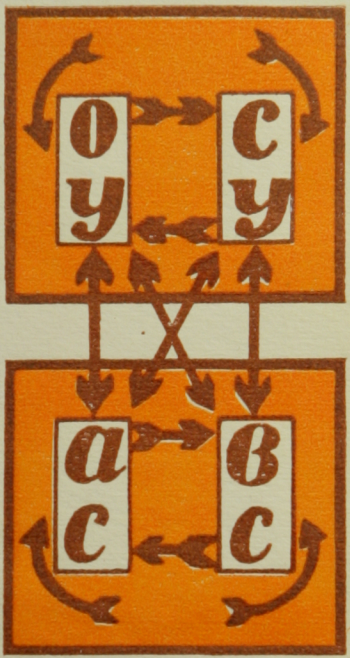
В. А. Силич

КОМПОЗИЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ



В.А. СИЛИЧ

ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Издательство Томского университета
Томск - 1982

УДК 53.072

Силич В.А. Декомпозиционные алгоритмы построения моделей сложных систем. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1982. – 7,26 л. – I р. IO к. 500 экз. 30312.

Книга является первой работой, в которой достаточно полно излагаются декомпозиционные алгоритмы построения моделей сложных систем.

Особое внимание уделено разработке набора стандартных модулей, из которых конструируется общая модель системы.

Приводятся результаты применения разработанных алгоритмов для решения задач синтеза структур, формирования деревьев целей, проектирования диалоговой системы построения модели.

Все основные результаты иллюстрируются примерами.

Книга предназначена для широкого круга научных и инженерно-технических работников, специализирующихся в области моделирования сложных систем, а также студентов вузов, обучающихся по специальностям 0640, 0646, 0647.

Рецензент – канд. физ-мат наук А.М.Кориков
Редактор – доктор технических наук В.П.Тарасенко

С $\frac{30312}{177(012)-82}$ 45-82

© Издательство Томского университета, 1982 г.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение 5

Глава I. Описание системы

I.I. Понятие системы 8

I.2. Элементы и свойства системы 9

I.3. Структура системы II

I.4. Связи системы и внешней среды I4

I.5. Функции системы I6

Глава П. Стандартизация процесса построения модели

2.I. Модели систем I8

2.2. Декомпозиционный подход к построению модели ... 2I

2.3. Принципы формирования стандартных моделей сложных систем 22

2.4. Стандартные модели сложных систем 25

Глава Ш. Основы алгоритмизации процесса построения модели.

3.I. Алгоритм построения содержательной модели ... 35

3.2. Алгоритм построения математической модели 37

Глава IУ. Примеры построения моделей сложных систем

4.I. Макромодель хозяйства области 45

4.2. Модель угломерной системы экстремальной радионавигации 5I

4.3. Акустическая модель океана 58

4.4. Модель производства бензина 62

Глава У. Использование стандартных моделей в задачах синтеза структуры системы

5.I. Общая характеристика синтеза структур 69

5.2. Критерии синтеза структур 70

5.3. Стандартные модели синтеза систем 72

5.4. Алгоритм синтеза системы на основе стандартных моделей 76

5.5. Синтез генеральной схемы управления хозяйством области 78

Глава УI. Основы автоматизации процесса построения модели системы

6.I. Использование стандартных моделей для построения дерева целей оргсистемы 88

6.2. Описание процесса проектирования диалоговой системы построения содержательной модели оргсистемы и формирования дерева целей 90

6.3. Структура диалоговой системы 98

6.4. Краткая характеристика диалоговой системы... 100
6.5. Язык диалога 101
6.6. Режим работы системы.....102
6.7. Пример диалога..... 105
6.8. Программное обеспечение..... 106

Глава УП. Модели декомпозиционного планирования в иерархической системе

7.1. Общее описание модели планирования в двухуровневой системе..... 115
7.2. Классификация моделей декомпозиционного планирования..... 117
7.3. Модель макроанализации объема выпуска продукции.125
7.4. Модель распределения ресурсов по критерию прибыли..... 128

Литература..... 133

ВВЕДЕНИЕ

Методом моделирования решены многие научные и практические задачи управления сложными объектами и процессами (техническими, технологическими, организационными, биологическими). Трудности исследования сложных систем с целью построения моделей обусловлены прежде всего тем, что сложные системы отличаются многомерностью и динамичностью процессов, многоэтапностью процессов функционирования и развития, многоуровневой иерархической структурой.

Указанные характеристики приводят к тому, что единая модель сложной системы оказывается чрезвычайно сложной, а ее непосредственное исследование практически невозможным. В такой ситуации весьма плодотворным оказывается принцип декомпозиции общей модели. В результате декомпозиции общей модели образуется иерархическая система взаимосвязанных моделей, соответствующих отдельным подсистемам. Для нахождения решений на моделях широко используется вычислительная техника. Необходимость и целесообразность применения вычислительной техники для отыскания решений на моделях не вызывает сомнений и доказана многолетней практикой. С другой стороны, в процессе построения моделей (содержательных и математических) встречаются серьезные затруднения. Во-первых, методология построения моделей сложных систем недостаточно разработана и все еще носит характер общих рекомендаций. Поэтому процессы построения моделей и их использования представляют в большой степени искусство, так как опираются только на интуицию и опыт исследователя. Во-вторых, в процессе построения моделей сложных систем исследователю приходится иметь дело с огромными объемами информации. Все это приводит к необходимости алгоритмизации и автоматизации процесса построения моделей сложных систем.

В качестве эффективного средства автоматизации процесса построения моделей может использоваться диалоговая система. Диалоговая форма взаимодействия исследователя с машиной позволяет ра-

ционально распределить функции между исследователем и машиной в процессе построения модели.

Работа состоит из семи глав. В первой главе приводятся понятия, определения и описание системы, элементов и свойств, структуры, связей системы и среды, функций системы. При построении моделей сложных систем используется модульный подход, который позволяет выявить набор модулей, соответствующих подсистемам и их взаимосвязям, путем последовательной декомпозиции модели системы на все более мелкие составные части до некоторой их элементарной совокупности. При модульном подходе к моделированию предлагается использовать набор стандартных (содержательных и формализованных) модулей, из которых конструируется уже общая модель. Эти стандартные модули должны описывать некоторую общую инвариантную структуру определенного класса сложных систем.

Описание декомпозиционного подхода к построению модели, набора стандартных модулей сложных систем и требований к ним приводятся в главе П.

В главе Ш предлагаются декомпозиционные алгоритмы построения содержательных и математических моделей, имеющих модульную структуру, на основе стандартных моделей сложных систем.

Разработанные алгоритмы иллюстрируются примерами, относящимися к области технических и организационных систем, технологических процессов и природных объектов. Описание примеров дается в главе IУ. В главе У предлагается алгоритм синтеза структуры системы на основе стандартных моделей, описывается пример синтеза генеральной схемы управления хозяйством области.

В главе УI описывается диалоговая система, используемая как средство для автоматизации процесса построения содержательной модели и формирования дерева целей организационной системы, формируются требования к диалоговой системе, описываются режимы ее работы, язык системы, дается краткая характеристика программного обеспечения. В главе УП для двухуровневой иерархической системы предло-

жены две модели декомпозиционного планирования. В первой модели осуществляется максимизация выпуска продукции в желательной пропорции, во второй осуществляется распределение ресурсов между локальными элементами системы по критерию суммарной прибыли всех элементов.

Автор глубоко благодарен преподавателям кафедры ОАСУ ТИАСУРа и сотрудникам лаборатории проектирования организационных структур НИИ АЭМ, которые своими критическими замечаниями и советами способствовали улучшению содержания книги. Особую признатель - ность автор выражает редактору профессору В.П.Тарасенко, аспиранту В.В.Одинокову, оказавшим помощь на различных этапах ра - боты над книгой.

ГЛАВА I. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ

I.I. ПОНЯТИЕ СИСТЕМЫ

Единого общепринятого определения системы не существует. Одним из наиболее широко принятых определений системы вообще является следующее. Система – это множество элементов, на которых реализуется отношение с заранее заданными свойствами [I]. Данное определение является дескриптивным и используется в тех случаях, когда необходимо объяснить функцию системы ее структурой.

При конструктивном подходе к анализу систем по заданной функции получают стоящую за ней структуру. По конструктивному определению система есть конечное множество функциональных элементов и отношений между ними, выделяемое из среды в соответствии с определенной целью [I].

В соответствии с приведенными определениями системами являются: предприятие, включающее кадры, оборудование, сырье, готовую продукцию, производственные процессы; живой организм, образуемый совокупностью органов; машина, собранная из узлов и деталей, и так далее.

Как дескриптивное, так и конструктивное определения системы включают в себя три основных компонента, называемых в философии категориями: элементы, свойства и отношения. Эти категории могут переходить друг в друга. Одно и то же явление в разных отношениях может обладать любой из этих трех характеристик [2]. Так, электрический заряд как самостоятельный предмет исследования – элемент (вещь по терминологии работы [2]); в то же время он является свойством частиц вещества; он же есть отношение между частицей и полем. Вес есть элемент, свойство тел и отношение между телом и землей. Болезнь как явление, выделенное в самостоятельную нозологическую частицу, – элемент; она же является свойством живых организмов и отношением между организмом и патогенным раздражителем.

Выберем в качестве предмета исследования класс систем, включающих значительное количество взаимосвязанных и взаимодействую-

щих элементов и имеющих иерархическую структуру. Подобные системы будем называть сложными. Тогда к числу сложных систем будут относиться в своем большинстве организационные и технологические системы, технические, биологические и природные объекты.

I.2. ЭЛЕМЕНТЫ И СВОЙСТВА СИСТЕМЫ

Элементы – это части или компоненты системы. В плане данного определения любой материальный объект является элементом. Один и тот же предмет, взятый в разных отношениях, может выступать и как один и как несколько разных элементов. Здания института, расположенные в разных концах города, пространственно являются разными элементами. Но в функциональном отношении, с точки зрения своего общего назначения, они выступают как один и тот же элемент [2].

Различают элементы информационные, энергетические и вещественные [3]. Информационные элементы предназначены для приема, запоминания и преобразования информации. Функции энергетических элементов связаны с преобразованием энергии, целью которого является выработка необходимой системе энергии в той форме, в которой она может потребляться другими элементами. Вещественные элементы осуществляют преобразование вещества, которое может быть, например, механическим (штамповка деталей), химическим (производство пластмасс), физическим (образование плазмы), биологическим. Преобразования, осуществляемые названными типами элементов, носят, как правило, смешанный характер. Так, например, элементы, преобразующие вещество, нуждаются в энергии и информации, то и другое может содержаться в самом вещественном элементе, поступать от других элементов системы или из среды. Передача информации требует энергии, перенос энергии также невозможен без информации. Важно отметить, что превалирует.

Один и тот же элемент (подсистема), а также система в целом, может иметь множество свойств, которые проявляются при их рассмотрении с различных точек зрения (целей исследования). Свойства элементов характеризуются их параметрами. Элементы любых реальных

систем можно характеризовать их физическим составом, потреблением энергии, габаритами, стоимостью и многими другими параметрами. Например, элементы оргсистемы имеют следующие параметры: люди - выносливость, творческая активность, образованность и т.д.; средства деятельности - производительность, срок службы, ремонтнопригодность и т.д. Любая система, как правило, имеет иерархическую структуру. Это связано с тем, что любой элемент системы всегда может рассматриваться как состоящий в свою очередь из ряда других элементов. Примером, иллюстрирующим иерархичность построения технологических объектов, является производственный комплекс непрерывного действия химико-технологического профиля. Комплекс состоит из иерархической совокупности подсистем, связанных между собой материальными потоками произвольным образом. Если в качестве комплекса рассматривать химико-технологический завод, то второй уровень комплекса составляют цеха, третий - установки, четвертый - технологические аппараты, такие, как печь, реактор, теплообменник и т.д.

В качестве примера технических объектов, имеющих иерархическую структуру, рассмотрим вычислительное устройство [4].

На самом верхнем уровне под системой понимается именно это устройство (вычислительное устройство вместе со вспомогательным оборудованием). На следующем уровне выделяются сумматоры, регистры, цепи синхронизации, генераторы, матрицы запоминающих элементов и другие узлы.

Названные узлы состоят из элементов, образующих следующий уровень. К ним относятся триггеры, линии задержки, вентили, переключательные схемы, ячейки индикации и другие.

И, наконец, к низшему уровню относятся первичные элементы из которых состоят элементы предыдущего уровня. Это транзисторы, сопротивления, конденсаторы и другие.

