ($F_{1.2.2}^1$), нормализации сигналов (приведение к единой шкале, функция — $F_{1.2.3}^1$). В системах цифровой обработки информации производятся также аналого-цифровые преобразования сигналов.

Функция выделения информативных врачебных признаков о биообъекте предусматривает операции выделения амплитудных и временных параметров сигналов ($F_{2.1.1}^1$) и статистическую обработку полученных значений ($F_{2.1.2}^1$).

Классификация состояний биообъекта ($F_{2.2}^1$) сводится к сравнению информативных признаков с пороговыми значениями ($F_{2.2.1}^1$), реализуемому методами статистической ($F_{2.2.2}^1$) и (или) логической ($F_{2.2.3}^1$) обработки информации.

Следует отметить, что в последнее время ввиду недостаточной высокой эффективности использования статистических методов для решения задач классификации состояний и диагностики биообъекта, а также учитывая индивидуальность «нормы» и «патологии» каждого индивидуума, происходит переосмысливание традиционных методов диагностики. Большие перспективы для выявления патологий имеет использование лингвистических методов распознавания образов, а также использование концепций нежесткой логики.

При классификации состояний весьма перспективным является использование концепций искусственного интеллекта и аппарата нежесткой логики. Разрабатываются

диалоговые диагностические системы различных классов: системы доврачебного контроля и функционально-ориентированные системы, реализующие новые принципы медицинской диагностики.

Вторая основная функция — предъявление информации врачу (F^2) предполагает оперативное предъявление информации ($F_{1.2}^2$) в процессе диагностики и документальную регистрацию снятой информации и принятых решений ($F_{2.2}^2$). Оперативное предъявление информации пользователю (врачу) связано с реализацией функций преобразования информации к виду, удобному для предъявления ($F_{1.1}^1$), и функций непосредственного предъявления информации. Эти функции, в свою очередь, сводятся к преобразованию кодов ($F_{1.1.1}^1$) и преобразованию формы представления информации ($F_{1.1.2}^1$). Так, например, при использовании видеотерминалов необходимо преобразование выходных двоичных кодов в символы, высвечиваемые на экране видеотерминального устройства.

Предъявление информации требует также реализации функций формирования сообщений ($F_{1.2.2}^2$) и передачи этих сообщений на определенное оконечное устройство ($F_{1.2.1}^2$) — коммутации информационных потоков. Функция регистрации информации (F^2) сводится к реализации функций преобразования ($F_{2.2}^2$) и записи информации ($F_{2.1}^2$) и предполагает выполнение следующих операций: выбор способа регистрации (на магнитный носитель, на перфоленту, на широкополосную печать и т. д.), функция ($F_{2.2.1}^2$) и выбор номера регистратора информации ($F_{2.2.2}^2$) — конкретного периферийного устройства. Естественно, что реализация функции регистрации информации ($F_{2.2.4}^2$) требует преобразования исходных кодовых последовательностей, формируемых на выходе процессора в форму представления информации, воспринимаемую регистратором конкретного принципа действия — функций $F_{2.1.1}^2$, $F_{2.1.2}^2$ и $F_{2.2.3}^2$.

Реализация дополнительной функции автоматизации процесса диагностики (F^3) сводится к организации управления работой системы и распадается на две функции: автоматизацию процесса съема биоинформации и диагностики (F_1^3), автоматизацию процесса регистрации и предъявления информации (F_2^3). Реализация функций F_1^3 и F_2^3 сводится к формированию сигналов, распределенных во времени (определенная последовательность) и в пространстве (воздействие на определенный «элемент»). При этом должны быть реализованы функции определе-

ния последовательности операций ($F_{1.1}^3$ и $F_{2.1}^3$) и непосредственного формирования управляющих воздействий ($F_{1.2}^3$ и $F_{2.2}^3$). В свою очередь, декомпозиция указанных функций сводится к анализу результата выполнения предыдущей операции ($F_{1.1.1}^3$), принятия решения о типе следующей операции ($F_{1.1.2}^3$), выбору объектов воздействия ($F_{1.2.1}^3$) и непосредственного определения момента воздействия ($F_{2.2.2}^3$).

Декомпозиция функций контроля работоспособности (F^4) системы порождает функции контроля отдельных ее подсистем: съема и обработки информации (F_1^4) и правильности предъявления информации (F_2^4). Выполнение указанных функций сводится к контролю передачи ($F_{1.1}^4$, $F_{2.1}^4$), хранения ($F_{1.2}^4$, $F_{2.2}^4$) и преобразования ($F_{1.3}^4$, $F_{2.3}^4$) информации. Выполнение указанных функций в подсистеме обработки информации приводит к операциям: введению избыточности в сообщения ($F_{1.1.1}^4$, $F_{1.1.2}^4$), контролю передачи сообщений ($F_{1.1.2}^4$ и $F_{1.2.2}^4$), формированию тестовой последовательности ($F_{2.1.1}^4$), вводу ($F_{1.3.1}^4$) и обработке ($F_{1.3.2}^4$) тестовой последовательности, а также к оценке результата тестирования ($F_{1.4.3}^4$) и контролю оператором соответствия информации на выходе оконечных устройств с информацией, поступающей на вход подсистемы отображения (оконечного устройства).

В биотехнических системах используются следующие виды контроля: проверка калибровки первичных преобразователей информации и трактов первичного преобразования информации; методы аппаратного контроля передачи сообщений (контроль по нечетности); тестовые методы контроля для проверки работоспособности подсистемы обработки информации и периферийного оборудования.

СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Система оценки психофизиологического состояния человека может использоваться как для анализа и регистрации психофизиологических характеристик пациента, так и входить, в качестве подсистемы, в рассмотренную выше автоматизированную систему оценки состояния биообъекта. Целевая функция рассматриваемой системы — оценка психофизиологического состояния пациента (F^0). Основные функции системы: тестирование пациента (F^1) и оценка результатов тестирования (F^2). Дополнительные функции системы аналогичны дополнительным функциям системы, рассмотренной выше.

Построим дерево функций системы оценки психофизиологического состояния человека (только для базовых функций).

I уровень

F^0 — оценка психофизиологического состояния пациента.

II уровень

$F^0: \begin{cases} F_1^1 & \text{— тестирование пациента,} \\ F & \text{— оценка результатов тестирования.} \end{cases}$

III уровень

$F^1: \begin{cases} F_1^1 & \text{— выбор теста,} \\ F_2^1 & \text{— формирование теста.} \end{cases}$
 $F^2: \begin{cases} F_1^2 & \text{— сбор ответной информации,} \\ F_2^2 & \text{— анализ ответной информации.} \end{cases}$

IV уровень

$F_1^1: \begin{cases} F_{1.1}^1 & \text{— определение цели тестирования,} \\ F_{1.2}^1 & \text{— формирование последовательности предъявления тестов.} \end{cases}$
 $F_2^1: \begin{cases} F_{2.1}^1 & \text{— оценка особенностей объекта тестирования,} \\ F_{2.2}^1 & \text{— адаптация тестовых программ.} \end{cases}$
 $F_1^2: \begin{cases} F_{1.1}^2 & \text{— прием ответной информации,} \\ F_{1.2}^2 & \text{— накопление ответной информации.} \end{cases}$
 $F_2^2: \begin{cases} F_{2.1}^2 & \text{— упорядочение ответной информации,} \\ F_{2.2}^2 & \text{— принятие решения.} \end{cases}$

V уровень

$F_{1.1}^1: \begin{cases} F_{1.1.1}^1 & \text{— анализ возможных вариантов тестирования,} \\ F_{1.1.2}^1 & \text{— выбор программы тестирования.} \end{cases}$
 $F_{1.2}^1: \begin{cases} F_{1.2.1}^1 & \text{— адаптация программ тестирования,} \\ F_{1.2.2}^1 & \text{— формирование выходной тестовой последовательности.} \end{cases}$
 $F_{2.1}^1: \begin{cases} F_{2.1.1}^1 & \text{— учет анамнестических данных,} \\ F_{2.1.2}^1 & \text{— анализ ответных реакций.} \end{cases}$
 $F_{2.2}^1: \begin{cases} F_{2.2.1}^1 & \text{— коррекция программ с учетом анамнестических данных,} \\ F_{2.2.2}^1 & \text{— коррекция программ с учетом ответных реакций.} \end{cases}$
 $F_{1.1}^2: \begin{cases} F_{1.1.1}^2 & \text{— преобразование ответных реакций в машинную форму представления информации,} \\ F_{1.1.2}^2 & \text{— передача ответной информации в систему.} \end{cases}$
 $F_{1.2}^2: \begin{cases} F_{1.2.1}^2 & \text{— прием ответной информации,} \\ F_{1.2.2}^2 & \text{— фиксация ответной информации.} \end{cases}$
 $F_{2.1}^2: \begin{cases} F_{2.1.1}^2 & \text{— сжатие ответной информации,} \\ F_{2.1.2}^2 & \text{— введение призначной информации,} \\ F_{2.1.3}^2 & \text{— формирование информационного «ядра».} \end{cases}$
 $F_{2.2}^2: \begin{cases} F_{2.2.1}^2 & \text{— классификация (промежуточная) результата тестирования,} \\ F_{2.2.2}^2 & \text{— оценка ситуации,} \\ F_{2.2.3}^2 & \text{— предъявление решения.} \end{cases}$

Ветви дерева, соответствующие дополнительным функциям системы, аналогичны соответствующим ветвям дерева функций информационно-диагностической системы.

Системы психофизиологической оценки состояния используются в основном для оценки профессиональной пригодности для ряда профессий: водителей транспортных средств, пилотов, операторов ответственных объектов и т. д. Эти же средства могут быть использованы при допуске человека к месту работы и для контроля его психофизиологического состояния во время работы (при соответствующей трансформации системы тестирования).

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ БИООБЪЕКТА

В последние годы все большее распространение получает новый класс биотехнических систем — системы управления функциональным состоянием биообъекта. Системы этого класса могут быть как разомкнутыми, так и замкнутыми. Разомкнутые системы управления функциональным состоянием известны давно. К ним могут быть отнесены системы, в которых осуществляется воздействие веществом V (например, медикаментозное воздействие, изменение состава и параметров среды, в которой находится биообъект и т. д.), энергией E (массаж, воздействие электрических и магнитных полей различной частоты, тепловых полей, невосомости и т. д.), а также информационное воздействие I (психотерапия, гипноз, аутотренинг и т. д.).

Как правило, с целью достижения требуемого терапевтического эффекта или управления функциональным состоянием человека в экстремальных условиях используется комплексное воздействие. Так, например, при терапии используются: медикаментозные средства и электромиостимуляция в сочетании с воздействием СВЧ полями. В настоящее время все большее распространение получает акупунктура — воздействие на биологически активные точки (БАТ) электрическими сигналами, электромагнитными и тепловыми полями.

Заметим, что современная акупунктура имеет свои корни в древнейшей восточной иглотерапии, а лечение магнитными полями было известно еще в XVI веке. Новейший японский аппарат типа «Магнитайзер» сочетает воздействие магнитного и теплового полей с механическим низкочастотным воздействием. Большие перспективы открывает создание приборов, в которых

воздействие на БАТ осуществляется синхронно с биоритмами человека, например синхронно с частотой сердечных сокращений или частотой дыхания.