Для природных объектов также можно говорить об их иерархической упорядоченности: это ядерный и атомный уровни в физике, молекулярный и клеточный уровни, уровни тканей и органов в биологии.

I.3. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Под структурой системы понимается совокупность отношений между элементами. Сразу же отметим, что говорить об отношениях бессмысленно вне определенных элементов и их свойств, также бессмысленно говорить о свойствах вне определенного отношения. В одном и том же объекте могут быть выделены самые разнообразные структуры, между которыми существуют сложные отношения. Нас прежде всего интересуют временные, пространственные отношения, отношения типа связи. Существование большого разнообразия структур сложных систем заставляет ввести классификацию их типов. Такая классификация структур приведена, например, в [II].

Дадим определение связи в соответствии с работой [2]. Объекты являются связанными в определенном отношении: если изменениям одного из них соответствуют изменения другого, и при отсутствии изменений одного отсутствуют соответствующие изменения другого.

Рассмотрим отличие связи от отношений.

Так, при наличии взаимосвязи между вещами изменение одной вещи вызывает изменение другой. Взаимоотношение же не означает, что изменение одной вещи определяет какое-то изменение другой. Констатируя, что один предмет больше другого, что один город восточнее другого города, мы еще ничего не говорим ни об изменении этих предметов, ни о том, связаны ли они и каков характер этой связи.

В соответствии с делением элементов на информационные, энергетические, вещественные, связи также разделяются на указанные три типа [3].

Поясним суть перечисленных видов связей. Вещественные связи представляют каналы, по которым элементы объекта и объекты в целом обмениваются между собой теми или иными веществами. В производственно-экономических объектах - это каналы, по которым осуществляются снабжение сырьем, полуфабрикатами, заготовка и отгрузка продукции. В биологических организмах - это пути, по которым совершается обмен веществ, а именно: питание живых организмов, снабжение органов питательными веществами, выброс ненужных или

вредных организму веществ.

Второй вид связей - энергетические - представляют каналы обмена различными видами энергии: механической, тепловой, световой, электрической и т.д. Это системы рычагов, теплопроводы, световоды, сети электроснабжения.

Наконец, третий вид связей, играющих основную роль в процессах управления,- информационные связи, по которым передаются сигналы управления, команды, приказы и т.д.

Информационные связи обеспечиваются каналами акустической, оптической, электрической связи, радиосвязи, почтовой связи.

Необходимо подчеркнуть, что все эти три вида связей существуют всегда неотделимо друг от друга, но в зависимости от того, какой вид связи здесь является определяющим, можно отнести данную связь к одному из перечисленных видов [3] .

Для широкого круга сложных систем характерно, что связи между подсистемами системы слабее, чем связи между элементами внутри подсистем. К таким системам относятся организационные, технологические, биологические. В рамках отдельных подсистем названных объектов выполняются однотипные функции, элементы интенсивно обмениваются материальными (информационными, энергетическими, вещественными) потоками в процессе функционирования и развития. Такие подсистемы обычно соответствуют материально законченным или технологическим (в широком смысле) процессам. Будем выделять три вида материальной обособленности: информационную, энергетическую, вещественную. Яркий пример материальной (технологической) обособленности дают подсистема управления (система управления) и управляемая подсистема (объект управления) некоторого сложного объекта. Основными конечными продуктами систем управления (СУ) являются управляющие воздействия. Для их выработки в СУ реализуется множество функций управления, близких по технологии. Основным предметом деятельности СУ является информация. В процессе выработки управляющих воздействий элементы СУ интенсивно обмениваются информацией. Эти особенности позволяют говорить о материальной (технологической) обособленности СУ.

В системах управления превалируют информационные элементы и

связи. Поэтому в СУ преобладающее значение имеет один вид материальной обособленности - информационный.

Подсистемы СУ имеют, как правило, иерархическую структуру.

Остановимся подробнее на иерархическом характере систем управления [3]. Рассмотрим в качестве примера трехуровневую иерархическую систему. Пусть управляющий орган I высшего первого уровня осуществляет управление тремя относительно крупными подсистемами второго уровня. Каждая такая подсистема имеет, в свою очередь, отдельный управляющий орган: 2_1, 2_2, 2_3. Последние управляют более мелкими подсистемами третьего уровня. Рассмотренная иерархическая структура построена по вертикали (связи подсистем высших уровней с низшими). Она может быть в случае необходимости дополнена и непосредственными связями по горизонтали между подсистемами одного уровня.

Относительно каждой системы управления обычно можно указать:

а) вышестоящие системы, которые управляют рассматриваемой системой;

б) нижестоящие системы, которыми управляет выделенная система;

в) системы, независимые по управлению.

В объекте управления обычно преобладают вещественные и энергетические элементы и связи, и соответственно преобладают вещественный и энергетический виды обособленности подсистем. Например, в производстве спирта из смеси различных предельных углеводородов выделяются цех производства пирогаза, цех выделения этилена из пирогаза, цех гидратации этилена. В рамках каждой подсистемы (цеха) элементы интенсивно взаимодействуют в процессе производства промежуточных продуктов (пирогаза, этилена) и конечного продукта (спирта).

Таким образом, для подсистем (элементов) системы характерно наличие материальной (технологической) обособленности, которая включает три вида: информационную, энергетическую, вещественную.

Рассмотрим временные отношения между элементами системы. Временные отношения (временные структуры) ограничены одномерным направлением изменения: прошлое → настоящее → будущее [2]. При таком подходе объекты существуют одновременно или один из них будет существовать раньше или позже другого.

Так, множество технологических операций по производству на предприятии некоторого конечного продукта выполняется в определенной временной последовательности. Эту временную последовательность (структуру) удобно и наглядно задавать в виде сетевого графика. Функции вычислительного центра по приему заданий на обработку, обработке этих заданий на ЭВМ, выдаче результатов счета пользователям, также осуществляются в определенной временной последовательности.

Таким образом, при анализе систем можно выделять элементы (подсистемы) системы, обособленные во времени.

Перейдем к характеристике пространственных отношений (пространственных структур). Будем давать пояснения в рамках реального трехмерного пространства. Положение любого объекта задается его местом по отношению к трем величинам: длине, ширине и высоте. Изучая пространственную структуру предприятия, необходимо указать взаимное расположение цехов, участков, отдельных служб, а также определить их длину, ширину, высоту. Пространственная структура человеческого организма отражает взаимное расположение органов движения, кровообращения, пищеварения, дыхания и т.д. Очевидно, что при анализе объекта можно осуществлять разбиение (декомпозицию) его по пространству (в пространственном отношении). Такое разбиение позволит выделить пространственно обособленные элементы (подсистемы) системы.

I.4. СВЯЗИ СИСТЕМЫ И ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Одной из важнейших целей исследования сложных систем является

определение границы, разделяющей систему и окружающую среду, и границы, отделяющей систему и окружающую среду от остального мира. Окружающая среда имеет существенные связи с системой, а связи между взаимосвязанной совокупностью, включающей систему и среду, и остальным миром являются несущественными. Здесь существенность понимается с точки зрения цели исследования.

Любой объект существует в каких-то пределах: он является таким, а не другим в определенном пространстве, времени, в отношении определенного эталона, в зависимости от определенных условий и так далее. За этими пределами он уже не существует как этот предмет, он ограничен своими пределами [2] .

Границей может быть и элемент и свойство, и отношение, которые в свою очередь могут выступать в самых различных аспектах : количественном, качественном, пространственном, временном, материальном и так далее. Таким образом, общее понятие границы не тождественно с обыденным представлением о ней, как о некой пространственной черте. В соответствии с определением система выделяется из бесконечного мира. При исследовании системы в окружающую среду включаются лишь следующие элементы [5] :

а) изменение свойств (параметров) которых влияет на систему;

б) свойства (параметры) которых изменяются вследствие изменения состояния системы.

Отметим, что выделение обособленных подсистем в материальном, временном, пространственном отношениях,по существу,означает определение границы между подсистемами объекта. Очевидно, что окружающая среда в процессе анализа системы также может подвергаться разбиению (декомпозиции) на подсистемы.

Охарактеризуем связи объекта и окружающей среды.

Взаимодействие объекта со средой представляется внешними связями. Эти связи разделяются на входные и выходные. На входе система что-то получает из среды (входные ресурсы), на выходе среда получает что-то из объекта (конечные продукты).

Подобно связям между элементами объекта, связи объекта с внеш-

ней средой (входные и выходные) могут носить вещественный, энергетический и информационный характер [3]. Входные и выходные связи указывают соответственно потребителей и источники, вещества, энергии и информации в окружающей среде.

Рассмотрим, например, человека как систему, взаимодействующую с окружающей средой. Вещественные связи человека со средой, реализуемые в процессе метаболизма (обмена веществ) заключаются в потреблении им пищи, воды, кислорода и выделении ненужных и вредных для организма продуктов. Энергетические связи заключаются в поглощении тепла, радиации и в отдаче тепла в окружающую среду. Наконец, информационные связи состоят в непрерывном восприятии человеком информации об окружающей его среде, в частности, от других членов общества, и в передаче информации людям в процессе общения с ними [3].

I.5. ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ

Элементы объекта, рассматриваемые в их взаимодействии, описываются через их функции, а именно: указывается, что элементы передают недостающие информацию, энергию, вещество. Под функцией элемента понимаются его свойства, проявляющиеся в динамике. Например, функции кровеносной системы характеризуют то,чем она обладает, то, что она делает, выполняет во взаимодействии с другими элементами организма; распределение по телу питательных веществ и кислорода, перенос гормональных веществ, удаление продуктов обмена, выравнивание температуры тела [2].

В работе [I] в рамках функционального подхода указывается способ описания функции и способ сравнения различных функций. Кратко охарактеризуем способы описания и сравнения функций.

По определению,функция элемента есть его свойство. Следовательно, прежде всего из множества свойств необходимо выбрать наиболее существенные (с точки зрения цели изучения объекта) свойства, ко-

торые выше были названы параметрами. Тогда в некоторый момент времени система характеризуется набором значений параметров. Так, состояние некоторой экономической системы характеризуется такими параметрами, как количество и качество выпускаемой продукции, производительность труда, фондоотдача и т.д. Тогда значения параметров можно рассматривать как координаты определенной точки в пространстве, которое называется пространством состояний. Точка в этом пространстве называется состоянием системы.

Функционирование системы проявляется в ее переходе из одного состояния в другое или в сохранении какого-либо состояния в течение некоторого промежутка времени.

Таким образом, функция системы проявляется в движении изображающей точки по некоторой траектории в пространстве состояний.

Функционирование системы описывается с помощью совокупности характеристических функционалов, то есть избранных функций, определенных на множестве траекторий системы.

По существу, характеристические функционалы есть не что иное, как параметры данной системы с точки зрения системы более высокого уровня. На часть из этих функционалов накладываются ограничения, выполнение которых выделяет множество допустимых траекторий. Конкретные значения другой части функционалов на одной из допустимых траекторий являются показателями эффективности функционирования. Более подробное описание функционирования системы с помощью функционалов изложено в гл. III.

В заключение отметим, что в процессе анализа системы необходимо:

1) выделить иерархические совокупности обособленных (в материальном, временном, пространственном отношениях) подсистем системы и среды;

2) определить свойства подсистем;

3) установить отношения между подсистемами, которые включают материальные связи, пространственную и временную структуры.

ГЛАВА II. СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ

2.1. МОДЕЛИ СИСТЕМ

В процессе познания любого нового объекта в голове человека (исследователя) формируется образ, отражающий определенную группу свойств. Реальный объект и образ объекта в сознании исследователя выступают как объективная и субъективная реальности. Объективная реальность является объектом познания для исследователя, который выступает в качестве субъекта познания.

Образ объекта познания, формирующийся у исследователя в соответствии с его целью, является гомоморфным - упрощенным, содержащим только наиболее существенные свойства объекта.

Предположим, что мы теперь имеем дело с системой, которая является образом (отражением) объекта. Моделью данной системы будем называть другую систему (абстрактную или материальную), которая изоморфна оформированному ранее упрощенному образу объекта [6]. По отношению к своей модели объект будем называть прототипом.

Характеристики модели (и системы - образа) подобны характеристикам прототипа. Величина подобия определяется степенью адекватности модели объекту.

В систему - образ включаются (и модели отражаются) только те элементы и отношения, которые существенны с точки зрения цели построения модели.

Под существенными элементами и отношениями модели будем понимать такие элементы и отношения, которые необходимы и достаточны для адекватности модели реальному объекту.

Из самого определения модели следует, что для одного и того же реального объекта существует множество адекватных ей моделей, построенных с различными целями.

В работе [1] приведена достаточно полная классификация типов

моделей по характеру отражения прототипа, природе элементов и т.д. Среди моделей различного типа чрезвычайно велика роль идеальных моделей. Под ними будем понимать систему, элементы которой есть продукты мышления. Подобно тому, как мышление существует в двух формах - образной и абстрактной, идеальные модели также подразделяются на образные и знаковые. Предельно конкретизированный образ объекта является идеальной образной моделью. Идеальные образные модели играют очень важную и большую роль в изучении систем, они являются промежуточными к высшей форме идеальных моделей - знаковым моделям.

Из всего класса идеальных знаковых моделей выделим два типа: содержательные (описания, например, в терминах обычного языка общения между людьми) и формальные (математические) модели. Построение содержательной модели (описания) является предварительным шагом при разработке математической модели.

Математические модели универсальны, позволяют глубже проникнуть в существо системы и найти пути решения практических задач управления сложными системами, а также наиболее удобны для формального анализа, в том числе с помощью ЭВМ. Процесс построения адекватных математических моделей включает два основных этапа:

I - построение содержательной модели. На этом этапе выделяются существенные с точки зрения исследователя (эксперта) элементы (их параметры) и отношения.

II - собственно построение математической модели (ММ) (формализация содержательной модели) и ее проверка на адекватность.

Процесс построения адекватной ММ предлагается рассматривать как итеративный процесс последовательного уточнения содержательной модели и ее формализации. Процесс заканчивается на той итерации, на которой будет построена адекватная ММ. Перечислим требования, которые должны предъявляться к математическим моделям с

целью повышения эффективности их использования:

I. Целенаправленность. Каждая модель должна разрабатываться под определенную цель.

2. Комплексность. Модель должна разрабатываться с учетом совместного рассмотрения технологического, экономического, социального, политического и т.д. аспектов управления.

3. Взаимоувязанность. Состоит в единстве математического, информационного, организационного обеспечения моделей.

4. Оптимальность. Разрабатываемая модель должна ориентироваться на выбор наиболее эффективных решений в соответствии с выбранным критерием оптимальности. При необходимости модель должна содержать процедуру сочетания различных целевых функций.

5. Адекватность. Характеристики модели должны быть близки в определенном смысле характеристикам объекта.

В качестве критериев близости могут использоваться среднеквадратическая погрешность, абсолютная погрешность, максимум правдоподобия и др. оценки.

Для организационных систем большое значение имеют различные неформальные критерии адекватности, связанные с социологическими, психологическими и др. аспектами управления. В связи с этим в моделях должно предусматриваться включение экспертов как элементов самой модели.

6. Контролируемость. В процессе использования моделей должна быть обеспечена измеряемость критерия адекватности модели реальному объекту.

7. Адаптивность. Модель должна обладать целенаправленной способностью приспосабливаться к изменениям объекта, внешней среды и параметров лица, принимающего решение.

8. Простота. Использование модели на практике не должно вызывать затруднений у пользователя. Представление исходных данных и результатов моделирования должно быть наглядным и удобным.

9. Оперативность. Модель должна позволять получение своевремен-

ных решений.

10. Устойчивость. Модель должна удовлетворять заданным критериям устойчивости.

11. Декомпозируемость. В модели большой размерности должна предусматриваться возможность ее декомпозиции на множество частных моделей меньшей размерности.

12. Реализуемость. Совокупные затраты на разработку и использование моделей должны не превышать допустимых пределов.

13. Эффективность. Методы, используемые для построения и применения модели, должны быть эффективны. Мерой эффективности методов может быть скорость сходимости, время решения, объем требуемой памяти и т.д.

2.2. ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ МОДЕЛИ

Можно выделить два принципиально разных подхода к построению модели сложной системы.

Первый подход основан на методе "черного ящика", который используется в следующих случаях [3].

1) нас не интересует внутренняя структура системы и важным для нас является только ее поведение;

2) внутренняя структура системы доступна для наблюдения и описания, но элементы и отношения системы столь многочисленны и сложны, что сбор и обработка соответствующей информации о внутренних процессах в системе требует недопустимого времени и чрезмерных затрат;

3) внутренняя структура недоступна (на данном уровне познания) для изучения.

Так, психологи вынуждены основной комплекс своих исследований осуществлять по методу "черного ящика", наблюдая, фиксируя, классифицируя и анализируя поведение людей в различных жизненных ситуациях, задавая испытуемым специально разработанные тесты и т.д.

Метод "черного ящика" используют и в задачах моделирования социально-экономических систем. Для всестороннего описания их внутренней структуры необходимо использовать сведения из области эко-

номики, социологии, социальной психологии и других наук. Однако в ряде случаев описание социальных процессов в таких системах может быть осуществлено с помощью статистического моделирования по методу "черного ящика" с привлечением средств корреляционного, регрессионного и факторного анализов [3].

Естественно, что независимо от степени детализации изучения системы по методу "черного ящика" нельзя на основании полученных данных о ее функционировании сделать обоснованные выводы о внутренней структуре этой системы, так как одинаковым поведением могут обладать совершенно различные по своей структуре системы. Поэтому модели сложных иерархически образованных систем, построенные по методу "черного ящика", находят узкое применение. Сфера использования таких моделей в основном ограничивается решением задач предсказания поведения системы, но не управления.

Альтернативный подход связан с представлением общей модели сложной системы в виде совокупности взаимосвязанных модулей, соответствующих отдельным подсистемам системы.

Будем считать, что модель системы имеет модульную (подсистемную) структуру [7], если:

1. Она состоит из модулей, соответствующих подсистемам, и связей между ними, причем число подсистем $\geqslant 2$;

2. Каждой из подсистем сопоставлен критерий оптимальности, в то время как имеется и критерий всей системы.

Следовательно, процесс построения математической модели, имеющей модульную структуру, включает два этапа. На первом этапе осуществляется построение содержательной модели, имеющей модульную (подсистемную) структуру. На втором этапе осуществляется формализованное описание содержательных модулей подсистем и их связей.

2.3. ПРИНЦИПЫ ФОРМАЛИЗОВАННЫХ СТАНДАРТНЫХ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Существенное значение для построения модели, имеющей модульную структуру, имеют методы декомпозиции. Методы декомпозиции позволя-

ют осуществить последовательное расчленение системы на подсистемы, которые в свою очередь расчленяются на составляющие их части. Если полученные в результате декомпозиции подсистемы не элементарны, то есть недоступны на данном уровне описания для использования, то необходимо осуществить их дальнейшее расчленение.

В результате такой декомпозиции будет построена содержательная модель системы, имеющая модульную (подсистемную) структуру.

Расчленение системы на подсистемы в общем случае может быть выполнено неоднозначным образом и определяется используемыми основаниями декомпозиции. Рассмотрим требования, которым должны удовлетворять основания декомпозиции.

Декомпозиция системы оказывается особенно плодотворной в тех случаях, когда в качестве подсистем оказываются более или менее самостоятельно функционирующие части системы. Для таких подсистем характерны относительно слабые связи между подсистемами и сильные связи внутри подсистем.

Декомпозиция системы приводит к разрыву части связей, поэтому необходимо расчленение проводить таким образом, чтобы минимизировать число разорванных связей. Эта минимизация будет обеспечена, если при выделении подсистем придерживаться выполнения следующих двух основных требований:

а) связи между подсистемами должны быть минимальными;

б) связи между элементами, входящими в отдельные подсистемы, должны быть максимальными.

Сформированные требования используются как при декомпозиции систем, так и при их синтезе. Обоснование использования этих требований для синтеза приведено в гл. У.

Таким образом, все используемые основания декомпозиции должны быть ориентированы на выполнение требований а и б . В качестве оснований декомпозиции сложных систем предлагается использовать так называемые стандартные модели, которые описывают некоторые инвариантные характеристики систем.

Из определения системы следует, что:

– все системы состоят из элементов;

– все элементы (подсистемы) систем характеризуются некоторыми свойствами (параметрами);

– между элементами каждой системы существуют отношения (материальные, временные, пространственные).

Относительно каждого элемента, свойства, отношения допустима декомпозиция, которая определяет глубину детализации описания системы. Это позволяет сформулировать основные принципы формирования стандартных моделей (СМ) в следующем виде:

1. Все СМ делятся на равные типы в зависимости от характера основных компонентов систем: свойств системы, составляющих ее элементов и отношений между элементами (материальными, временными, пространственными).

2. СМ должны образовывать относительно полную совокупность, в рамках которой каждая из реальных сложных систем должна найти место.

3. Из полного набора нужно выделять те СМ, которые наиболее важны с точки зрения определенной задачи, например, с точки зрения проектирования систем управления.

4. СМ должны позволять осуществлять последовательную многошаговую декомпозицию элементов, свойств, отношений до некоторой их элементарной совокупности.

В соответствии с первым принципом выделим:

а) СМ анализа состава элементов (СМАСЭ);

б) СМ анализа свойств (параметров) (СМАС);

в) СМ анализа отношений (СМАО).

В рамках каждого типа СМ можно предложить набор конкретных моделей, с помощью которых можно осуществлять декомпозицию элементов, определять их параметры, выделять подсистемы, обособленные во времени, в пространстве, по технологии (материально обособленные), определять материальные связи (вещественные, информационные, энергетические) между подсистемами.

Так как процесс декомпозиции отношений неотделим от декомпозиции элементов и свойств (бессмысленно говорить об отношениях вне элементов, их свойств и наоборот), то представляется оправданным формирование стандартных моделей, которые представляли бы комбинации из моделей СМАСЭ, СМАС, СМАО. Тогда СМ, соответствующие указанным принципам, позволят сформировать как бы каркас (принципиальную схему) сложной системы и тем самым упростить работу по построению содержательной модели.

Очевидно, что существует набор стандартных моделей, инвариантный по отношению ко всем классам сложных систем и существуют наборы стандартных моделей, инвариантных системам в пределах определенного класса объектов. Например, в пределах класса организационных систем целесообразно представить объект моделирования в виде взаимосвязанной совокупности подсистем социальной деятельности любой оргсистемы [8] : управление, население, производство, природа. Очевидно, что для технических систем подобное представление не является оправданным.

В следующем разделе предлагается набор 17 СМ, представляющих комбинации из СМАСЭ, СМАС, СМАО, а в разделе 3.1. описывается алгоритм использования СМ для построения содержательных моделей сложных систем.

2.4. СТАНДАРТНЫЕ МОДЕЛИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Предлагается набор стандартных моделей систем, которые могут последовательно использоваться при декомпозиции содержательной модели существующей, либо проектируемой системы. В качестве объекта моделирования (ОМ) может выступать как система в целом, так и отдельные ее подсистемы.

Модели декомпозиции разбиты на группы.

I группа. Модели декомпозиции для анализа конечных продуктов

1. Первый уровень модели состава исследуемой системы (ИС) включает 2 элемента: СМ и окружающую среду (ОС). Модель отношения содержит 4 агрегированные связи и изображена на рис. 2.4.I. Здесь и далее максимальное число агрегированных связей для ИС из N эле-

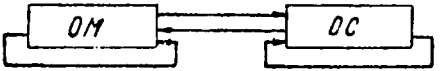


Рис 2.4.1 Модель агрегированных связей ОМ и ОС

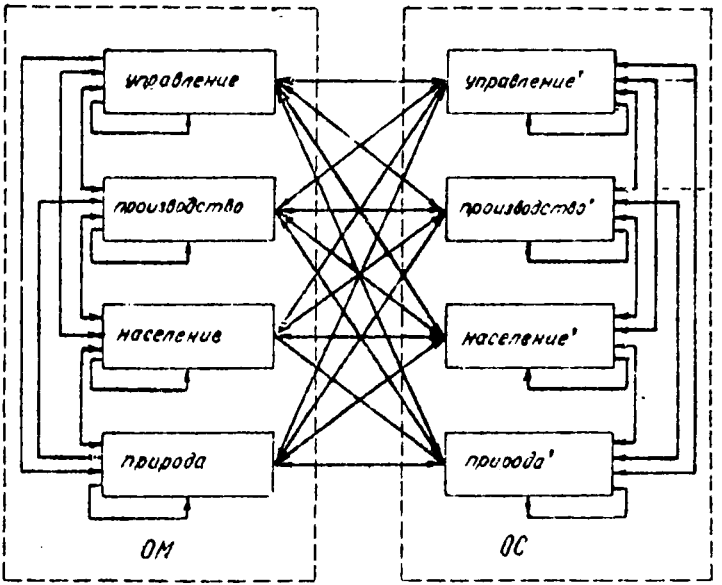


Рис 2.4.2 Модель связей подсистем социальной деятельности ОМ и ОС

ментов (ОМ и ОС) равно N^2 .