Необходимо отметить также многофункциональный аспект акупунктурных воздействий — рефлексотерапии. Рефлексотерапия может использоваться для функциональной диагностики отдельных подсистем и органов организма, для блокировки болевых ощущений («электронная аптечка»), для программированного терапевтического воздействия.

В перспективе будут интенсивно развиваться замкнутые системы оценки и управления функциональным состоянием биообъекта. Такие системы создаются в первую очередь для исследовательских целей, для контроля и управления функциональным состоянием человека в экстремальных условиях: при работе в космическом пространстве, при глубоководных погружениях, при повышенной радиационной опасности и т. д.

Со временем замкнутые системы управления функциональным состоянием человека будут использоваться с терапевтическими целями и в режиме реабилитации больных. Подобные системы уже широко используются и сегодня. Достаточно вспомнить адаптивные кардиостимуляторы, синхронизирующие работу сердечной мышцы в соответствии с выполняемой физической работой, миостимуляторы и другие новейшие медицинские приборы и аппараты.

ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА ЗАМКНУТОЙ БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

При построении дерева функций БМТС рассмотрение внутрисистемных функций ведется независимо от их программной или аппаратной реализации. Анализ дерева функций позволяет выделить основные подсистемы разрабатываемой БМТС (рис. 13.1).

Рассмотрим, как наиболее общий случай, систему диагностики и управления функциональным состоянием биообъекта как путем воздействия на биообъект (БО), так и посредством изменения параметров окружающей среды (ОС).

С БО и ОС снимается информация в виде проб вещества V , энергии E , значения которой могут регистрироваться непосредственно и путем косвенных измерений, информации I (например, в вербальной форме). Соот-

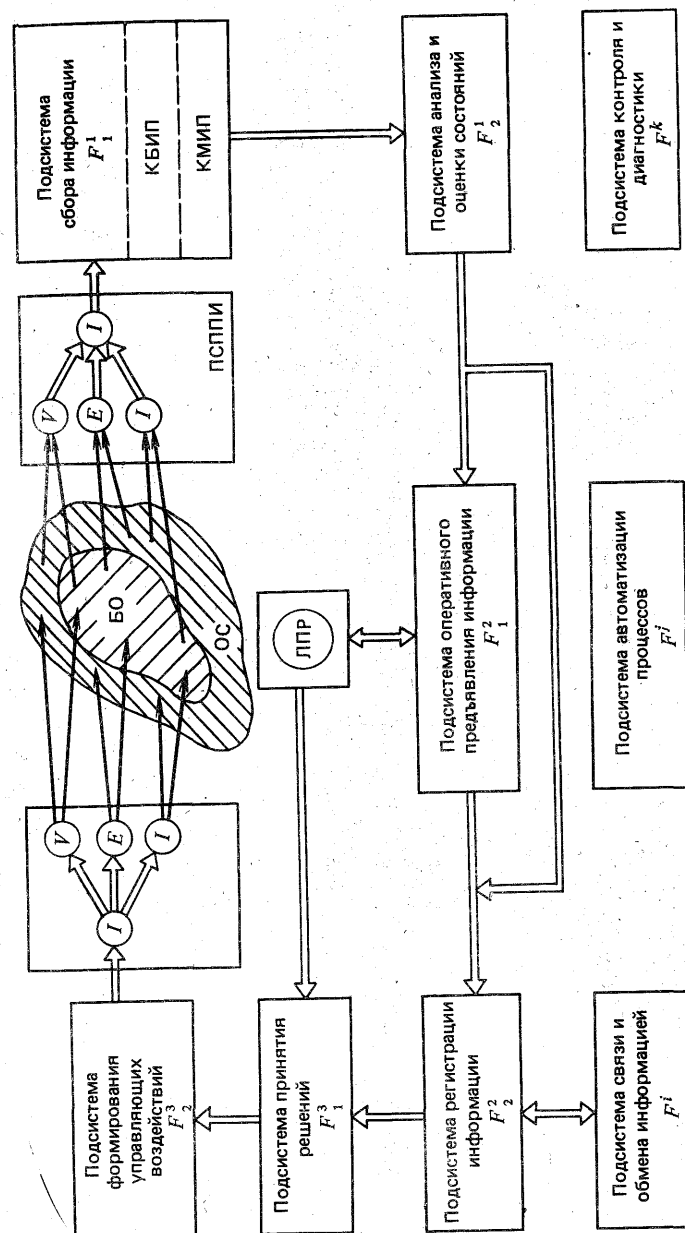


Рис. 13.1. Обобщенная структура замкнутой биотехнической системы

ветственно для БО и ОС возможны три формы воздействия: веществом V , энергией E , информацией I .

Проанализируем отдельные подсистемы, воспроизводящие основные и дополнительные функции БМТС.

Подсистема первичного преобразования информации (ПСППИ). Функциональное назначение подсистемы заключается в преобразовании вещества, энергии и информации с БО и ОС во входные сигналы информационно-управляющей системы. Преобразование вещества происходит путем взятия проб; при преобразовании энергии используются в основном полевые датчики; ответные реакции биообъекта кодируются в сигналы, подлежащие обработке. Наибольшее распространение при создании разомкнутых и замкнутых автоматизированных систем различного функционального назначения получили преобразователи с электрическим выходом. Это объясняется удобством дистанционной передачи и обработки электрических сигналов.

Подсистема сбора информации (ПССИ). В состав подсистемы сбора информации (рис. 13.2) входят следующие функциональные модули: УМ — усилительный модуль, МФ — модуль фильтрации, МЛ — модуль линеаризации, МН — модуль нормализации, АЦП — аналого-цифровой преобразователь, МСИ — модуль сжатия

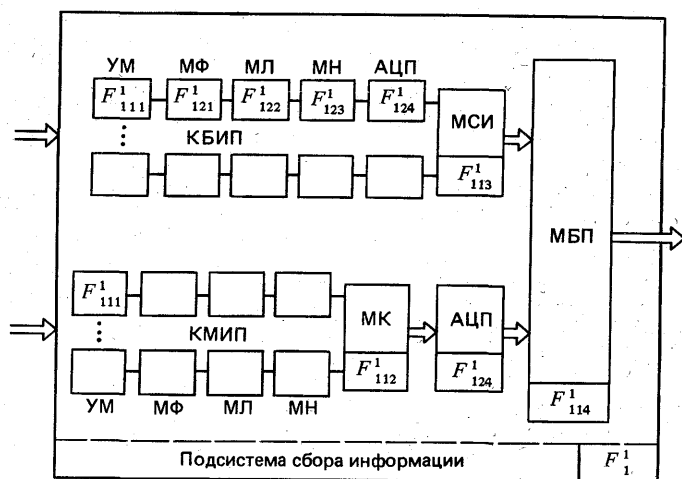


Рис.13.2. Подсистема сбора информации

информации, МК — модуль коммутации, МБП — модуль буферной памяти. Сбор и первичная обработка информации производится в КБИП — канале быстроизменяющихся параметров и в КМИП — канале медленноизменяющихся параметров и могут осуществляться в аналоговой, цифровой и гибридной формах представления информации.

Основными функциями ПССИ являются: усиление сигналов, фильтрация, линеаризация, аналого-цифровое преобразование, коммутация, нормализация, буферизация сигналов.

Подсистема анализа и оценки состояний (ПСАОС). Подсистема анализа и оценки состояний (рис. 13.3) состоит из следующих модулей: МВИП — модуль выделения информативных признаков, МВАВП — модуль выделения амплитудных и временных параметров, МСО — модуль статистической обработки, МКС — модуль классификации состояний, МСИП — модуль сравнения информативных признаков с пороговыми значениями, МЛО — модуль логической обработки. Подсистема выполняет функции выделения информативных признаков и классификации состояний. Эти

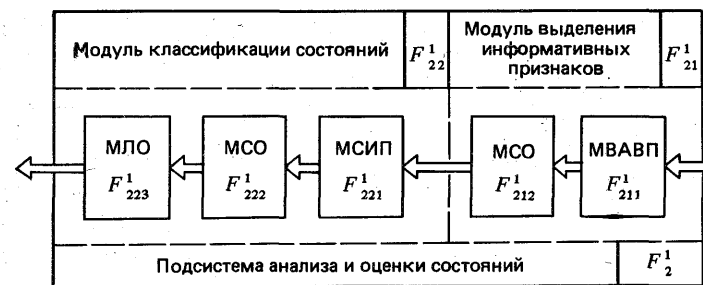


Рис. 13.3. Подсистема анализа и оценки состояний

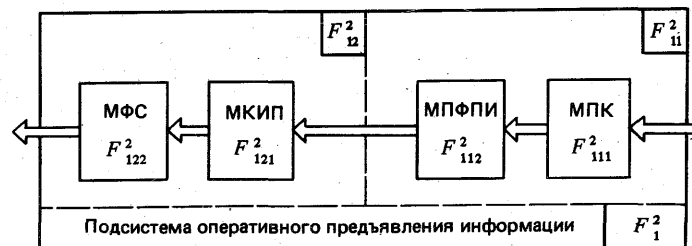


Рис. 13.4. Подсистема оперативного предъявления информации

функции реализуются, как правило, программными методами.

Подсистема оперативного предъявления информации (ПСОПИ). Состав подсистемы оперативного предъявления информации (рис. 13.4) определяют следующие модули: МПК — модуль преобразования кодов, МПФПИ — модуль преобразования формы представления информации, МКИП — модуль коммутации информационных потоков, МФС — модуль формирования сообщений. Информация может поступать к лицу, принимающему решение (ЛПР) в различной форме: визуальной, слуховой, сенсорной.

Подсистема регистрации информации (ПСРИ). Подсистема регистрации информации (рис. 13.5) реализуется функциональными модулями: МПКП — модуль

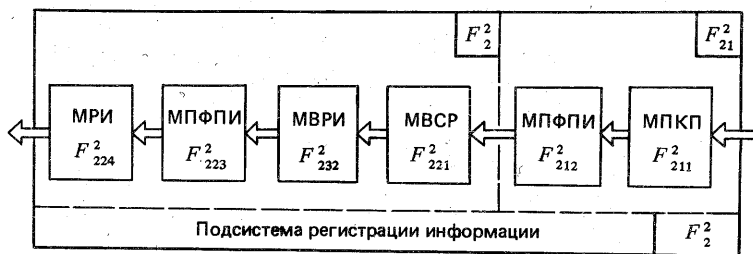


Рис. 13.5. Подсистема регистрации информации

лем преобразования кодовых последовательностей, МПФПИ — модулем преобразования формы представления информации, MBSP — модулем выбора способа регистрации, MBRI — модулем выбора регистратора информации, MRI — модулем регистрации информации. Основные функции ПСРИ: регистрация информации о БО и ОС; регистрация информации о функционировании системы. Для долговременной регистрации информации используются регистраторы на магнитных лентах. Такая регистрация может осуществляться в аналоговой и цифровой формах. Обычно применяются либо накопители серийных ЭВМ, либо специальные системы модуляции, демодуляции на базе бытовых магнитофонов. В последние годы системы комплектуются накопителями на магнитных дисках.