2. Второй уровень модели состава ИС образован путем декомпозиции среды на подсистемы - потребители в среде конечных продуктов (КП) ОМ. Подсистемами-потребителями в среде КП ОМ могут быть:

- пространственно-обособленные подсистемы;
- технологически обоснованные подсистемы;
- подсистемы, обособленные во временном отношении;
- организационно-обособленные подсистемы и т.д.

Примером подобных обособленных подсистем-потребителей являются: вышестоящая (по отношению к ОМ) система (ВС); система, подчиненная объекту моделирования (ПС); другие потребители (ДП) конечных продуктов ОМ.

Названные подсистемы нашли применение при декомпозиции оргсистем. Для дальнейшей декомпозиции среды ВС, ПС, ДП могут быть представлены в виде совокупности подсистем социальной деятельности: производство, природа, население, управление. Декомпозиция подсистем-потребителей с помощью предложенных стандартных моделей осуществляется последовательно до их элементарной совокупности.

3. На этом уровне модели осуществляется декомпозиция ОМ на подсистемы-поставщики КП для ОС. Такими подсистемами-поставщиками КП для среды также могут быть подсистемы ОМ:

а) пространственно-обособленные;
б) технологически-обособленные;
в) обособленные во временном отношении;
г) организационно-обособленные и т.д.

К числу таких подсистем ОМ относятся система управления (СУ) и объект управления (ОУ) объекта моделирования.

При декомпозиции оргсистемы объект управления может быть представлен в виде совокупности подсистем: производство, природа, население.

Декомпозиция подсистем - поставщиков осуществляется последовательно до их элементарной совокупности. На рис. 2.4.2 в качестве примера приведена модель ИС для случая, когда ОМ и среда представ-

лена в виде совокупности подсистем социальной деятельности: управление, производство, население, природа. Модель содержит 64 связи, характеризующие направленные материальные, информационные и энергетические потоки, указывающие их источники и потребителей. Очевидно, что число связей между получаемыми в результате декомпозиции подсистемами ОМ и среды растет быстро. Однако существенных связей, как правило, значительно меньше их возможного числа.

4. Четвертый уровень модели получается путем декомпозиции подсистем ОМ по составу подсистем-производителей отдельных конечных продуктов (или путем декомпозиции по составу конечных продуктов подсистем). Такую декомпозицию можно осуществлять в том случае, когда связи различных подсистем-производителей не существенны. Существенным является лишь состав подсистем-производителей (соответственно состав конечных продуктов подсистем). Например, с точки зрения эксперта несущественно, что предприятие-потребитель в окружающей среде получает конечный продукт, выпускаемый участком № 5 анализируемого предприятия (ОМ). Существенно лишь то, что предприятие поставляет этот конечный продукт. На 4-м уровне осуществляется детализация связей 3-го уровня по числу КП, выпускаемых подсистемами. На рис. 2.4.3 дан пример 4-го уровня модели связей подсистемы "Производство". Пунктиром на рисунке указано, что соответствующий КП выпускается определенной подсистемой - производителем (Пр.).

Для примера подсистему "производство", являющуюся составной частью области как социально-экономической системы, можно представить как совокупность отраслей (производителей) народного хозяйства, производящих определенные КП. Модель 4-го уровня соответствует основанию декомпозиции "по конечному продукту", введенному в [1].

Полезным шагом при декомпозиции по составу конечных продуктов является разбиение КП на желательные и нежелательные. Нежелательными КП являются, например, различные отходы производства.

5. Пятый уровень модели состава получается путем декомпозиции отдельных конечных продуктов (точнее свойств КП) по составу пара-

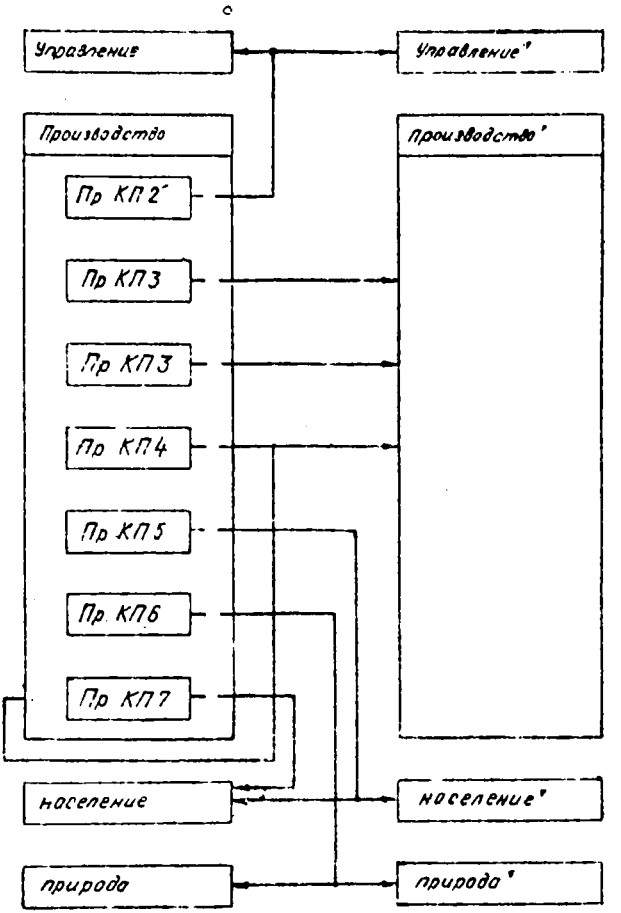


Рис 2.4.3 Пример 4^{20} уровня модели связей подсистемы „Производство"

метров (по составу свойств КП). Примером параметров КП являются объемы, номенклатура поставок КП, технические, технологические и другие характеристики КП.

6. Осуществляется декомпозиция подсистем-производителей по составу способов производства одних и тех же КП [9]. Предполагается, что одни и те же КП можно произвести с помощью различных способов производства. Здесь считается, что отношения между различными способами (подсистемами) производства и их отношения с подсистемами окружающей среды не существенны.

II Группа. Модели декомпозиции для анализа (процессов) производства КП

7. Седьмой уровень образован путем декомпозиции подсистем-производителей отдельных КП по составу этапов (процессов) производства. Здесь осуществляется декомпозиция производства на этапы (процессы), обособленные во временном отношении. Будем различать 4 типа соединений процессов во времени.

I. Последовательное во времени соединение процессов производства отдельных КП (рис. 2.4.4). Примером последовательного соединения являются процессы получения вещества, энергии, информации, их обработки и выдачи (рис. 2.4.5).

Другим примером последовательных процессов являются этапы жизненного цикла производства КП [1]: выявления потребности в КП, производство КП, потребление КП.

2. Параллельные (независимые) во времени процессы производства (рис. 2.4.6).

3. Соединение типа сборки процессов (рис. 2.4.7).

4. Соединение типа разветвление процессов (рис. 2.4.8).

Соединения 3,4 можно рассматривать как результат комбинации соединений 1,2. Итеративное применение указанных соединений позволяет определить состав процессов технологии производства отдельных КП.

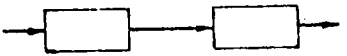


Рис 2.4.4 Последовательное соединение процессов

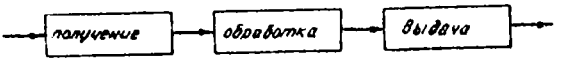


Рис 2.4.5. Пример последовательного соединения процессов

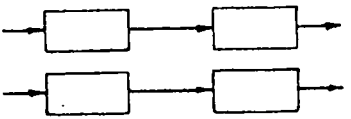


Рис 2.4.6 Параллельные во времени процессы

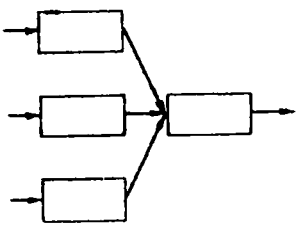


Рис 2.4.7
Сборка процессов

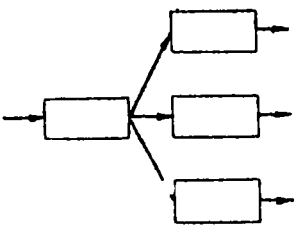


Рис. 2.4.8.
Разветвление процессов

8. Конкретизируются способы передачи КП между подсистемами.

9. Процессы передачи КП между подсистемами декомпозируются по составу этапов (подпроцессов).

Здесь используется модель седьмого уровня.

10. Определяются параметры, характеризующие процессы (подпроцессы) производства (передачи) КП.

К числу таких параметров относятся моменты начала и окончания процессов, надежность функционирования, себестоимость КП и т.д.

III Группа. Модели декомпозиции для анализа предметов деятельности

11. Определяются предметы деятельности для каждого этапа производства (передачи) КП, выделенного на седьмом и девятом уровнях.

Определение состава входных предметов деятельности осуществляется путем их материального (вещественного, энергетического, информационного) обособления.

12. Осуществляется декомпозиция предметов деятельности по составу параметров.

13. ОМ и среда декомпозируются по составу подсистем, обеспечивающих этапы производства (передачи) КП предметами деятельности.

Заметим, что КП отдельного этапа производства могут выступать в качестве входных предметов деятельности этого же этапа.

IУ Группа. Модели декомпозиции для анализа структурных элементов

Структурными элементами будем называть средства деятельности и используемые кадры (исполнители).

14. Определяются структурные элементы, осуществляющие преобразование предметов деятельности в конечные продукты для каждого

этапе производства (передачи) КП.

Очевидно, что для ряда СИ, например, систем автоматического управления, структурный элемент – кадры не существенен.

Структурные элементы образуют некоторую технологическую систему управления, а предметы деятельности являются в этом случае объектом управления.

15. Определяются параметры структурных элементов.

16. СИ и среда декомпозируются по составу подсистем, обеспечивающих этапы производства (передачи) КП структурными элементами.

В процессе функционирования структурные элементы выбывают из строя и возникает необходимость их замены. С этой целью определяются подсистемы – источники структурных элементов в СИ и среде.

17. На данном этапе определяется пространственное расположение (пространственные параметры – координаты) элементов, полученных путем декомпозиции СИ и среды по описаниям выше моделям (КП, предметов и средств деятельности, кадров).

У Группа. Модели декомпозиции для анализа ограничений

На параметры СИ и их взаимосвязи накладываются различные ограничения, например, на количество и качество выпускаемой продукции, длительность выполнения функций технологии производства, ограничения, связанные с наличием рабочей силы, производственных помещений и т.д. Все множество ограничений можно разбить на две части: ограничения на параметры отдельных подсистем, рассматриваемых изолированно, и ограничения, отражающие взаимодействие подсистем (межподсистемные ограничения).

К числу параметров отдельных подсистем (этапов) относятся: параметры КП, параметры предметов и средств деятельности, кадров, а также параметры процессов, характеризующие взаимодейст –

вие ИП, предметов, средств деятельности, кадров.

Указанные параметры являются на 5-ом, 10-м, 15-м и 15-м уровнях декомпозиции. Межподсистемные связи характеризуют связи параметров различных подсистем. Эти связи прежде всего определяют соотношение между одноименными продуктами подсистем и распределение ресурсов между подсистемами.

Для системного выявления ограничений ниже предлагаются две стандартные модели.

18. СЛ и среда декомпозируются по составу подсистем, задающих ограничения на параметры отдельных подсистем.

19. СЛ и среда декомпозируются по составу подсистем, задающих межподсистемные ограничения.

Использование описанных стандартных моделей для построения содержательных моделей широкого ряда сложных систем показало их практическую работоспособность.

Очевидно, что рассмотренный перечень из 19 стандартных моделей не является исчерпывающим. Состав стандартных моделей может пополняться и конкретизироваться в зависимости от целей исследования и типов анализируемых систем.

ГЛАВА Ш. ОСНОВЫ АЛГОРИТМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ

3.I. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СОДЕРЖАТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ

В основе организации процесса построения модели (содержательной и математической) лежит понятие очереди. Выделим два типа очереди. В очередь первого типа (очередь I) заносятся те содержательные подмодели, получаемые в процессе последовательной декомпозиции системы на подсистемы, которые ожидают своей декомпозиции. В очередь второго типа (очередь 2) заносятся элементарные содержательные подмодели, которые ожидают своей формализации. Предлагаемый алгоритм построения содержательной модели включает этапы I-I7 (рис. 3.I.I).

I. Осуществляется определение объекта моделирования (ОМ).

2. Определение цели построения модели ОМ.

3. Построение модели первого уровня (глобальной модели), которая включает два элемента (подсистемы): ОМ и окружающую среду.

4. Помещение модели первого уровня в очередь I для декомпозиции.

5. Проверяется наличие хотя бы одной модели в очереди I. Если такой модели нет, процесс построения дерева содержательных моделей окончен и осуществляется переход к этапу I8 алгоритма построения математической модели. Иначе переход к следующему этапу.

6. Из очереди I берется модель, которая стоит первой.

7. Производится проверка модели на элементарность. Если модель элементарна, переход к этапу 9. Иначе к этапу I3.

8. Элементарная содержательная модель заносится в очередь I для математического описания. Переход к этапу 9.

9. Элементарная содержательная модель исключается из очереди I. Переход к этапу 5.

I0. Проверяется возможность применения очередной группы оснований декомпозиции. В случае положительного ответа осуществляется переход к этапу I2. Иначе к этапу II.

II. Здесь осуществляется выбор следующей группы оснований де-

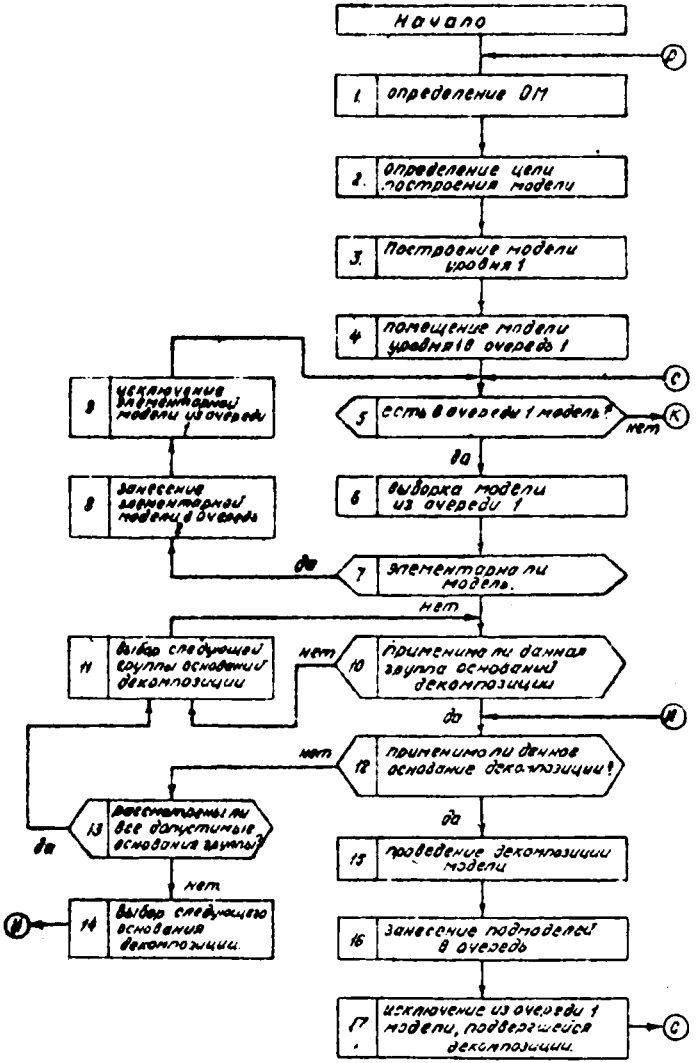


Рис 3.1.1. Алгоритм построения содержательной модели

композиции. Переход к этапу 10.

12. Проверяется возможность применения очередного основания декомпозиции из выбранной группы оснований. В случае положительного ответа – переход к этапу 15. Иначе переход к этапу 13.

13. Проверяется наличие хотя бы одного допустимого основания из выбранной группы оснований декомпозиции. Если есть такое основание, то переход к этапу 14. Иначе к этапу 11.

14. Берется следующее основание декомпозиции из данной группы оснований. Переход к этапу 12.

15. Определяется состав подмоделей, полученный в результате применения соответствующего основания декомпозиции. В зависимости от основания используется один из двух вариантов проведения декомпозиции:

а) состав подмоделей генерируется без участия лица принимающего решения (ЛПР), в задачу которого входит лишь подтверждение существенности соответствующих подмоделей;

б) состав подмоделей определяется текущим ответом ЛПР. Переход к этапу 16.

16. Подмодели, полученные в результате декомпозиции, включаются в очередь 1. Переход к этапу 17.

17. Исключение из очереди 1 модели, подвергшейся декомпозиции на этапе 15. Переход к этапу 5.

3.2. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Пусть в результате декомпозиции получено Q элементарных подсистем, которые занесены в очередь 2. Будем предполагать, что каждая q-я подсистема описывается множеством n_q параметров, характеризующих конечные продукты подсистемы, предметы и средства деятельности, кадры, а также процесс в целом. Пусть в общем случае эти параметры являются функциями времени. Обозначим значение i-го параметра q-й подсистемы в момент времени t через $x_i^q(t)$,

$i = \overline{1, n_q}$. Через $x^q(t_i)$ будем обозначать вектор значений параметров q - й подсистемы в момент времени t_i. Тогда $x^q(t)$ характеризует траекторию q - й подсистемы. Функционирование системы описывается с помощью совокупности характеристических функционалов, определенных на множестве траекторий $x^q(t)$, $q = \overline{1, Q}$ и отражающих множество отношений между парамет - рами системы.

Будем считать, что ММ системы построена, если:

а) сформирован набор ограничений для каждой подсистемы;

б) сформирован набор общих (межподсистемных) ограничений;

в) выбраны целевые функции каждой подсистемы;

г) выбрана целевая функция системы.

Для выполнения операций а - г необходимо сформировать соответствующие характеристические функционалы подсистем и системы в целом. Функционалы в общем случае могут иметь алгебраическую, интегральную, дифференциальную и другие формы. Реальные ММ могут иметь самый разнообразный вид, далекий от аналитических зависи - мостей. Например, ММ могут быть заданы в виде некоторого алго - ритма, графических зависимостей, таблиц и т.д.

Обозначим функционалы q - й подсистемы через

$$\Phi_j^q(x^q(t)), \quad j = \overline{1, N_q}.$$

Пусть $\Phi_j^q(x^q(t))$, $j = \overline{1, K_q}$ являются скалярными целевыми функциями q - й подсистемы. Целевая функция q - й подсистемы является в общем случае векторной и имеет вид

$$F_q = \{\Phi_1^q, \ldots, \Phi_{K_q}^q\}. \tag{3.2.1}$$

На функционалы Φ_l^q, $l = \overline{K_q + 1, N_q}$ накладываются ограничения, например, в виде (3.2.2)

$$\Phi_j^q(x^q(t)) \geq 0, \quad j = \overline{K_q + 1, N_q}. \tag{3.2.2}$$

Тогда постановка задачи определения оптимального функционирования q - й подсистемы (в отдельности) выглядит следующим образом.

Найти экстремум векторной целевой функции

$$F_q = \{ \varphi^q_1, \dots, \varphi^q_{\kappa_q} \} \qquad (3.2.3)$$

при ограничениях

$$\varphi^q_j(x^q(t)) \geq 0 \ , \ j = \overline{\kappa_q + 1, N_q}. \qquad (3.2.4)$$

Пусть межподсистемные связи характеризуются функционалами

$$\varphi_\ell(x^1(t), \dots, x^Q(t)) \ , \ \ell = \overline{1, N} \ ,$$

а $\varphi_\ell(x^1(t), \dots, x^Q(t)) \ , \ \ell = \overline{1, \kappa}$ являются скалярными целевыми функциями системы в целом. Целевая функция системы также является в общем случае векторной и имеет вид

$$F = \{ \varphi^1_1, \dots, \varphi^1_{\kappa_1}, \dots, \varphi^Q_1, \dots, \varphi^Q_{\kappa_Q}, \varphi_1, \dots, \varphi_\kappa \}. \qquad (3.2.5)$$

На функционалы $\varphi_i \ , \ i = \overline{\kappa+1, N}$, накладываются общие ограничения, например, по распределенным ресурсам, суммарным одноименным продуктам и так далее.

Пусть для простоты ограничения имеют вид (3.2.6)

$$\varphi_\ell(x^1(t), \dots, x^Q(t)) \geq 0 \ , \ \ell = \overline{\kappa+1, N}. \qquad (3.2.6)$$

Тогда постановка задачи определения оптимального функционирования системы в целом имеет следующий вид.

Найти экстремум векторной целевой функции

$$F = \{ \varphi^1_1, \dots, \varphi^1_{\kappa_1}, \dots, \varphi^Q_1, \dots, \varphi^Q_{\kappa_Q}, \varphi_1, \dots, \varphi_\kappa \} \qquad (3.2.7)$$

при подсистемных ограничениях

$$\varphi^q_j(x^q(t)) \geq 0 \ , \ j = \overline{\kappa_q + 1, N_q} \ ; \ q = \overline{1, Q} \qquad (3.2.8)$$

и общих (межподсистемных) ограничениях

$$\varphi_\ell(x^1(t), \dots, x^Q(t)) \geq 0 \ ; \ \ell = \overline{\kappa+1, N}. \qquad (3.2.9)$$

На рис. 3.2.1 приведена блок-схема алгоритма построения ММ (формализации модели, построенной на этапах I-I7)(см.рис.3.I.I).Ниже даны пояснения к содержанию этапов.

I8. Проверяется наличие хотя бы одной элементарной содержательной модели в очереди 2. Если такой модели нет, то переход к этапу 26. В противном случае - к этапу I9.

I9. Из очереди 2 берется модель, которая стоит первой.

20. Здесь определяются характеристики ММ подсистемы.

Для определения характеристик ММ необходимо осуществлять анализ параметров подсистемы, определение структуры связей параметров, анализ характеристик связей параметров.

Наиболее полная совокупность характеристик, структуризованная по группам, предложена в работе [I0] .

Анализ параметров включает:

I. Выделение управляемых параметров.

2. Выделение контролируемых параметров.

3. Определение типа параметров (дискретные, непрерывные).

4. Определение вида наблюдаемости параметров (полная, неполная наблюдаемость).

Рассмотрим определение структуры связей между параметрами подсистемы.

В качестве модели структуры связей, например, может использоваться граф непосредственных причинно-следственных связей.Множество вершин графа соответствует множеству параметров подсистемы (конечных продуктов, предметов деятельности, структурных элементов), а множество дуг соответствует множеству отношений между ними [II] . Такой граф можно записать в виде матрицы смежности $S = \| S_{ij} \|$ размерности $n \times n$, где:

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j \text{ - й параметр является непосредственной} \\ & \text{причиной изменения } i \text{ -го параметра;} \\ 0, & \text{во всех остальных случаях;} \end{cases}$$

n – общее число параметров подсистемы.