Подсистема принятия решений (ПСПР). Модули, определяющие состав подсистемы принятия решений (рис. 13.6): МФВСС — модуль формирования вектора

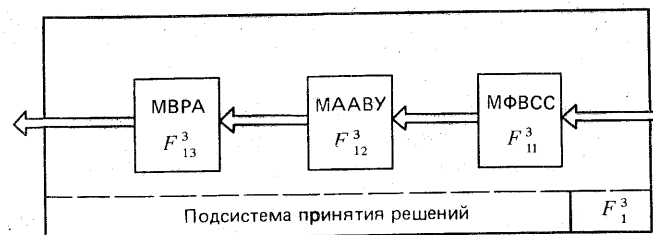


Рис. 13.6. Подсистема принятия решений

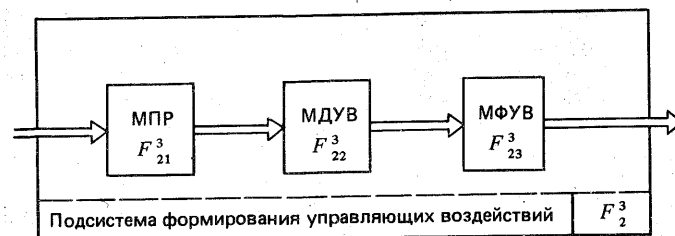


Рис. 13.7. Подсистема формирования управляющих воздействий

состояния системы, МААВУ — модуль анализа альтернативных вариантов управления, МВРА — модуль выработки рабочей альтернативы. Модуль формирования вектора состояния системы — многозарядный регистр, на котором хранится следующая информация: вид эксперимента; закодированная предыстория поведения БО, отнесенная к типовой ситуации; текущее состояние БО и ОС; принятая стратегия проведения эксперимента.

Для ЛПР на дисплее представляются возможные альтернативные варианты управления БО и ОС.

Подсистема формирования управляющих воздействий (ПСФУВ). В состав подсистемы (рис. 13.7) входят: МПР — модуль принятия решения о способе управления, МДУВ — модуль декомпозиции управляющих воздействий, МФУВ — модуль формирования управляющих воздействий. Задача подсистемы — распределение управляющих сигналов во времени и пространстве, дозировка воздействий. Технически эти модули реализуются наборами регистров, счетчиков, дешифраторов, реле, исполнительных механизмов.

Подсистема контроля и диагностики работоспособности системы (ПСКД) реализуется программными методами с выводом контролируемых параметров на печатающее устройство, а также с воспроизведением

звукового или светового сигнала об аварийных ситуациях.

Функции подсистемы автоматизации процесса (ПСАП) состоят в управлении распределением вычислительных ресурсов, определении очередности операции и т. п. Реализация подсистемы, как правило, программная.

Подсистема связи и обмена информации (ПССОИ) обеспечивает внутрисистемный обмен информацией, обмен информацией с удаленными объектами, телеобработку информации. Функции ПССОИ реализуются набором аппаратуры, называемой субкомплексом связи с объектом, модулями связи: интерфейсами различного назначения, дуплексными регистрами, модулями согласования, модулями приема и передачи данных в совокупности с программными методами.

Подсистема реализации управляющих воздействий (ПСРУВ). В подсистеме реализации управляющих воздействий происходит преобразование информации I , формируемой на выходе информационно-управляющей системы, в вещество V , энергию E , информацию I , воздействующие на БО и ОС. Преобразование информации в вещество может быть иллюстрировано определением дозы соответствующего набора лекарственных препаратов. Воздействие на ОС характеризуется изменением климатических параметров: газового состава, влажности и т. д. Для преобразования информации в энергию характерно определение изменения интенсивности облучения объекта, количественных характеристик воздействия электрических, магнитных и электромагнитных полей, а также тепловых воздействий. Преобразование «информации» в «информацию» можно представить как передачу требуемых решений системы, например в командной форме биологическому объекту. ЛПР — лицо, принимающее решение (врач, экспериментатор), несет ответственность за последствия реализации воздействий на биологические объекты.

Формирование функциональных подсистем осуществляется в соответствии с деревом функций информационно-диагностической системы. Конкретные варианты БТС формируются путем покрытия выделенных функциональных модулей конструктивными модулями.

Использование микропроцессорных комплектов БИС позволяет создать экономичные и надежные подсистемы БТС.

ЭРГАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Эргатические системы являются наиболее распространенными и разнообразными по своему функциональному назначению. Вопросам создания человеко-машинных комплексов, решению эргономических задач посвящено большое число работ, ежегодно проводятся представительные симпозиумы по этой тематике. Однако, как правило, основное внимание уделяется эргономическим вопросам: способам и средствам предъявления информации человеку, архитектуре и дизайну автоматизированных рабочих мест (АРМ) оператора и т. д. К сожалению, остаются в тени наиболее важные вопросы функционально-структурной организации деятельности оператора в системе. Прежде всего необходимо решать основной вопрос — распределение функций между человеком и технической системой, отдельными ее подсистемами.

К наиболее сложным современным эргатическим системам можно отнести системы управления мощными энергетическими комплексами.

Мелькание стрелок десятков, сотен приборов не только утомляет оператора энергосистемы, пилота самолета, но и становится опасным в критических ситуациях. ЭВМ, встраиваемые в информационно-измерительные комплексы, позволяют пересмотреть традиционную функционально-структурную организацию систем и предъявлять человеку-оператору интегральные показатели, характеризующие функционирование управляемого объекта. При включении ЭВМ в эргатическую систему может быть реализован ряд дополнительных функций: адаптивное предъявление информации оператору, выдача рекомендаций при нормальном режиме, выдача рекомендаций оператору при аварийном режиме работы, блокировка системы при неправильных действиях оператора.

В зависимости от психофизиологического состояния оператора ему может предъявляться полный объем информации о системе либо предъявляется наиболее информативная ее часть, необходимая для принятия решения в возникшей ситуации. При возникновении аварийного режима работы и других экстремальных ситуациях в эргатической системе с расширенным набором сервисных функций формируются возможные альтернативы действий оператора. Однако окончатель-

ное решение о переходе на тот или иной режим работы принимает человек.

При дальнейшем развитии систем данного класса возможен экспресс-диалог оператора с целью уточнения состояния отдельных подсистем и прогнозирования последствий принимаемых решений. Естественно, что такой диалог должен вестись на языке высокого уровня, желательно использование систем речевого ввода либо функционально-ориентированной клавиатуры. Ответная информация от системы может поступать как по слуховому, так и по традиционному визуальному каналу.

В экстремальных ситуациях при неправильных действиях обслуживающего персонала должна осуществляться блокировка системы и необходимо формирование сигналов, подсказывающих правильное действие. На первых этапах освоения космического пространства, на кораблях «Восток» был установлен «логический замок» на системе ручного управления.

Существенное сжатие объема информации, предъявляемой оператору (пилоту, водителю), может быть достигнуто при использовании аппарата нежесткой логики. Для человека, управляющего системой, важно, как правило, не количественное значение определенного параметра (параметров), характеризующих состояние системы, а достаточна более грубая оценка. В большинстве случаев необходимо знать, что параметры находятся в норме и грубо оценивать их отклонения от требуемых значений. В зависимости от особенностей управляемого процесса возможны различные градации отклонений конкретного параметра: «норма», «больше нормы», «меньше нормы», «много больше нормы» и т. д.

Использование аппарата нежесткой логики позволяет упростить входные преобразователи информации, так как вместо точного кодирования входных значений достаточно качественной оценки этих значений. Таким образом, входной информацией для систем, использующих принципы нежесткой логики, являются по существу уровни (градации) значений. Если создание высокоточных (10—18-разрядных) преобразователей связано с большими техническими трудностями, то создание «преобразователей уровня» (лингвистических преобразователей) не встречает принципиальных трудностей. В качестве таких преобразователей могут использоваться малоразрядные, грубые преобразователи соответствующей информации. Для кодирования уровней

значений (формирование лингвистической переменной: «норма», «меньше нормы», «больше нормы», и т. д.) могут быть использованы 3—4-разрядные преобразователи информации. В действующих системах, использующих прецизионные аналого-цифровые преобразователи, ввод данных в лингвистический процессор, предназначенный для обработки «нежесткой» информации, может осуществляться от старших 3—4 разрядов входного преобразователя.

Исследования показывают, что структура лингвистических процессоров может быть существенно проще, чем структура процессоров для традиционной цифровой обработки. Это связано с тем, что основные логические операции в нежесткой логике не сложнее соответствующих операций в традиционной булевой алгебре, а длина операндов (разрядность лингвистических переменных) существенно короче длины обычно обрабатываемых слов [102].

Следует также отметить, что и устройства выдачи и предъявления пользователю лингвистической информации существенно проще традиционных устройств отображения информации, так как в данном случае производится не вся шкала выходных интегральных параметров, а только их определенные градации. В связи с этим выходные устройства могут быть представлены простейшими индикаторными панелями, световыми табло, определенной цветовой гаммой индикаторных ламп. Декодирование сигналов, поступающих на входы управляемой системы, также упрощается.

Интуитивное использование концепций нежесткой логики давно имело место при создании средств отображения информации о состоянии сложных систем. В настоящее время концепция нежесткой логики находит все большее применение по мере усложнения систем и повышения их производительности и скоростей реализуемых операций.

В ряде моделей автомобилей (например, «Москвич») устанавливаются приборы с выделением на шкале отдельных информативных зон. Приборный щиток автомобиля может являться хорошим примером эволюционного процесса интеграции и дифференциации функций в конструктивном модуле.

Заслуживает большого внимания моноэффекторный способ управления сложной системой. На пульте управления эргатической системой отсутствуют многочисленные тумблеры и переключатели. Оператор работает только с одной рукояткой «курбелем», напоминающим штурвал самолета. При нажатии на рукоятку срабатывает микровыключатель и в систему вводятся дискретные данные, при повороте (качании) «рукоятки» — вводится непрерывная информация. При разработке моноэффекторного способа управления необходимо было решить одну, но достаточно сложную задачу — одним «курбелем» реализовать совокупность функций управления энергетической системы по различным каналам. Для уменьшения времени реакции оператора на отклонение определенного параметра требовалось осуществить «бесконтактные» подключения соответствующей подсистемы к единому многофункциональному органу управления. При обзоре большой приборной панели оператор неизбежно поворачивает голову в направлении нужного прибора, поэтому одним из возможных путей решения задачи «бесконтактной» коммутации каналов может являться использование преобразования угла поворота головы оператора в «координаты» соответствующего прибора (канала). В контур коммутации включается управляющая микро-ЭВМ, реализующая алгоритм преобразования координат (выбора номера подключаемого прибора, соответствующего определенному положению головы оператора). Для ввода управляющей информации в ЭВМ используется ультразвуковая приемопередающая система, состоящая из передатчика, смонтированного в шлеме оператора, и двух приемников, закрепленных на плечах оператора. При подключении прибора, на который направлен взгляд оператора, под прибором вспыхивает соответствующий индикатор: «канал готов к работе». Оператор производит необходимую регулировку параметров канала

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ

Автоматизированные системы управления микроклиматом создаются в различных отраслях народного хозяйства: в микроэлектронной промышленности при испытании элементов и систем, работающих в различных климатических условиях, и т. д. В последние годы в связи с интенсификацией сельскохозяйственного произ-

водства интенсивно развиваются автоматизированные системы управления микроклиматом зимних теплиц.

В основу автоматизированной системы управления микроклиматом теплицы (АСУМТ) положен принцип ситуационного управления, суть которого состоит в автоматическом анализе системой некоторого множества возможных ситуаций и принятии решения, соответствующего определенной стратегии управления и определенной фазе управляемого процесса. На основе формализованного аппарата обобщения в системе воспроизводится модель окружающей среды в виде некоторого множества описаний классов типовых ситуаций и соответствующих им решений. Процесс решения задачи сводится к отнесению текущей конкретной ситуации к одному из априорно сформированных классов и выработке решения, соответствующего определенной типовой ситуации. Таким образом, в системе в соответствующие моменты времени производится формирование определенных воздействий, преобразующих внутреннюю среду теплицы и осуществляющих взаимодействие с внешними системами. Ниже приводится декомпозиция основных и дополнительных функций АСУМТ. Дерево функций АСУМТ позволяет конкретно в сжатой и наглядной форме представить функционально-структурную организацию системы, функции, реализуемые отдельными подсистемами, и соответствующие им функциональные модули.

Дерево функций АСУМТ

I уровень

Целевая функция системы:

F_0 — ситуационное управление средой в теплице с учетом воздействия внешних климатических факторов.

II уровень

Основные функции системы:

F^1 — анализ состояния объектов управления микроклиматом и технологическими процессами (ТП) в теплице;

F^2 — предъявление оператору и накопление информации о состоянии объектов управления микроклиматом и ТП;

F^3 — принятие решений и реализация управляющих воздействий.

Дополнительные функции системы:

F^4 — оперативный контроль работоспособности системы;

F^5 — статистический анализ хода технологических процессов;

F^6 — связь системы с другими системами и подсистемами.

III уровень

Основные функции:

F^1 : $\begin{cases} F^1_1 — сбор информации о состоянии объектов управления, \\ F^1_2 — предварительная обработка информации. \end{cases}$

- F^2 : $\begin{cases} F^2_1 & \text{— оперативное предъявление информации ЛПР} \\ F^2_2 & \text{— регистрация информации.} \end{cases}$
- F^3 : $\begin{cases} F^3_1 & \text{— формирование модели окружающей среды,} \\ F^3_2 & \text{— принятие решений о способе управления,} \\ F^3_3 & \text{— автоматизация процесса управления,} \\ F^3_4 & \text{— формирование управляющих воздействий.} \end{cases}$

Дополнительные функции:

- F^4 : $\begin{cases} F^4_1 & \text{— контроль съема и обработки информации,} \\ F^4_2 & \text{— контроль предъявления информации.} \end{cases}$
- F^5 : $\begin{cases} F^5_1 & \text{— анализ информации о состоянии объектов управления.} \\ F^5_2 & \text{— анализ информации о ходе процессов управления.} \end{cases}$
- F^6 : $\begin{cases} F^6_1 & \text{— внутрисистемный обмен,} \\ F^6_2 & \text{— обмен информацией с системами других уровней.} \end{cases}$

IV уровень

Основные функции:

- F^1 : $\begin{cases} F^1_{1.1} & \text{— съем информации,} \\ F^1_{1.2} & \text{— первичная обработка информации.} \end{cases}$
- F^2 : $\begin{cases} F^2_{1.1} & \text{— выделение информативных признаков,} \\ F^2_{1.2} & \text{— классификация состояний.} \end{cases}$
- F^3 : $\begin{cases} F^3_{1.1} & \text{— преобразование информации к виду, удобному} \\ & \text{для предъявления ЛПР,} \\ F^3_{1.2} & \text{— предъявление информации.} \end{cases}$
- F^4 : $\begin{cases} F^4_{1.1} & \text{— преобразование информации,} \\ F^4_{1.2} & \text{— запись информации.} \end{cases}$
- F^5 : $\begin{cases} F^5_{1.1} & \text{— формирование данных модели окружающей среды,} \\ F^5_{1.2} & \text{— формирование стратегии управления лицом, принимающим решение.} \end{cases}$
- F^6 : $\begin{cases} F^6_{1.1} & \text{— формирование вектора состояния системы,} \\ F^6_{1.2} & \text{— анализ альтернативных вариантов управления} \\ & \text{объектом и аварийных ситуаций,} \\ F^6_{1.3} & \text{— прогнозирование возможных ситуаций,} \\ F^6_{1.4} & \text{— выбор рабочей альтернативы.} \end{cases}$
- F^7 : $\begin{cases} F^7_{1.1} & \text{— анализ результатов выполнения предыдущей операции,} \\ F^7_{1.2} & \text{— принятие решения о типе следующей операции,} \\ F^7_{1.3} & \text{— преобразование информации.} \end{cases}$
- F^8 : $\begin{cases} F^8_{1.1} & \text{— принятие решения о способе управления или аварийном сигнале,} \\ F^8_{1.2} & \text{— декомпозиция управляющих воздействий во времени и пространстве.} \end{cases}$

Дополнительные функции:

- F^1 : $\begin{cases} F^1_{1.1} & \text{— контроль передачи,} \\ F^1_{1.2} & \text{— контроль хранения,} \\ F^1_{1.3} & \text{— контроль преобразования.} \end{cases}$
- F^2 : $\begin{cases} F^2_{1.1} & \text{— контроль передачи,} \\ F^2_{1.2} & \text{— контроль хранения,} \\ F^2_{1.3} & \text{— контроль преобразования.} \end{cases}$
- F^3 : $\begin{cases} F^3_{1.1} & \text{— преобразование информации к виду, удобному для} \\ & \text{предъявления,} \\ F^3_{1.2} & \text{— предъявление информации.} \end{cases}$

- F^5 : $\begin{cases} F^5_{1.1} & \text{— выделение информативных признаков,} \\ F^5_{1.2} & \text{— запись информации.} \end{cases}$
- F^6 : $\begin{cases} F^6_{1.1} & \text{— формирование сообщений,} \\ F^6_{1.2} & \text{— преобразование форматов,} \\ F^6_{1.3} & \text{— преобразование формы предъявления информации.} \end{cases}$
- F^7 : $\begin{cases} F^7_{1.1} & \text{— формирование сообщений,} \\ F^7_{1.2} & \text{— преобразование форматов,} \\ F^7_{1.3} & \text{— дистанционная передача информации,} \\ F^7_{1.4} & \text{— прием информации с удаленного объекта.} \end{cases}$

V уровень

Основные функции:

- F^1 : $\begin{cases} F^1_{1.1} & \text{— усиление сигналов,} \\ F^1_{1.2} & \text{— коммутация сигналов,} \\ F^1_{1.3} & \text{— сжатие информации,} \\ F^1_{1.4} & \text{— буферизация информации.} \end{cases}$
- F^2 : $\begin{cases} F^2_{1.1} & \text{— фильтрация сигналов,} \\ F^2_{1.2} & \text{— линеаризация показаний датчиков,} \\ F^2_{1.3} & \text{— нормализация сигналов,} \\ F^2_{1.4} & \text{— аналого-цифровое преобразование.} \end{cases}$
- F^3 : $\begin{cases} F^3_{1.1} & \text{— выделение амплитудных и временных параметров} \\ & \text{сигналов,} \\ F^3_{1.2} & \text{— статистическая обработка контролируемых параметров.} \end{cases}$
- F^4 : $\begin{cases} F^4_{1.1} & \text{— сравнение информационных признаков с пороговыми} \\ & \text{значениями,} \\ F^4_{1.2} & \text{— статистическая обработка информации,} \\ F^4_{1.3} & \text{— логическая обработка информации.} \end{cases}$
- F^5 : $\begin{cases} F^5_{1.1} & \text{— преобразование кодов,} \\ F^5_{1.2} & \text{— преобразование формы представления информации.} \end{cases}$
- F^6 : $\begin{cases} F^6_{1.1} & \text{— коммутация информационных потоков,} \\ F^6_{1.2} & \text{— формирование сообщений.} \end{cases}$
- F^7 : $\begin{cases} F^7_{1.1} & \text{— преобразование кодовых последовательностей,} \\ F^7_{1.2} & \text{— преобразование формы представления информации.} \end{cases}$
- F^8 : $\begin{cases} F^8_{1.1} & \text{— выбор способа регистрации,} \\ F^8_{1.2} & \text{— выбор регистратора информации,} \\ F^8_{1.3} & \text{— преобразование формы представления информации,} \\ F^8_{1.4} & \text{— регистрация информации.} \end{cases}$
- F^9 : $\begin{cases} F^9_{1.1} & \text{— формирование задания,} \\ F^9_{1.2} & \text{— лингвистическая аппроксимация.} \end{cases}$
- F^{10} : $\begin{cases} F^{10}_{1.1} & \text{— ввод данных,} \\ F^{10}_{1.2} & \text{— лингвистическая обработка данных.} \end{cases}$
- F^{11} : $\begin{cases} F^{11}_{1.1} & \text{— формирование данных решаемой задачи,} \\ F^{11}_{1.2} & \text{— формирование данных о состоянии системы.} \end{cases}$
- F^{12} : $\begin{cases} F^{12}_{1.1} & \text{— статистическая обработка,} \\ F^{12}_{1.2} & \text{— логическая обработка,} \\ F^{12}_{1.3} & \text{— формирование данных для прогнозирования ситуаций,} \end{cases}$
- F^{13} : $\begin{cases} F^{13}_{1.1} & \text{— обработка данных для прогнозирования ситуаций,} \\ F^{13}_{1.2} & \text{— формирование возможных ситуаций.} \end{cases}$
- F^{14} : $\begin{cases} F^{14}_{1.1} & \text{— формирование возможных альтернатив,} \\ F^{14}_{1.2} & \text{— формирование решения.} \end{cases}$

- $F_{3.1}^3$: $F_{3.1.1}^3$ — арифметическая обработка,
 $F_{3.1.2}^3$ — логическая обработка.
 $F_{3.2}^3$: $F_{3.2.1}^3$ — арифметическая обработка,
 $F_{3.2.2}^3$ — логическая обработка,
 $F_{3.2.3}^3$ — формирование решения.
 $F_{3.3}^3$: $F_{3.3.1}^3$ — формирование форматов сообщения,
 $F_{3.3.2}^3$ — преобразование формы представления информации.
 $F_{4.1}^3$: $F_{4.1.1}^3$ — арифметическая обработка,
 $F_{4.1.2}^3$ — логическая обработка,
 $F_{4.1.3}^3$ — формирование решения.
 $F_{4.2}^3$: $F_{4.2.1}^3$ — выбор приемника управляющих воздействий,
 $F_{4.2.2}^3$ — определение момента воздействия.
 $F_{4.3}^3$: $F_{4.3.1}^3$ — формирование кодов управляющих воздействий
аварийных сигналов,
 $F_{4.3.2}^3$ — преобразование кодов в управляющие сигналы.
Дополнительные функции:
 $F_{1.1}^4$: $F_{1.1.1}^4$ — введение «избыточности» в сообщение,
 $F_{1.1.2}^4$ — контроль передачи сообщений.
 $F_{1.2}^4$: $F_{1.2.1}^4$ — введение «избыточности» в запись,
 $F_{1.2.2}^4$ — контроль считываемой записи.
 $F_{1.3}^4$: $F_{1.3.1}^4$ — ввод тестовой последовательности,
 $F_{1.3.2}^4$ — обработка тестовой последовательности,
 $F_{1.3.3}^4$ — оценка результатов тестирования.
Декомпозиция функции F_2^4 осуществляется аналогично декомпозиции функции F_1^4 .
 $F_{1.1}^5$: $F_{1.1.1}^5$ — преобразование кодов,
 $F_{1.1.2}^5$ — преобразование формы представления информации.
 $F_{1.2}^5$: $F_{1.2.1}^5$ — коммутация информационных потоков,
 $F_{1.2.2}^5$ — формирование сообщений.
 $F_{2.1}^5$: $F_{2.1.1}^5$ — преобразование кодовых последовательностей,
 $F_{2.1.2}^5$ — преобразование формы представления информации.
 $F_{2.2}^5$: $F_{2.2.1}^5$ — выбор способа регистрации,
 $F_{2.2.2}^5$ — выбор регистратора информации,
 $F_{2.2.3}^5$ — преобразование формы представления информации,
 $F_{2.2.4}^5$ — регистрация информации.
 $F_{1.1}^6$: $F_{1.1.1}^6$ — анализ состояния системных каналов,
 $F_{1.1.2}^6$ — формирование пакета сообщений.
 $F_{1.2}^6$: $F_{1.2.1}^6$ — выбор формата,
 $F_{1.2.2}^6$ — формирование семантики сообщений,
 $F_{1.2.3}^6$ — формирование служебной информации.
 $F_{2.1}^6$: $F_{2.1.1}^6$ — анализ состояния системных каналов,
 $F_{2.1.2}^6$ — формирование пакета сообщений.
 $F_{2.2}^6$: $F_{2.2.1}^6$ — выбор формата,
 $F_{2.2.2}^6$ — формирование семантики сообщений,
 $F_{2.2.3}^6$ — формирование служебной информации.
 $F_{2.3}^6$: $F_{2.3.1}^6$ — преобразование параллельного кода в последовательный,
 $F_{2.3.2}^6$ — передача кодов на дистанционно удаленный объект.
 $F_{2.4}^6$: $F_{2.4.1}^6$ — прием кодов с дистанционно удаленного объекта,
 $F_{2.4.2}^6$ — преобразование последовательного кода в параллельный.