Заметим, что помимо самих параметров существенное влияние могут оказывать и различные их комбинации . В этом

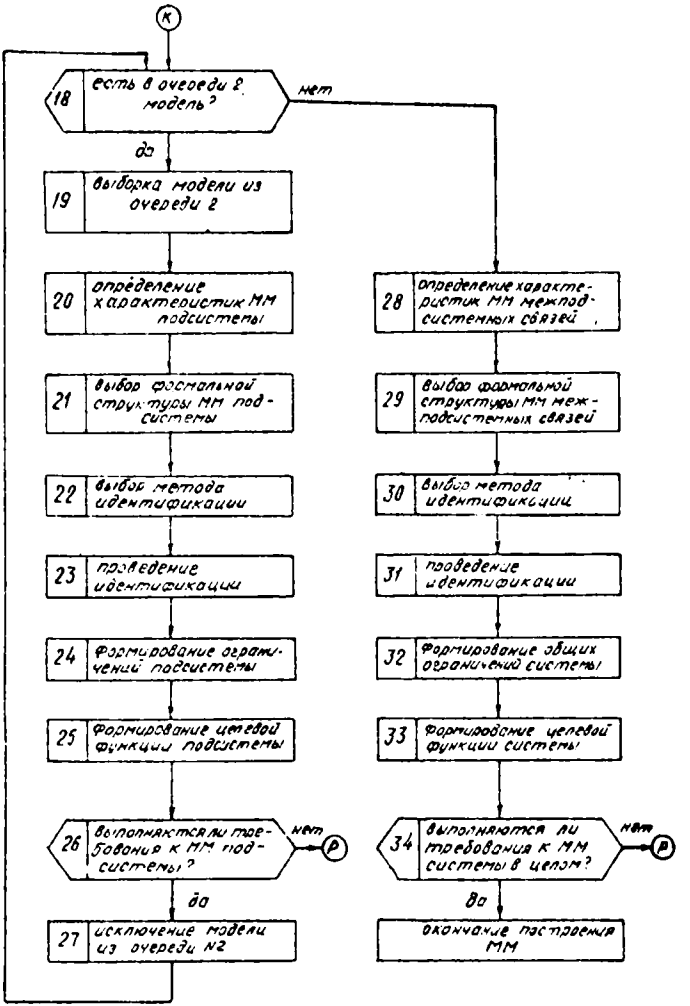


Рис 3.2.1 Алгоритм построения математической модели

случае в матрицу смежности должны быть введены соответствующие комбинации этих параметров. На этапе анализа характеристик связей параметров необходимо определить:

1) вид связей параметров (линейный или линеаризованный, нелинейный);

2) степень статичности связей (статические, динамические);

3) степень сосредоточенности связей (сосредоточенные модели без запаздываний, распределенные модели, сосредоточенные модели с запаздыванием);

4) тип связей (интегральные модели и их разностные аналоги, дифференциальные, алгебраические и т.д.);

5) степень стационарности связей (стационарные, нестационарные);

6) степень стохастичности модели (детерминированные, стохастические);

7) степень учета помех измерительного устройства (учитывается, не учитывается).

21. На данном этапе выбирается формальная структура модели подсистемы. Комбинация характеристик модели (отдельных подсистем и их взаимосвязей) позволяет образовать различные классы моделей.

Каждому классу соответствует одна формальная структура модели, которая инвариантна конкретным значениям коэффициентов модели.

На основе характеристик, выделенных на предыдущем этапе, можно образовать 960 основных классов (формальных структур) моделей. Поэтому на этапе 21 на основе характеристик формируется гипотеза о формальной структуре модели ℓ - й подсистемы, то есть о виде функционалов $\varphi_j^{\ell}(x^{\ell}(t))$. Проверка гипотезы осуществляется на этапе 26.

22. Здесь определяется применимость определенного метода идентификации из известной совокупности методов. Выбор метода осуществляется путем проверки выполнимости условий применения различных методов идентификации. Для проверки этих условий используются как экспериментальный, так и теоретический анализы взаимосвязей параметров ℓ - й подсистемы $\varphi_j^{\ell}(x^{\ell}(t))$, $j = \overline{1, N_{\ell}}$.

Экспериментальный анализ основан на использовании статистических данных. Статистические данные можно получить в результате пассивного или активного экспериментов. Наряду со статистическими данными могут использоваться также экспертные данные. В работе [10] приведены методы идентификации, которые могут быть использованы на данном этапе.

23. Проведение идентификации. Заключается в применении выбранных методов идентификации для определения неизвестных коэффициентов функционалов q - й подсистемы $\varphi_j^q(x^q(t))$, $j = \overline{1, N_q}$. Для проведения идентификации подсистемы используются статистические данные, представляющие собой временные и пространственные выборки наблюдений по параметрам.

24. Формирование ограничений подсистемы. На этом этапе формируются ограничения на функционалы q - й подсистемы $\varphi_j^q(x^q(t))$, $j = \overline{K_q+1, N_q}$, например, в виде (3.2.8).

25. Формирование целевой функции подсистемы. Как указывалось выше, целевая функция q - й подсистемы F_q в общем случае является векторной и имеет вид (3.2.1). На этапе 25 также формируется принцип векторной оптимизации q - й подсистемы.

26. Проверка выполнимости требований к ММ подсистемы. На данном уровне проверяется выполнимость основных требований, предъявляемых к ММ. Требования изложены в разделе 2.1. В случае невыполнения требований, предъявляемых к ММ подсистемы, осуществляется переход к этапу I для уточнения содержательной модели подсистемы и ее формализации. Если требования выполняются, то осуществляется переход к этапу 27.

27. Исключение содержательной модели, подвергшейся формализации из очереди 2. Переход к этапу 18.

28. Определяются характеристики ММ межподсистемных связей. На этом этапе используется методология, изложенная на этапе 20.

Заметим, что межподсистемные связи прежде всего определяют соотношение между одноименными продуктами подсистем и распределение ресурсов между подсистемами. Структура межподсистемных связей, по существу, определяет структуру уравнений, связывающих параметры различных подсистем.

29. Здесь выбирается формальная структура ММ межподсистемных связей. Выбор на данном этапе осуществляется аналогично выбору на этапе 21.

На этапе 29 на основе характеристик межподсистемных связей формируется гипотеза о виде функционалов

$$\Phi_\ell\,(x^1(t),\ldots,x^n(t)),\ \ell=\overline{1,N}.$$

Этапы 30 и 31 осуществляются аналогично этапам 22 и 23.

32. Формирование общих ограничений системы. Здесь формируются ограничения на функционалы $\Phi_\ell\,(x^1(t),\ldots,x^n(t)),\ \ell=\overline{\kappa+1,N}$, например, в виде (3.2.9).

33. Формирование целевой функции системы. Целевая функция системы формируется в виде (3.2.7). На этапе 33 также формируется принцип векторной оптимизации всей системы.

34. Проверка выполнимости требований к ММ системы. На данном этапе, так же, как и на этапе 26, проверяется выполнимость основных требований, предъявляемым к ММ. Требования изложены в разделе 2.I. В случае их невыполнения осуществляется переход к этапу I для уточнения содержательной модели системы и ее формализации. Если требования выполняются, то процесс построения ММ системы в виде (3.2.7) - (3.2.9) заканчивается. Построенные адекватные модели могут использоваться для поиска оптимальных решений с помощью различных методов оптимизации.

ГЛАВА IУ. ПРИМЕРЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Приведенные в этой главе примеры иллюстрируют процесс построения содержательных моделей сложных систем различной природы. Модели этих систем имеют модульную структуру и формируются путем последовательной декомпозиции системы на основе совокупности стандартных моделей, приведенных в разделе 2.4. Из-за громоздкости многоуровневых описаний систем примеры приведены фрагментарно, они предназначены прежде всего для демонстрации возможности алгоритмического подхода к построению модели.

4.I. МАКРОМОДЕЛЬ ХОЗЯЙСТВА ОБЛАСТИ

Будем рассматривать в качестве объекта моделирования хозяйство области.

Область взаимодействует с народным хозяйством страны, которое выступает в качестве окружающей среды [I2]. Связь с зарубежными государствами осуществляется "через страну". Административная область при этом рассматривается как сложная социально-экономическая и экологическая система.

На рис. 4.I.I представлен первый уровень описания места хозяйства области в народном хозяйстве страны. Охарактеризуем связи на рис. 4.I.I, которые рассматриваются как информационные, энергетические и вещественные потоки от источников к потребителям:

$x_{1,2}$ – вывозимые продукты области в интересах страны, в том числе и продукты на экспорт (здесь и далее первая группа цифр до запятой указывает номер подсистемы источника потока, вторая группа цифр – номер подсистемы потребителя потока);

$x_{2,1}$ – ввозимые ресурсы;

$x_{1,1}$ – продукты области для внутреннего потребления.

В самом общем виде в этой модели необходимо предусмотреть связь $x_{2,2}$, которая характеризует продукты воспроизводства страны. Однако с точки зрения управления областью эта связь, на наш

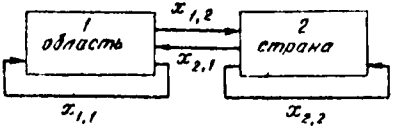


Рис. 4.1.1. Агрегированная модель связей области и страны

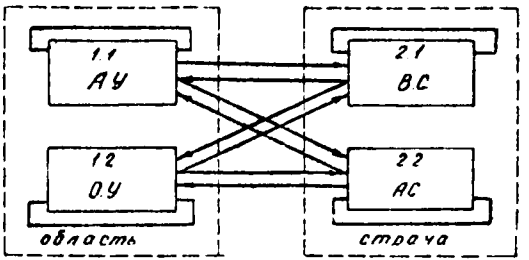


Рис 4.1.2 Модель связей АУ, ОУ области и ВС, АС страны

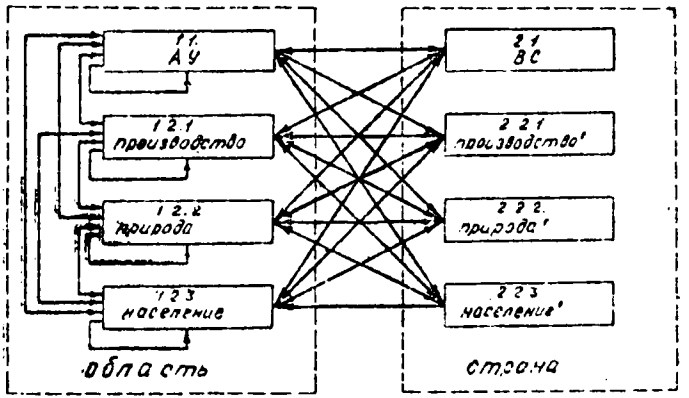


Рис 4.1.3. Модель связей подсистем социальной деятельности области и страны

взгляд, является несущественной. Следующий уровень описания (рис. 4.I.2) образован путем декомпозиции области на аппарат управления (АУ) и объект управления (ОУ) и декомпозиции среды на вышестоящую систему (ВС) по отношению к АУ и актуальную среду (АС), которая выступает либо в качестве поставщика ресурсов для области, либо в качестве потребителя ее конечных продуктов. Общее число связей равно I6.

Далее ОУ и АС последовательно представляются как совокупности основных подсистем социальной деятельности: производство, население, природа. Такое представление объекта моделирования среды в виде совокупности подсистем социальной деятельности справедливо для широкого класса организационных систем. Общее число связей для данного уровня модели равно 64. Внутренние связи страны (I6 связей) не рассматриваются, так как связь $x_{6,1}$ рис. 4.I.I признана несущественной с точки зрения моделирования управления областью. Модель, соответствующая данному уровню описания, приведена на рис. 4.I.3. Подсистемы производства (2.2.I), природа (2.2.2), население (2.2.3) помечены штрихом для отличия от блоков I.2.I, I.2.2, I.2.3.

Внешнюю деятельность области будем рассматривать как процесс ее регулярного взаимодействия с основными подсистемами страны: производством (народным хозяйством), населением, природой (природной средой) и управлением.

Внешняя деятельность характеризуется выходными и входными связями области. Анализ входных связей области рассматривается на этапе анализа входных для области ресурсов.