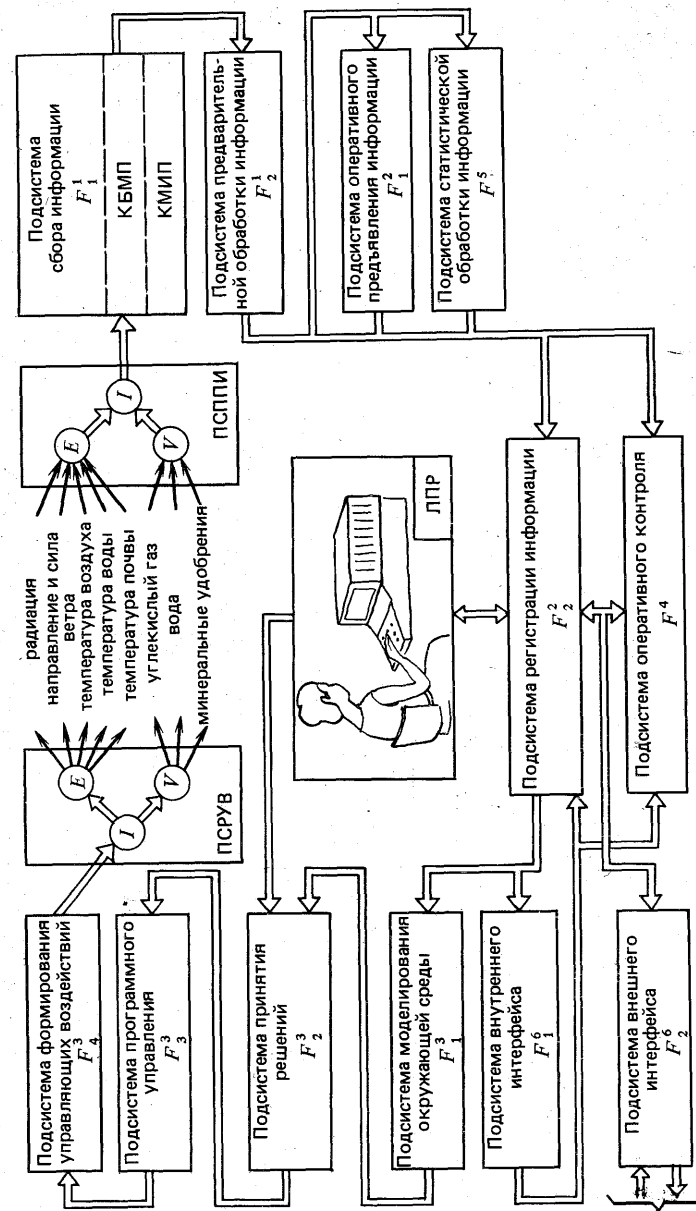


Рис. 13.8. Функционально-структурная организация АСУ МТ

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ТЕПЛИЦ (АСУМТ)

Дерево функций АСУМТ является основой для формирования структуры системы на основе выделенных функциональных модулей ФМ, соответствующих четвертому и пятому уровням декомпозиции основных и дополнительных функций.

Основные подсистемы АСУМТ (рис. 13.8) определяются третьим уровнем декомпозиции. На этом уровне могут быть выделены:

подсистема первичного преобразования информации (ПСППИ);

подсистема сбора информации ($F_{1.1}^1$) — рис. 13.9;

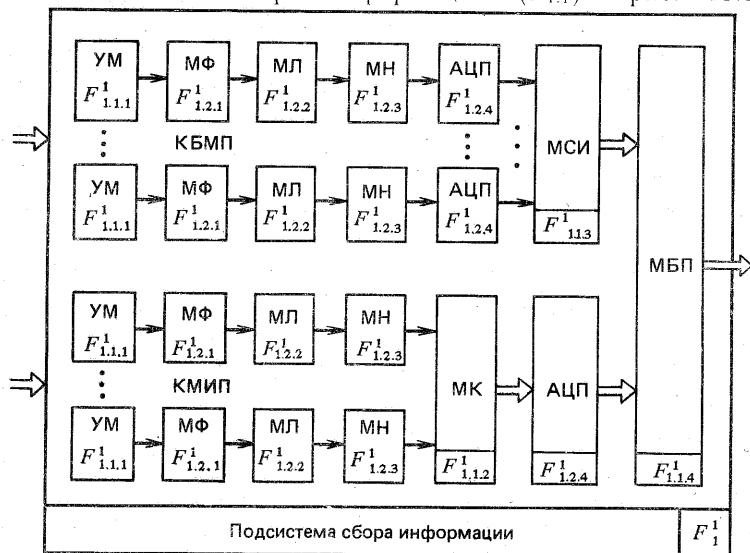


Рис.13.9. Подсистема сбора информации

подсистема предварительной обработки информации ($F_{1.2}^1$) — рис. 13.10;

подсистема оперативного предъявления информации ЛПР (F_1^2) — рис. 13.11;

подсистема регистрации информации (F_2^2) — рис. 13.12;

подсистема моделирования окружающей среды (F_3^3) — рис. 13.13;

подсистема принятия решений (F_3^3) — рис. 13.14;

подсистема программного управления (F_3^5) — рис. 13.15;

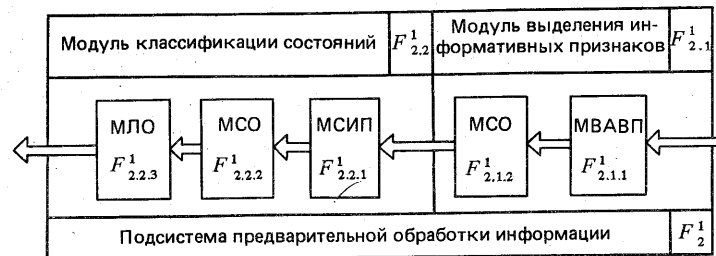


Рис.13.10. Подсистема предварительной обработки информации

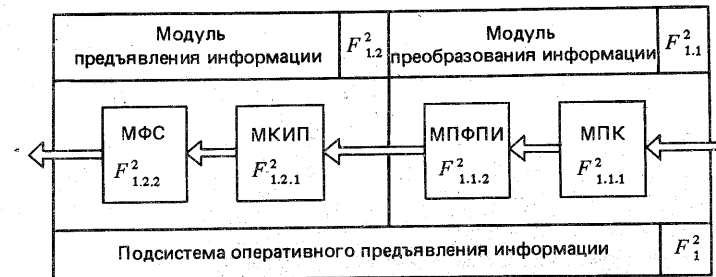


Рис. 13.11. Подсистема оперативного предъявления информации

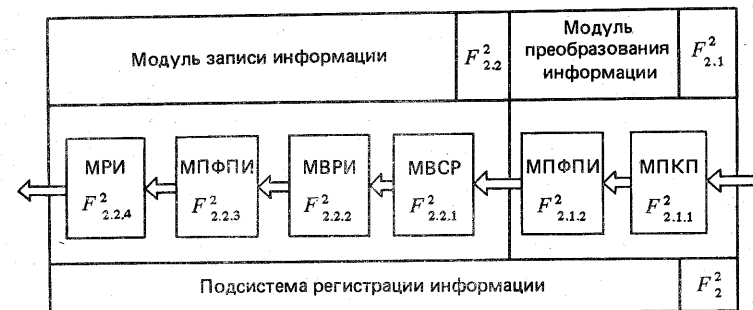


Рис.13.12. Подсистема регистрации информации

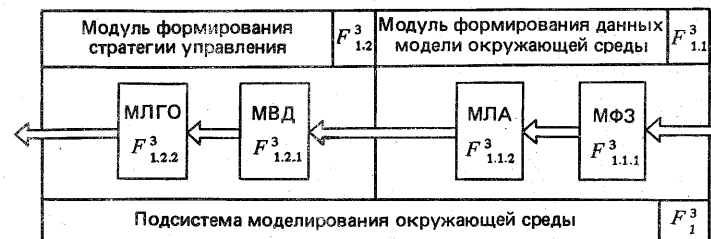


Рис.13.13. Подсистема моделирования окружающей среды

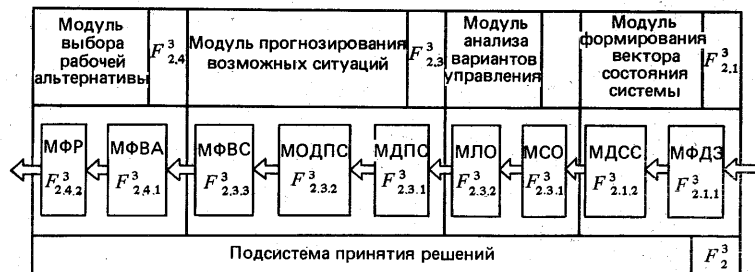


Рис.13.14. Подсистема принятия решений

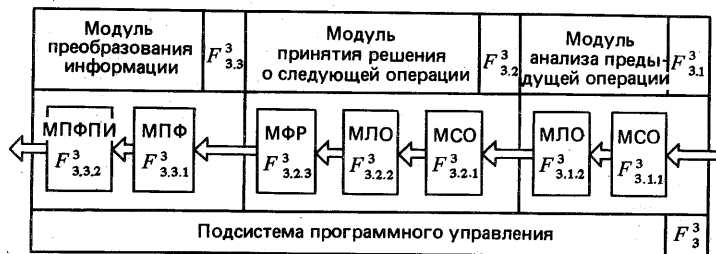


Рис.13.15. Подсистема программного управления

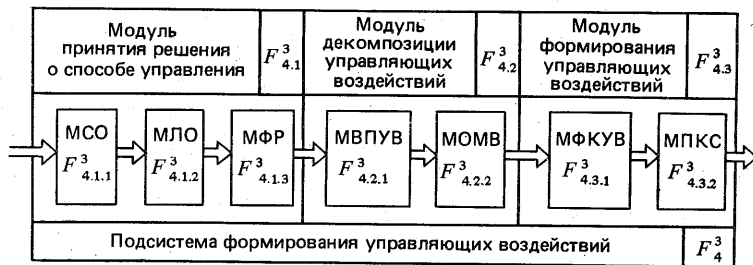


Рис.13.16. Подсистема формирования управляющих воздействий

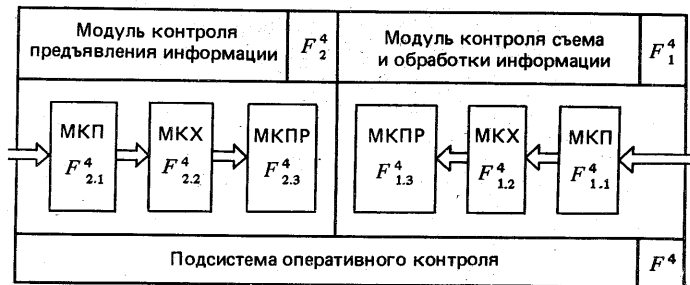


Рис.13.17. Подсистема оперативного контроля

подсистема формирования управляющих воздействий (F^5) — рис. 13.16;

подсистема оперативного контроля съема, обработки и предъявления информации (F^4) — рис. 13.17;

подсистема статистической обработки информации о ходе технологических процессов (F^5) — рис. 13.18;

подсистема внутреннего интерфейса (F_1^6) — рис. 13.19;

подсистема внешнего интерфейса (F_2^6) — рис. 13.20.

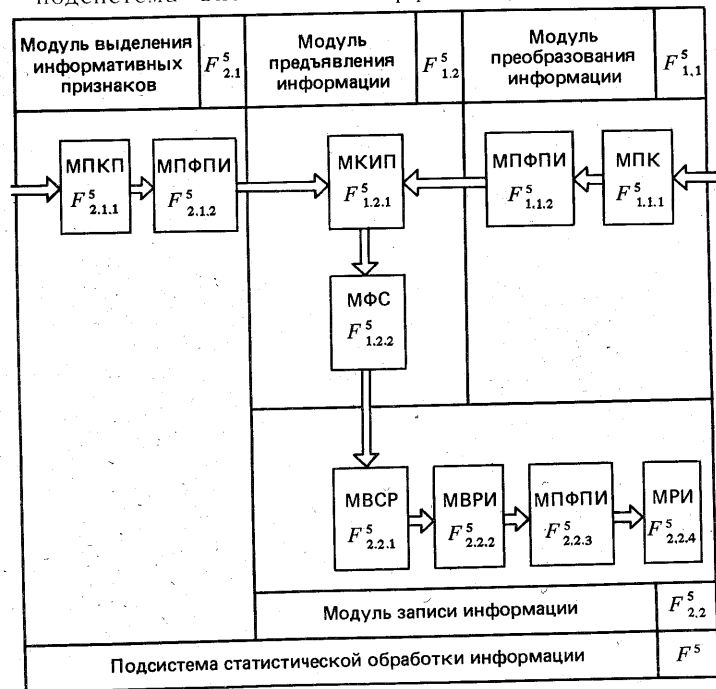


Рис.13.18. Подсистема статической обработки информации

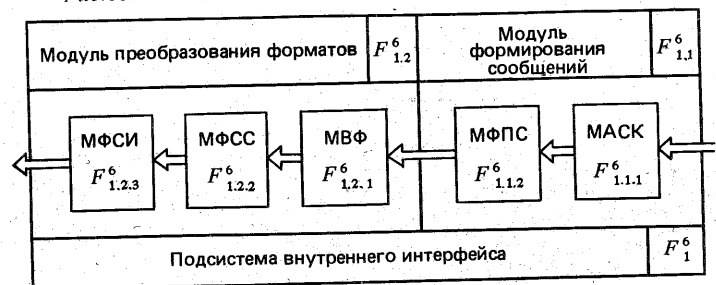


Рис.13.19. Подсистема внутреннего интерфейса

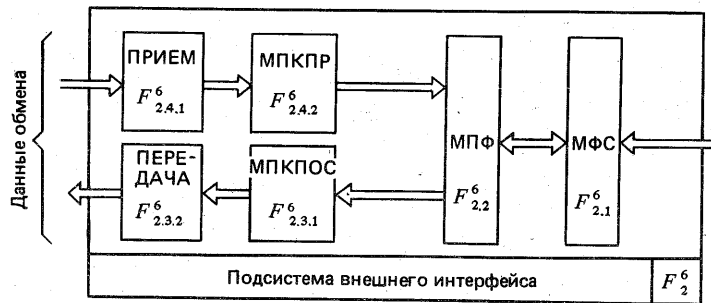


Рис.13.20. Подсистема внешнего интерфейса

В подсистеме первичного преобразования информации ПСППИ производится съем информации о параметрах среды, воспринимаемой датчиками физических величин — преобразователями энергии E (уровень радиации, направление и сила ветра при форточной вентиляции, температура воздуха, воды, почвы) и вещества V (содержание углекислого газа и влаги в окружающей среде, количество минеральных удобрений в растворах для подкормки растений), а также преобразование сигналов, функционально связанных с измеряемой физической величиной, в форму, удобную для дальнейшей обработки. Информация I с датчиков преобразуется в электрические сигналы, поступающие в подсистему сбора информации (F_2^1). В этой подсистеме осуществляется усиление сигналов ($F_{1.1.1}^1$) усилительным модулем УМ, фильтрация ($F_{1.2.1}^1$) в модуле МФ, линейризация ($F_{1.2.2}^1$) в модуле МЛ, нормирование сигналов ($F_{1.2.3}^1$) в модуле нормализации МН, аналого-цифровое преобразование ($F_{1.2.4}^1$) в модуле АЦП и коммутация сигналов ($F_{1.1.2}^1$) коммутатором МК.

В зависимости от характеристик и вида сигналов обработка ведется в канале быстроизменяющихся параметров КБИП либо в канале медленноизменяющихся параметров КМИП. Для выполнения дальнейших вычислительных операций производятся уплотнение информации ($F_{1.1.3}^1$) в модуле сжатия информации МСИ и оперативное запоминание измеряемых величин ($F_{1.1.4}^1$) в модуле буферной памяти МБП.

Анализ сигналов в амплитудной, временной и частотной областях производится в подсистеме предварительной обработки информации (F_2^1). Функция выделения информативных признаков ($F_{2.1}^1$) осуществляется МВАВП — модулем выделения амплитудных и времен-

ных параметров ($F_{2.1.1}^1$) с последующей статистической обработкой ($F_{2.1.2}^1$) в модуле статистической обработки МСО, а функция классификации состояний ($F_{2.2}^1$) воспроизводится МСИП — модулем сравнения информативных признаков с пороговыми значениями ($F_{2.2.1}^1$) с последующей статистической обработкой ($F_{2.2.2}^1$) в модуле МСО и логической обработкой ($F_{2.2.3}^1$) в модуле МЛО.

В подсистеме оперативного предъявления информации о состоянии объектов управления (F_2^1) производится преобразование информации ($F_{1.1}^1$) в МПК — модуле преобразования кодов ($F_{1.1.1}^1$) и в МПФПИ — модуле преобразования формы представления информации ($F_{1.1.2}^1$) и последующее предъявление информации ($F_{1.2}^1$), формируемой МКИП — модулем коммутации информационных потоков ($F_{1.2.1}^1$) и МФС — модулем формирования сообщений ($F_{1.2.2}^1$) лицу, принимающему решение, ЛПР.

Подсистема регистрации информации ($F_{2.1}^2$) осуществляет долговременное хранение информации о состоянии объектов управления и функционировании системы. Преобразование информации ($F_{2.1}^2$) реализуется МПКП — модулем преобразования кодовых последовательностей ($F_{2.1.1}^2$) и МПФПИ ($F_{2.1.1}^2$), а запись информации ($F_{2.2}^2$) — МВСР — модулем выбора способа регистрации информации ($F_{2.2.1}^2$), МВРИ — модулем выбора регистратора информации ($F_{2.2.2}^2$), МПФПИ ($F_{2.2.3}^2$) и МРИ — модулем регистрации информации ($F_{2.2.4}^2$).

В подсистеме оперативного контроля работоспособности системы (F^4) выполняются контроль съема и обработки информации (F_4^1) и контроль предъявления информации (F_4^1), осуществляемые модулями: МКП — контроля передачи ($F_{4.1}^1$ и $F_{4.1}^1$), МКХ — контроля хранения ($F_{4.2}^1$ и $F_{4.2}^1$), МКПР — контроля преобразования информации ($F_{4.3}^1$ и $F_{4.3}^1$).

Подсистема статистической обработки информации (F^5) предназначена для исследования и регистрации хода технологических процессов, аварийных ситуаций и т. п. В эту подсистему поступает также информация о воздействии управляющих сигналов на регулируемый процесс. Выделение информативных признаков управляющих воздействий ($F_{2.1}^5$) реализуется модулями МПКП ($F_{2.1.1}^5$) и МПФПИ ($F_{2.1.2}^5$). Преобразование информации ($F_{1.1}^5$) осуществляется модулями МПК ($F_{1.1.1}^5$) и МПФПИ ($F_{1.1.2}^5$), предъявление инфор-

мации ($F_{1.2.1}^5$) — модулями МКИП и МФС ($F_{1.1.2}^5$), запись информации — модулями МВСР ($F_{2.2.1}^5$), МВРИ ($F_{2.2.2}^5$), МПФПИ ($F_{2.2.3}^5$) и МРИ ($F_{2.2.4}^5$).

Подсистема внутреннего интерфейса служит для обмена данными между подсистемами (F_1^6). Эта подсистема организует формирование сообщений ($F_{1.1}^6$), осуществляемое МАСК — модулем анализа системных каналов ($F_{1.1.1}^6$) и МФПС — модулем формирования пакета сообщений ($F_{1.1.2}^6$) и преобразование форматов передаваемой информации ($F_{1.2}^6$), осуществляемое МВФ — модулем выбора формата ($F_{1.2.1}^6$), МФСС — модулем формирования семантики сообщений ($F_{1.2.2}^6$) и МФСИ — модулем формирования служебной информации ($F_{1.2.3}^6$).

Для обмена данными с другими, дистанционно удаленными системами используется подсистема внешнего интерфейса (F_2^6). Эта подсистема включает следующие функциональные модули: МФС — модуль формирования сообщений ($F_{2.1}^6$), МПФ — модуль преобразования форматов ($F_{2.2}^6$), модуль ПРИЕМ ($F_{2.4.1}^6$) и МПКПР — модуль преобразования последовательного кода в параллельный, осуществляющих прием данных от других систем, модуль МПКПОС — модуль преобразования параллельного кода в последовательный ($F_{2.3.1}^6$) и модуль ПЕРЕДАЧА ($F_{2.3.2}^6$), реализующие передачу данных к удаленным системам.

В подсистеме моделирования окружающей среды (F_3^3) происходит формирование данных модели окружающей среды ($F_{3.1}^3$), реализуемое МФЗ — модулем формирования задания ($F_{3.1.1}^3$) и МЛА — модулем лингвистической аппроксимации ($F_{3.1.2}^3$), и формирование стратегии управления ($F_{3.2}^3$), реализуемое МВД — модулем выделения данных ($F_{3.2.1}^3$) и МЛГО — модулем лингвистической обработки данных ($F_{3.2.2}^3$).