Рассматривая выходные взаимодействия подсистем области и подсистем страны, нам важно прежде всего определить состав внешних агрегированных конечных продуктов, поставляемых областью для производства, населения, природы и управления. В табл. 4.I.I, 4.I.2 представлен полный перечень возможных конечных продуктов области (на уровне подсистем социальной деятельности). Приведенные агрегированные КП могут быть детализированы путем использования соответствующих классификаторов отраслей в рамках подсистем социальной деятельности, предприятий, входящих в отрасли, а

Таблица 4.I.I

	Внешние конечные продукты области		
Производство области	Производству страны	X I.2.I,2.2.I	Народохозяйственная продукция
	Населению страны	X I.2.I,2.2.3	Блага и услуги
	Природе страны	X I.2.I,2.2.2	Рациональное природопользование в целях охраны внешней природной среды
	Управлению страны	X I.2.I,I.2.I	Информация о состоянии, потребностях и возможностях производства области
Население области	Производству страны	X I.2.3,2.2.I	Трудовые ресурсы, мигрирующие из области
	Населению страны	X I.2.3,2.2.3	Образ жизни
	Природе страны	X I.2.3,2.2.2	Рациональное природопользование за пределами области
	Производству страны	X I.2.2,2.2.I	Природные ресурсы и условия
Природа области	Населению страны	X I.2.2, 2.2.3	Жизненная природная среда
	Природе страны	X I.2.2,2.2.2	Условия воспроизводства и воздействие
	Управлению страны	X I.2.2, 2.I	
	Производству страны	X I.I, 2.2.I	Информация о состоянии, потребностях и возможностях области
Управление области	Населению страны	X I.I, 2.2.3	Информация о состоянии, потребностях и возможностях области
	Природе страны	X I.I, 2.2.2	
	Управлению страны	X I.I, 2.I	Информация о состоянии, потребностях и возможностях области
	Производству страны	X I.I, 2.2.I	Информация о состоянии, потребностях и возможностях области

Таблица 4.1.2

	Внутренние конечные продукты области		
Производство	Производству	X I.2.I,I.2.I	Средства воспроизводства
	Населению	X I.2.I,I.2.3	Блага и услуги
	Природе	X I.2.1,I.2.2	Рациональное природопользование
	Управлению	X I.2.1, I.I	Информация о состоянии, возможностях и потребностях
Население	Производству	X I.2.3,I.2.I	Трудовые ресурсы
	Населению	X I.2.3,I.2.3	Воспроизводство населения и его образ жизни
	Природе	X I.2.3,I.2.2	Рациональное природопользование
	Управлению	X I.2.3, I.I	Информация о состоянии, потребностях и возможностях
Природа	Производству	X I.2.2 I.2.I	Природные ресурсы и условия
	Населению	X I.2.2,I.2.3	Жизненная природная среда
	Природе	X I.2.2,I.2.2	Воспроизводство
	Управлению	X I.2.2. I.I	
Управление	Производству	X I.I, I.2.I	Управленческая информация
	Населению	X I.I, I.2.3	Управленческая информация
	Природе	X I.I, I.2.2	
	Управлению	X I.I, I.I	Воспроизводство

также классификаторов КП, выпускаемых предприятиями. Основными параметрами, характеризующими КП, являются объем и качество. Целеполагающие системы (I.I, I.2.I - I.2.3, 2.I, 2.2.I - 2.2.3) предъявляют различные требования (порой противоречивые) к одним и тем же параметрам КП. Эти требования должны быть зафиксированы в количественной или(и) качественной форме и могут носить вид ограничений.

При необходимости требования к конечным продуктам могут быть конкретизированы путем использования классификатора целеполагающих систем. На следующих этапах декомпозиции последовательно определяются функции технологии (этапы) производства отдельных конечных продуктов и предметы деятельности. Предметы деятельности характеризуются такими параметрами, как объем, качество, стоимость и др., которые определяются в результате декомпозиции по составу параметров. Предметы деятельности могут поступать как от других этапов (подсистем) производства, так и от подсистем страны. Определение источников предметов деятельности осуществляется путем декомпозиции области и страны по составу ресурсообеспечивающих систем. На следующем этапе определяются элементы этапов производства, осуществляющие преобразование предметов деятельности: кадры и средства деятельности(элементы структур). Элементы структур характеризуются различными параметрами, например, [illegible]ование, используемое для реализации какой-либо функции по производству некоторых изделий электротехнической промышленности, может характеризоваться производительностью, уровнем автоматизации и механизации, габаритами, надежностью и так далее. К указанным параметрам целеполагающие системы могут предъявлять различные требования. Так, например, директивные органы управления областью в условиях дефицита трудовых ресурсов могут требовать использования оборудования с числовым программным управлением, что ведет к повышению уровня автоматизации и механизации выполняемых работ. В то же время целеполагающие системы актуальной среды могут быть заинтересованы в том, чтобы область использовала оборудование, которое выпускается серийно в больших масш-

тных. Поэтому формировать элементы структур необходимо на основе рационального компромисса между требованиями целеполагающих систем. Очевидно, что для функционирования и развития производства, необходимо осуществлять поставки новых элементов структур. Поставки могут осуществляться подсистемами как области, так и страны, которые выступают в качестве источников ресурсов. Для определения источников этих ресурсов необходимо осуществить де - композицию области и страны по составу ресурсообеспечивающих систем. К ресурсообеспечивающим системам относятся предприятия и отрасли в области и стране, производящие те или иные ресурсы (предметы деятельности, элементы структур), и межотраслевые и отрас - левые организации, занимающиеся распределением фондов и сбытом готовой продукции.

Остановимся на рассмотрении особенностей декомпозиции блока "Управление". КП блока "Управление" являются решения по управлению. К параметрам управленческой информации относятся объем (страниц, байт, символов), форма (устная, письменная) и другие.

Под технологией производства решения понимается прежде всего технологическая схема выработки решений, включающая этапы целе - выявления, подготовки и принятия решения, организации и контро - ля исполнения. Предметом деятельности является управленческая информация. Элементами структуры блока "Управление" являются:
а) субъект деятельности - управленческие кадры;
б) средства деятельности - оргтехника, ЭВМ, методы управления.
Под ресурсами (предметами деятельности, элементами структуры) понимаются вновь поступающие в аппарат управления кадры, оборудо - вание, инструктивные материалы, информация и т.д.

Построенная содержательная модель использована для синтеза генеральной схемы управления хозяйством области, описанной в разделе 5.5.

4.2. МОДЕЛЬ УГЛОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РАДИОНАВИГАЦИИ

В качестве примера моделирования сложных технических систем рассмотрим процесс построения модели угломерной системы экстре -

мальной радионавигации (УСЭРН). Будем предполагать, что радионавигационные поля имеются, и речь идет о построении модели УСЭРН, установленной на борту движущегося объекта.

Примем в качестве объекта моделирования (ОМ) УСЭРН. Окружающая среда выступает либо в качестве источника сигналов, содержащих информацию о радионавигационных параметрах (РНП), либо в качестве потребителя результатов навигации, характеризующих положение объекта навигации во времени и в пространстве. Тогда первый уровень описания исследуемой системы, включающей комбинацию ОМ и среды и их существенные связи, соответствует рис. 4.2.1. Ввиду большой агрегированности сигналов (связей), являющихся конечными продуктами подсистем на первом уровне описания ИС, содержательное описание связей не представляет особого интереса.

Далее представим ОМ (УСЭРН) в виде комбинации системы управления (СУ) УСЭРН и управляемой части (УЧ) УСЭРН. Окружающую среду представим в виде совокупности источника информации о РНП и объекта управления (ОУ), использующего результаты радионавигации. Граф исследуемой системы, включающей перечисленные элементы (подсистемы, блоки) и их существенные связи, представлен на рис. 4.2.2.

Рассмотрим содержательный смысл сигналов (связей) рис. 4.2.2:

$x_{1.2\,,\,2.8}$ – сигналы, характеризующие положение объекта навигации во времени и пространстве;

$x_{1.4\,,\,11}$ – сигналы о состоянии УЧ;

$x_{2.1,\,1.3}$ – радионавигационные сигналы, несущие информацию о РНП;

$x_{2.2,\,1.3}$ – сигналы от ОУ;

$x_{11,\,1.4}$ – управляющие сигналы СУ, определяющие процессы получения, обработки и выдачи информации.

Перейдем к декомпозиции системы по составу выходных сигналов (конечных продуктов) подсистем. Так, при декомпозиции обобщенного сигнала $x_{1.2,\,2.4}$ получим:

$x^{1}_{12,\,2.2}$ – сигнал о смещении движущегося объекта;

$x^{2}_{12,\,2.4}$ – сигнал о повороте движущегося объекта.

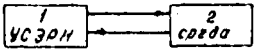


Рис 4.2.1. Агрегированная модель связей УСЭРН и среды

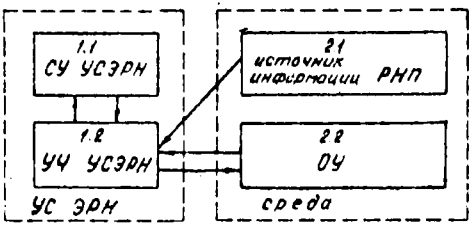


Рис 4.2.2 Модель связей подсистем УСЭРН и среды

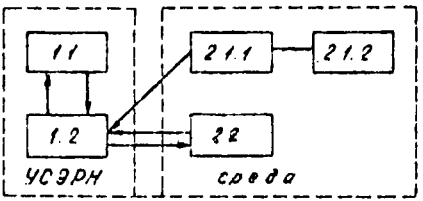


Рис 4.2.3 Модель, полученная после декомпозиции блока 2.1

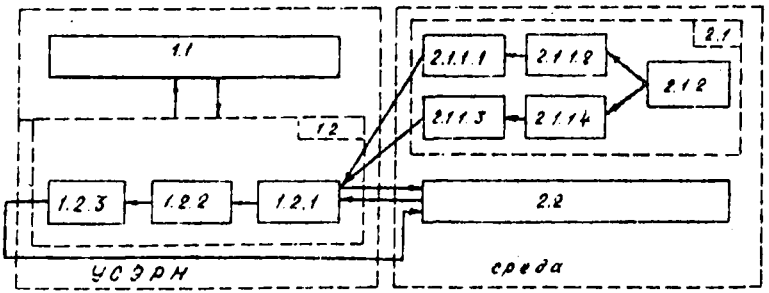


Рис 4.2.4. Модель, полученная после декомпозиции блоков 2.1.1 и 1.2

При декомпозиции $x_{2.1,1.2}$ получим:

$x^1_{2.1,1.2}$ – радиосигнал от первой передающей станции;

$x^2_{2.1,1.2}$ – радиосигнал от второй передающей станции и т.д.

Декомпозиция $x_{2.2,1.2}$ позволяет получить:

$x^1_{2.2,1.2}$ – сигнал грубой навигации системы, находящейся на борту объекта навигации, например, приближенное значение угла курса;

$x^2_{2.2,1.2}$ – сигнал об исполнении команды смещения объекта;

$x^3_{2.2,1.2}$ – сигнал об исполнении команды поворота объекта.

Каждый сигнал характеризуется набором параметров, таких, как значение амплитуды, частоты, фазы, которые могут изменяться во времени.

На следующем этапе используем основания декомпозиции, позволяющие выделить последовательные и параллельные во времени этапы (подсистемы) "производства" описанных выше сигналов. Эти этапы характеризуют как бы "технологию производства" сигналов. Рассмотрим применение этих оснований для декомпозиции подсистем I.2 и 2.I.

Известно, что радионавигационный сигнал становится процессом, несущим полезную информацию только тогда, когда пройдет по трассе излучатель – приемник. Поэтому выделим функционирующие во времени подсистемы: радиотрасса (2.I.I) и излучатели (2.I.2) (рис. 4.2.3).

Здесь $x_{2.1.2,\ 2.1.1}$ – радиосигналы излучателей;

$x_{2.1.1,\ 1.2}$ – радионавигационные сигналы, несущие информацию о РНП.

Указанные основания декомпозиции можно также использовать для получения набора существенных параметров трассы. Понятно, что из-за взаимного перемещения приемника и излучателя расстояние между ними со временем меняется, и радиотрасса, которая проходила до этого только по суше, может выйти, например, на водную поверхность, где условия распространения существенно отличаются. Выделить подобные участки трассы можно путем декомпозиции 2.I.I на последовательные во времени блоки (участки). Сигнал по-

следовательно проходит по выделенным участкам.

Известно, что радиотрасса может проходить как по поверхности Земли (поверхностный луч), так и частично вне ее (пространственный), где условия распространения являются существенно другими. Выделить подобные трассы и соответствующие им поверхностный и пространственный лучи, можно путем декомпозиции 2.I.I на параллельные во времени участки трассы.

На рис. 4.2.4 блоки 2.I.I.I - 2.I.I.4 отражают результаты декомпозиции по рассмотренным основаниям.

Далее осуществим декомпозицию блока I.2 на последовательные во времени подсистемы: приемоиндикаторный блок (I.2.I), блок обработки сигналов (I.2.2), блок выдачи (I.2.3). Результаты использования рассмотренных оснований декомпозиции отражены на рис. 4.2.4.

В соответствии с графом на рис. 4.2.4 необходимо дополнить описание существенных сигналов подсистем. Так, например,

$x_{1.1.1}, x_{1.2.2}$ - пеленги, выделенные в приемоиндикаторе;

$x_{1.2.3}, x_{1.3.3}$ - результаты определения навигационных параметров.

В свою очередь блок обработки (I.2.2) может быть также декомпозирован. Один из возможных вариантов декомпозиции отражен на рис. 4.2.5, где

I.2.2.I - формирователь ТИ (текущего изображения);

I.2.2.4 - блок хранения ЭИ (эталонного изображения);

I.2.2.2 - блок сравнения ЭИ и ТИ;

I.2.2.3 - оптимизатор.