В подсистеме принятия решений (F_3^3): формируется вектор состояния системы ($F_{2.1}$), что осуществляется МФДЗ — модулем формирования данных конкретного задания ($F_{2.1.1}^3$) и МДСС — модулем формирования данных о состоянии системы ($F_{2.1.2}^3$), анализируются возможные варианты управления ($F_{3.2}^3$) в модулях МСО ($F_{2.2.1}^3$) и МЛО ($F_{2.2.2}^3$), осуществляется прогноз возможных ситуаций ($F_{2.3}^3$), для чего используются МДПС — модуль формирования данных для прогнозирования ситуаций ($F_{2.3.1}^3$), МОДПС — модуль обработки данных для преобразования ситуаций ($F_{2.3.1}^3$), МФВС — модуль формирования возможных ситуаций ($F_{2.3.3}^3$),

а также производится выбор рабочей альтернативы ($F_{2.4}^3$), реализуемой МФВА — модулем формирования возможных альтернатив ($F_{2.4.1}^3$), и МФР — модулем формирования решения ($F_{2.4.2}^3$).

В подсистеме программного управления (F_3^3) формируется конкретный вариант управления путем анализа предыдущей ситуации ($F_{3.1}^3$) в модулях МСО ($F_{3.1.1}^3$) и МЛО ($F_{3.1.2}^3$), принятия решения от следующей операции ($F_{3.2}^3$) в модулях МСО ($F_{3.2.1}^3$) МЛО ($F_{3.2.2}^3$) и МФР ($F_{3.2.3}^3$) и преобразования информации ($F_{3.3}^3$) модулями МПФ ($F_{3.3.1}^3$) и МПФПИ ($F_{3.3.2}^3$).

В подсистеме формирования управляющих воздействий (F_4^3) происходят принятие решения о способе управления ($F_{4.1}^3$), реализуемое модулями МСО ($F_{4.1.1}^3$), МЛО ($F_{4.1.2}^3$) и МФР ($F_{4.1.3}^3$), декомпозиция управляющих воздействий ($F_{4.2}^3$), реализуемая МВПУВ — модулем выбора приемника управляющих воздействий ($F_{4.2}^3$) или аварийных сигналов и МОМВ — модулем определения момента воздействия или аварийного сигнала ($F_{4.2.2}^3$), формирование управляющих воздействий ($F_{4.3}^3$), осуществляемое МФКУВ — модулем формирования кодов управляющих воздействий или аварийного сигнала ($F_{4.3.1}^3$) и МПКС — модулем преобразования кодов в управляющие или аварийные сигналы ($F_{4.3.2}^3$).

Подсистема реализации управляющих воздействий ПСРУВ обеспечивает работу исполнительных механизмов, осуществляющих изменение параметров микроклимата в теплице.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энгельс Ф. Диалектика природы.— Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 20.
2. Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм.— Полн. собр. соч., т. 18.
3. Ленин В. И. Философские тетради.— Полн. собр. соч., т. 29.
4. Ленин В. И. Набросок плана научно-технических работ.— Полн. собр. соч., т. 36.
5. Укреплять взаимосвязь общественных, естественных и технических наук.— «Коммунист», 1977, № 2.
6. Андропов Ю. В. Учение Карла Маркса и некоторые вопросы социалистического строительства в СССР.— «Коммунист», 1983, № 3.
7. Александров А. П. Избранные статьи и речи.— М.: Наука, 1983.
8. Афанасьев В. Г. Общество: системность, познание и управление.— М.: Политиздат, 1981.
9. Бирюков Б. В. Кибернетика и методология науки.— М.: Наука, 1974.
10. Ильичев Л. Ф. Философия и научный прогресс.— М.: Наука, 1977.
11. Константинов Н. Ф. Марксистско-ленинская философия и современность.— М.: Наука, 1982.

12. Карпинская Р. С., Тищенко П. Д. Диалектическое единство общественных и естественных наук.— М.: Знание, 1981.
13. Кузнецов Б. Г. Современная наука и философия. Пути фундаментальных исследований и перспективы философии.— М.: Политиздат, 1981.
14. Материалистическая диалектика как общая теория развития. Диалектика развития научного знания/Под ред. И. С. Нарского, Г. И. Рузавина, Ю. В. Сачкова.— М.: Наука, 1982.
15. Марчук Г. И. Наука и формирование активной жизненной позиции ученого.— В кн. Методология науки и научный прогресс.— Новосибирск: Наука, 1981.
16. Майзель И. А. Наука. Автоматизация. Общество.— Л.: Наука, 1972.
17. Мелюхин С. Т. Диалектический материализм — методология современной науки.— В кн.: Философские основания естествознания/Под ред. С. Т. Мелюхина.— М.: Изд. МГУ, 1977.
18. Мелюхин С. Т. О диалектике развития неорганической природы.— М.: 1960.
19. Овчинников Ю. А. Марксизм и научно-технический прогресс.— «Политическое самообразование», 1983, № 4.
20. Сачков Ю. В. Проблемы методологии современного естествознания.— М.: Знание, 1979.
21. Федосеев П. Н., Фролов И. Т., Лекторский В. А. Материалистическая диалектика. Краткий очерк теории.— М.: Политиздат, 1980.
22. Федосеев П. Н. Единство и взаимодействие естественных и общественных наук.— «Коммунист», 1982, № 7.
23. Фролов И. Т. Человек — наука — гуманизм (философско-публицистический очерк проблемы).— М.: Знание, 1982.
24. Фролов И. Т. Жизнь и познание. О диалектике в современной биологии.— М.: Мысль, 1981.
25. Готт В. С., Урсул А. Д. Общенаучные понятия и их роль в познании.— М.: Знание, 1975.
26. Елисеев З. П., Сачков Ю. В., Белов Н. В. Потоки идей и закономерности развития естествознания.— Л.: Наука, 1982.
27. Кедров Б. М. Метод логического построения науки (сочетание принципа системности с принципом развития).— В кн.: Структура и развитие научного знания. Системный подход к методологии науки.— М.: Изд. Научного совета при Президиуме АН СССР по комплексной проблеме «Философские и социальные проблемы науки и техники», 1982.
28. Кедров Б. М. О методе изложения диалектики.— М.: Наука, 1983.
29. Кузнецов Б. Г. История философии для физиков и математиков.— М.: Наука, 1974.
30. Кун Т. Структура научных революций: Пер. с англ./Под ред. С. Р. Микулинского.— М.: Прогресс, 1975.
31. Марков Ю. Г. Функциональный подход в современном научном познании.— Новосибирск, Наука, 1982.
32. Миклин А. М., Подольский В. А. Категория развития в марксистской диалектике.— М.: Мысль, 1980.
33. Новик И. Б. Вопросы стиля мышления в естествознании.— М.: Политиздат, 1975.
34. Петров Ю. А., Никифоров А. Л. Логика и методология научного познания.— М.: Изд. МГУ, 1982.
35. Планк М. Сборник к 100-летию со дня рождения, 1858—1958.— М.: 1958.
36. Руткевич М. Н. Роль познания противоречий природы для развития

- диалектики как науки.— В кн.: Диалектические противоречия в природе.— М.: Политиздат, 1967.
37. Свидерский В. И. О диалектике элементов и структуры в объективном мире и познании.— М.: Наука, 1962.
38. Сетров М. И. Основы функциональной теории организации.— Л.: Наука, 1972.
39. Уемов А. И. Вещи, свойства и отношения.— Л.: Наука, 1963.
40. Штофф В. А. Введение в методологию научного познания.— Л.: ЛГУ, 1972.
41. Корольков А. А. Диалектика и теория медицины.— Л.: ЛГУ, 1979.
42. Парамонов А. А. Дарвинизм.— М.: Просвещение, 1978.
43. Северцов А. Н. Общие вопросы эволюции, т. 3.— М.—Л.: Изд. АН СССР, 1945.
44. Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В. Краткий очерк теории эволюции.— М.: Наука, 1977.
45. Шмальгаузен И. И. Избранные труды. Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии.— М.: Наука, 1982.
46. Блауберг И. В., Мирский Э. М., Садовский В. Н. Системный подход и системный анализ.— В кн.: Системные исследования: Методологические проблемы: Ежегодник, 1982.— М.: Наука, 1982.
47. Развитие эволюционной теории в СССР/Под ред. С. Р. Микулинского и Ю. И. Полянского.— Л.: Наука, 1983.
48. Гиг Дж. ван. Прикладная общая теория систем.— М.: Мир, 1981.
49. Гвишиани Д. М. Материалистическая диалектика — философская основа системных исследований.— В кн.: Системные исследования: методологические проблемы: Ежегодник, 1979.— М.: Наука, 1980.
50. Горохов В. Г. Методологический анализ системотехники.— М.: Радио и связь, 1982.
51. Губинский А. И. Надежность и качество функционирования эргатических систем.— Л.: Наука, 1982.
52. Денисов А. А., Колесников Д. Н. Теория больших систем управления.— Л.: Энергоатомиздат, 1982.
53. Емельянов С. В., Наппельбаум Э. Л. Системы, целенаправленность, рефлексия.— В кн.: Системные исследования: Методологические проблемы.— М.: Наука, 1981.
54. Месарович М., Мако Д., Такахара Я. Теория иерархических многоуровневых систем: Пер. с англ./Под ред. И. Ф. Шахнова.— М.: Мир, 1973.
55. Наппельбаум Э. Л. Системный анализ как программа научных исследований — структура и ключевые понятия.— В кн.: Системные исследования: Методологические проблемы: Ежегодник, 1979.— М.: Наука, 1980.
56. Поспелов Д. А. Большие системы. Ситуационное управление.— М.: Знание, 1975.
57. Садовский В. Н. Системный подход и общая теория систем: статус, основные проблемы и перспективы развития.— В кн.: Системные исследования: Методологические проблемы: Ежегодник, 1979.— М.: Наука, 1980.
58. Уемов А. И. Системный подход и общая теория систем.— М.: Мысль, 1978.
59. Флейшман Б. С. Основы системологии.— М.: Радио и связь, 1983.
60. Хорват И. Теория индустриальных систем.— М.: Наука, 1978.
61. Цвиркун А. Д. Структура сложных систем.— М.: Сов. радио, 1975.
62. Биотехнические системы. Теория и проектирование: Учебное пособие/Ахутин В. М. и др.— Л.: ЛГУ, 1981.
63. Автоматизация поискового конструирования (искусственный ин-

- теллект в машинном проектировании)/Под ред. А. М. Половинкина.— М.: Радио и связь, 1981.
64. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука.— М.: Сов. радио, 1979.
 65. Диксон Д. Проектирование систем: изобретательство, анализ, принятие решения: Пер. с англ.— М.: Мир, 1969.
 66. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход: Пер. с польск.— М.: Мир, 1981.
 67. Александров А. П. Атомная энергетика и научно-технический прогресс.— М.: Наука, 1978.
 68. Велихов Е. П. Физика в наступлении.— М.: Молодая гвардия, 1982.
 69. Гвишиани Д. М., Митин Б. М., Рихта Р. Техника, общество, человек (критика буржуазных концепций «философии техники»).— М.: Знание, 1981.
 70. Диалектический материализм и техникoзнание/Под ред. В. И. Белозерцева.— Изд. Воронежского ун-та, 1980.
 71. Евреинов Э. В. Распределенная обработка информации и распределенные вычислительные сист. — М.: Знание, 1983.
 72. Иванов Б. И., Чешев В. В. Становление и развитие технических наук.— Л.: Наука, 1977.
 73. Макаров И. М. Робототехника: проблемы и перспективы.— Вестник АН СССР, 1982. № 5.
 74. Мелешенко Ю. С. Техника и закономерности ее развития.— Лениздат, 1970.
 75. Наука и техника. Общественно-исторические проблемы развития. Сб. трудов Лен. отд. Советского национального объединения истории и философии естествознания и техники. Вып. X.— М.— Л., 1979.
 76. Развитие авиационной науки и техники в СССР. Историко-технические очерки.— М.: Наука, 1980.
 77. Сифоров В. И. Наука об информации и ее проблемы. Сб. трудов XXVIII Всесоюзной научной сессии, посвященной Дню радио.— М.: Радио и связь, 1983.
 78. Топливо-энергетический комплекс страны: вклад ленинградцев/Под ред. И. А. Глебова и Н. М. Маркова.— Лениздат, 1982.
 79. Шеменев Г. И. Методологические вопросы технического учения.— Вопросы философии, 1976, № 11.
 80. Шеменев Г. И. Философские аспекты исследования технических систем.— М.: Знание, 1973.
 81. Шубас М. Л. Инженерное мышление и научно-технический прогресс. Стиль мышления, картина мира, мировоззрение.— Вильнюс: Минтис, 1982.
 82. Электроника: прошлое, настоящее, будущее: Пер. с англ./Под ред. В. И. Сифорова.— М.: Мир, 1980.
 83. Евреинов Э. В. Однородные вычислительные системы, структуры и среды.— М.: Радио и связь, 1981.
 84. Евреинов Э. В., Прангшвили И. В. Цифровые автоматы с настраиваемой структурой.— М.: Энергия, 1971.
 85. Вавилов А. А. Структурный и параметрический синтез сложных систем. Учебное пособие.— ЛЭТИ, 1979.
 86. Балашов Е. П. Принципы многофункциональности. Сб. трудов III Международной конференции «Вычислительная техника-73», НРБ, Варна, 1973.
 87. Балашов Е. П. Закономерности развития и методология проектирования проблемно-ориентированных систем. Сб. трудов Между-
- народной конференции «Применение микропроцессоров и микро-ЭВМ в информационно-измерительной технике».— ГДР, Лейпциг, 1979.
 88. Балашов Е. П. Методология эволюционного синтеза информационно-управляющих систем. Сб. трудов Международного симпозиума «Применение средств вычислительной техники в информационно-измерительных системах».— СФРЮ, Дубровник, 1981.
 89. Балашов Е. П. Диалектические закономерности развития и эволюционный синтез систем.— Л.: ЛИАП—ЛГУ, 1983.
 90. Балашов Е. П. Многофункциональность и специализация. Многофункциональные микроэлектронные модули.— Л.: Знание, 1979.
 91. Балашов Е. П., Частиков А. П. Эволюция вычислительных систем.— М.: Знание, 1981.
 92. Балашов Е. П., Частиков А. П. Эволюция микро- и мини-ЭВМ. Малые вычислительные машины.— М.: Знание, 1983.
 93. Балашов Е. П., Пузанков Д. А. Микропроцессоры и микропроцессорные системы.— М.: Радио и связь, 1981.
 94. Балашов Е. П., Кноль А. И. Многофункциональные запоминающие устройства.— М.—Л.: Энергия, 1972.
 95. Многофункциональные регулярные вычислительные структуры/Е. П. Балашов, В. Б. Смолов, Г. А. Петров, Д. В. Пузанков.— М.: Сов. радио, 1978.
 96. Балашов Е. П. Проектирование элементов и устройств ЭВМ.— М.: Высшая школа, 1966.
 97. Балашов Е. П., Воевода А. А., Смагин А. А. Идентификация характеристик элементов автоматики и вычислительной техники.— М.—Л.: Энергия, 1980.
 98. Балашов Е. П., Якобсон Г. И. Проектирование и машинный анализ запоминающих устройств.— М.: Машиностроение, 1977.
 99. Балашов Е. П., Атанасов Д. Х. Накопители информации.— Л.: Энергоиздат, 1982.
 100. Балашов Е. П., Долженков В. А. Разработка информационно-управляющих систем.— Л.: Знание, 1982.
 101. Балашов Е. П., Долженков В. А. Статистический контроль и регулирование качества продукции.— М.: Машиностроение, 1983.
 102. Борисов А. Н. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной.— Рига: Зинатне, 1982.
 103. Евтихийев Н. Н., Кузьмин В. И. Кибернетика развития систем.— М.: МИРЭА, 1982.
 104. Бурцев В. С. Принципы построения многопроцессорных вычислительных комплексов «Эльбрус».— М.: ИТМ и ВТ АН СССР, 1977.
 105. Марчук Г. И., Котов В. Е. Модульная асинхронная развиваемая система.— Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1978.
 106. Королев Л. Н. Структуры ЭВМ и их математическое обеспечение.— М.: Наука, 1978.
 107. ЭВМ пятого поколения. Концепции, проблемы, перспективы./Под ред. Т. Мото-ока; пер. с англ.; Предисловие Е. П. Велихова.— М.: Финансы и статистика, 1984.
 108. Робототехника./Под. ред. Е. П. Попова и Е. И. Юревича.— М.: Машиностроение, 1984.
 109. Системы автоматизации в науке и производстве. / Под ред. В. М. Пономарева.— М.: Наука, 1984.
 110. Самофалов К. Г., Луцкий Г. М. Основы построения конвейерных ЭВМ.— Киев, Вища школа, 1981.
 111. Каляев А. В. Многопроцессорные системы с программируемой архитектурой.— М.: Радио и связь, 1984.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие научного редактора	3
Предисловие	5
Введение	7
Антропогенные системы	7
Интеграция и дифференциация современного научного знания	11
Глава 1. Функционально-структурный подход к анализу и синтезу систем	17
Понятие системы	17
Функции системы	18
Структура системы	20
Взаимосвязь функции и структуры как взаимосвязь содержания и формы	22
Взаимозависимость функции и структуры в процессе развития систем	28
Взаимосвязь этапов анализа и синтеза систем	31
Структурно-функциональный подход	36
Функционально-структурный подход	38
Функционально-структурная организация систем	43
Глава 2. Развитие антропогенных систем	47
Особенности развития антропогенных систем	47
Эволюция функций и эволюция технологий	52
Целевая, основные и дополнительные функции системы	56
Дерево функций системы	59
Закономерность вложения основных функций развивающихся систем	61
Взаимосвязь и взаимозависимость показателей качества антропогенных систем	63
Закономерность относительного и временного разрешения противоречий в антропогенных системах	66
Глава 3. Закономерности совершенствования функционально-структурной организации систем	70
Основные системные процессы	70
Вещественно-энергетическая и информационная целостность систем	73
Функциональная полнота элементов системы	78
Функциональная полнота элементов многоуровневой информационной системы	80
Закономерность повышения функциональной и структурной целостности систем	81
Закономерность направленности процесса развития антропогенных систем	84
Закономерность преемственности функционально-структурной организации многоуровневых систем	88
Адекватность функционально-структурной организации назначению системы	92
Глава 4. Многофункциональность и специализация в развитии систем	94
Принцип многофункциональности	94
Многофункциональность и специализация в биосистемах	96

Спираль развития антропогенных систем	103
Закономерность сжатия этапов развития систем	108
Ресурсосберегающие и экологически чистые комплексы как системы с высоким уровнем функционально-структурной интеграции	111
Глава 5. Методологические проблемы эволюционного синтеза систем	117
Стратегия эволюционного синтеза систем	117
Основные фазы и этапы эволюционного синтеза систем	122
Взаимное влияние эволюционных процессов на различных уровнях системной организации	126
Анализ систем-прототипов	130
Глава 6. Структурный синтез систем	132
Формирование структуры системы	132
Формирование дерева функций системы	135
Два подхода к формированию структуры системы	135
Число уровней декомпозиции системы	137
Выделение набора вещественно-энергетических и информационных операторов, необходимых для формирования структуры системы	139
Динамическая сетевая модель системы	144
Изобретательское творчество как процесс разрешения противоречий функционально-структурной организации систем	147
Разрешение противоречий в процессе синтеза систем	150
Глава 7. Дерево противоречий системы	155
Анализ технического задания	155
Основные этапы проектирования	157
Формирование дерева противоречий системы	159
Противоречия системного уровня проектирования	166
Противоречия структурного уровня проектирования	168
Противоречия этапа логического проектирования	169
Противоречия этапа схмотехнического проектирования	172
Противоречия этапа конструкторско-технологического проектирования	175
Глава 8. Формирование структуры системы	178
Основные этапы развития средств обработки информации	178
Основные этапы формирования структуры функционально-ориентированной системы	184
Формирование дерева функций универсальной вычислительной системы	188
Аппаратная и программная реализация функций	194
Декомпозиция основных и дополнительных функций информационной системы	198
Операторная модель функционального модуля	204
Функциональные и конструктивные модули	207
Многофункциональные и специализированные модули	213
Отображение функциональной структуры на множество конструктивных модулей	214
Обобщенная функционально-структурная карта	216
Покрытие функциональной структуры конструктивными модулями	220

Свойство функционально-структурной расширяемости систем	226
Глава 9. Синтез микропроцессорных управляющих устройств	228
Постановка задачи синтеза многофункционального контроллера	228
Построение дерева функций многофункционального контроллера	230
Обобщенная операторная модель контроллера	233
Формирование и сравнительный анализ базовых структур многофункционального контроллера	236
Отечественные микропроцессорные комплекты	239
Функциональная ориентация микропроцессорных систем	243
Экономические аспекты применения микропроцессорной техники	246
Глава 10. Многофункциональные запоминающие устройства	249
Развитие многофункциональных регулярных структур для обработки информации	249
Функционально-структурная организация модулей таблично-алгоритмических систем	253
Введение функциональных расширителей в микропроцессорные системы	257
Глава 11. Многофункциональные регулярные вычислительные структуры	264
Постановка задачи проектирования систем обработки информации на основе БИС	264
Оценка сложности систем обработки информации	267
Регулярность структур систем обработки информации	269
Повышение степени регулярности и однородности структур	270
Глава 12. Автоматические и автоматизированные системы	273
Классификация систем управления	273
Автоматизированные системы управления технологическими процессами	275
Обобщенное дерево функций автоматизированной системы управления технологическими процессами	278
Типовые подсистемы АСУ	281
Эволюция функционально-структурной организации АСУ	282
Гибкие автоматические производственные системы	286
Глава 13. Биотехнические системы	289
Основные классы биомедицинских технических систем	289
Информационно-диагностические системы	290
Системы оценки психофизиологического состояния человека	295
Системы управления функциональным состоянием биообъекта	297
Обобщенная структура замкнутой биотехнической системы	298
Эргатические системы	305
Автоматизированная система управления микроклиматом	308
Функционально-структурная организация АСУ микроклиматом теплиц (АСУМТ)	314
Список литературы	321
Предметный указатель	

Е. П. Балашов

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ



Р

МОСКВА
«РАДИО И СВЯЗЬ»
1985