Состав блоков на рис. 4.2.5 получен путем использования оснований декомпозиции, разбивающих процесс обработки информации на последовательные и параллельные этапы во времени. Очевидно, что вариант набора блоков, представленный на рис. 4.2.5, не единственный. На рис. 4.2.6 представлен другой вариант декомпозиции блока обработки. Здесь обработка осуществляется в плоскости радионавигационных параметров.

В работе [13] описаны условия, в которых система обработки на рис. 4.2.5 имеет преимущества перед системой на рис. 4.2.6. С учетом изложенного общая функциональная схема может быть представ -

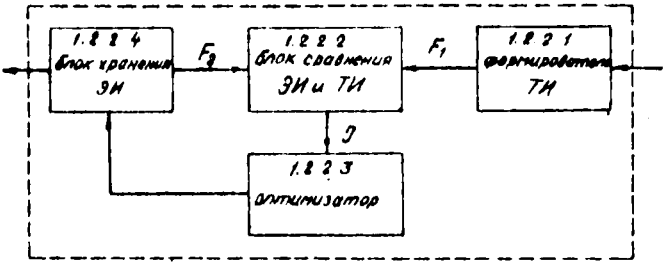


Рис 4.2.5 Первый вариант декомпозиции блока обработки

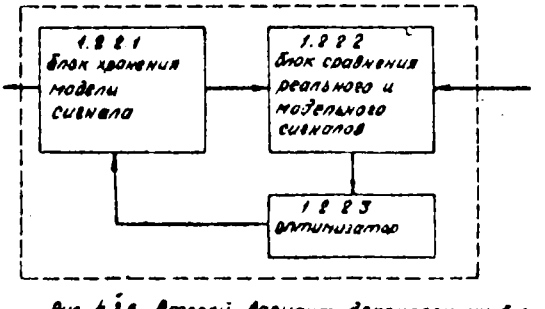


Рис 4.2.6 Второй вариант декомпозиции блока обработки

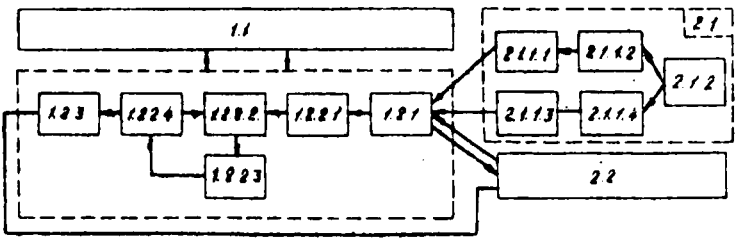


Рис 4.2.7 Общая функциональная схема системы

лена так, как она изображена на рис. 4.2.7.

Приведенный уровень детализации блоков общей функциональной схемы достаточен для выбора математической модели в виде взаимосвязанной совокупности подмоделей, соответствующих отдельным блокам системы.

Формирователь ТИ (I.2.2.I) преобразует РИ в текущее изображение. Эталонное изображение известно заранее и хранится на борту объекта.

Введем ряд обозначений:

$x_{1.2.2.1}, x_{1.2.2.2} = F_1$ – текущее изображение;

$x_{1.2.2.4}, x_{1.2.2.5} = F_2$ – эталонное изображение;

$x_{1.2.2.2}, x_{1.2.2.3}$ – вычисленное значение функционала близости $(\mathcal{J})$ F_1 и F_2 ;

$x_{1.2.2.3}, x_{1.2.2.4}$ – вычисленное оптимальное значение функционала $\mathcal{J}$;

$x_{1.2.2.4}, x_{1.2.3}$ – координаты объекта (в масштабе вычислений);

$x_{1.2.3}, x_{2.2}$ – пересчитанные координаты.

Эталонное изображение – совокупность точек $U_i \ (i = \overline{1,n})$, координаты которых соответствуют положению n радиостанций в неподвижной прямоугольной системе координат.

Текущее изображение – совокупность точек $V_i \ (i = \overline{1,n})$, координаты которых соответствуют положению радиостанций в подвижной прямоугольной системе координат.

Координаты точек, соответствующих ТИ (V_i), можно вычислить через Ψ , α_i , $U_i \ (i = \overline{1,n})$, где

Ψ – угол курса;

α_i – пеленги, измеренные на борту объекта.

В работе [13] рассмотрено четыре способа вычислений координат $V_i \ (i = \overline{1,n})$. Блок сравнения ЭИ и ТИ определяет степень рассогласования сигналов F_1 и F_2 , например, путем формирования величины

$$\mathcal{J} = \overline{(F_1 - F_2)^2},$$

где черта сверху является символом операции усреднения по числу измерений. Подробное описание аналитических и имитационных моде –

лей отдельных блоков и всей модели в целом приведено в [13]. Там же описана структурная схема программы, моделирующей работу УСЭРН (рис. 4.2.7), приведены результаты экспериментов на ЦВМ.

4.3. АКУСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОКЕАНА

Пусть объектом моделирования является океан. Будем предполагать, что нашей целью является построение его акустической модели. Общее определение акустической модели океана дано в [14].

Наиболее общее описание исследуемой системы (ОМ и окружающей среды (ОС)) приведено на рис. 4.3.1. На следующем уровне описания представим ОМ в виде источника акустических сигналов (блок I.I), среды распространения сигналов (блок I.2) и приемника сигналов (блок I.3), а в ОС выделим воздушный бассейн (блок 2.I) и дно океана (блок 2.2).

Известно, что акустический сигнал становится процессом, несущим полезную информацию только тогда, когда пройдет по трассе излучатель-приемник. Очевидно, что на различных участках трассы условия распространения сигналов существенно отличаются. Для выделения относительно однородных (в смысле условий распространения) участков трасс необходимо осуществить декомпозицию среды распространения по пространству (по вертикальным и горизонтальным сечениям). В свою очередь блок I.2 (среда распространения) представим в виде совокупности трех подсистем: водная поверхность (I.2.I), взаимодействующая с атмосферой, приповерхностный слой, содержащий воздушные пузырьки (I.2.2), объемный слой (I.2.3). Источник акустических сигналов (I.I) разделим на источник искусственных акустических сигналов (I.I.I) и естественных подводных шумов (I.I.2).

Модель состава подсистем исследуемой системы и их существенных взаимосвязей представлена на рис. 4.3.2.

Далее будем предполагать, что источники акустических сигналов (I.I.I, I.I.2) и приемник сигналов (I.3) находятся в объемном

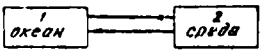


Рис 4.3.1

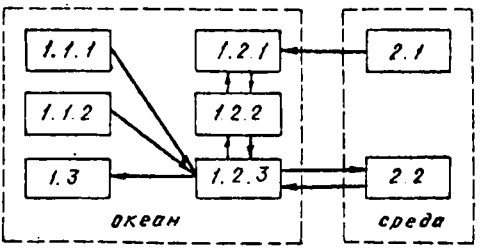


Рис 4.3.2

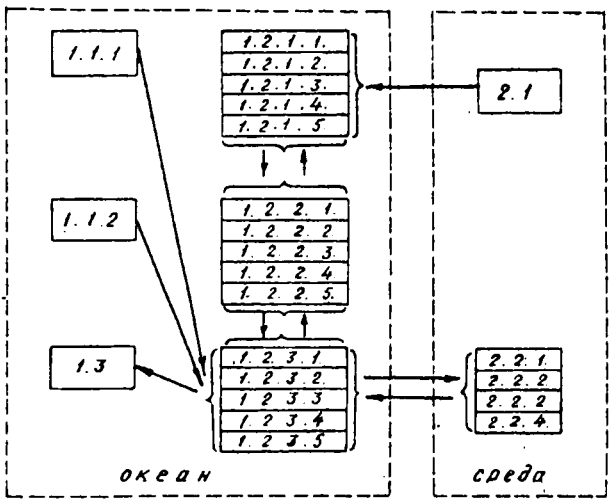


Рис 4.3.3 Модель связей подсистем океана и среды

слое. Проходя объемный слой, акустические сигналы достигают под - систем I.2.I, I.2.2, 2.2. При этом наблюдаются следующие акусти - ческие явления: поглощение, отражение, рассеивание, рефракция, допплеровские эффекты.

Известно, что океан расслоен и статически устойчив по глуби - не. Поэтому объемный слой может быть декомпозирован на слои. Например, можно выделить климатически устойчивые вертикальные структуры (циклонические и антициклонические круговороты в океане), звукорассеивающие слои (рыба, планктон) и т.д. Океаническое дно может быть декомпозировано по типу грунта и т.д. Одним из важнейших вопросов методологии построения акустической модели океана является разработка иерархической совокупности таких подсистем.

Охарактеризуем существенные связи подсистем модели на рис. 4.3.2:

$x_{I.I.I,\ I.2.3}$ - акустический сигнал от излучающей антены;

$x_{I.I.2,\ I.2.3}$ - подводные шумы;

$x_{I.2.3,\ I.3}$ - принятые приемной антенной акустические си - гналы;

$x_{I.2.3,\ 2.2}$ - сигнал, идущий до дна;

$x_{2.2,\ I.2.3}$ - отраженный сигнал;

$x_{I.2.3,\ I.2.2}$ - прямой сигнал, достигший приповерхностного слоя;

$x_{I.2.2,\ I.2.I}$ - сигнал, достигший поверхности;

$x_{I.2.I,\ I.2.2}$ - сигнал, идущий от поверхности к приповерхностному слою;

$x_{I.2.2.,\ I.2.3}$ - сигнал, идущий от приповерхностного слоя к объемному слою;

$x_{2.I,\ I.2.I}$ - воздействие воздушного бассейна и космоса (через воздушный бассейн);

$x_{I.2.I,\ 2.I}$ - воздействие океана на воздушный бассейн.

Рассмотрим пример декомпозиции по составу выходных сигналов (конечных продуктов) подсистем. При декомпозиции обобщенного сигнала x 2.I, I.2.I получим:

x^1 2.I, I.2.I - тепловая энергия (от солнца и нагретого воздуха);

x^2 2.I, I.2.I - механическая энергия (от ветра).

При декомпозиции x 2.2., I.2.3 получим совокупность отраженных сигналов, которые пришли ко дну по различным траекториям, рассеянные сигналы и т.д.

Каждый сигнал характеризуется набором параметров, таких, как значение амплитуды, частоты, фазы, запаздывания, которые могут изменяться во времени. Выделение параметров осуществляется путем декомпозиции сигналов по составу параметров. Каждая из подсистем рис. 4.3.2 реализует определенное преобразование (функцию) акустических сигналов. Осуществим декомпозицию подсистем по составу преобразований (функций). Известно, что к числу основных преобразований (функций) акустических сигналов относятся [I5] : поглощение, отражение, рассеивание, рефракция, доплеровские эффекты. Очевидно, что для каждой из подсистем (I.2.I, I.2.2, I.2.3, 2.2) значимость (весомость) каждой из функций будет различной. В работе [I5] приведены оценки значимости функций для различных сред распространения (I.2.I, I.2.2, I.2.3, 2.2). Указанные функции (преобразования) осуществляются параллельно во времени, тогда модель исследуемой системы примет вид, представленный на рис. 4.3.3.

Будем фигурными скобками обозначать, что выходы подсистем поступают на все входы подсистем, соответствующих отдельным функциям (преобразованиям). На данном уровне описания (рис. 4.3.3) возможно I60 связей между подсистемами (в том числе и подсистемами, соответствующими отдельным функциям).

Будем предполагать, что полученные преобразования элементарны и перейдем к декомпозиции подсистем, соответствующих отдельным преобразованиям (функциям) акустических сигналов по составу параметров. К параметрам подсистем водной поверхности (I.2.I.I - I.2.I.5) относятся: бальность, тип волнения, смещение водной поверхности и т.д. Параметрами поповерхностного слоя (I.2.2.I -

I.2.2.5) являются размеры пузырьков, расстояние между ними и т.д. Объемный слой (I.2.3.I - I.2.3.5) можно охарактеризовать такими параметрами, как температура, соленность, размеры биологических объектов и их плотность, бальность внутренних волн и т.д. Океаническое дно (2.2.I - 2.2.4) характеризуется, например, химическим составом , физическими характеристиками грунта и т.д.

Параметры входных сигналов и параметры подсистем образуют множество входов подсистем, а параметры выходных сигналов образуют множество выходов подсистем. Знание полного набора существенных параметров ОМ и среды позволяет перейти к построению математических моделей отдельных подсистем и модели в целом, где должны быть учтены связи подсистем.

4.4. МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВА БЕНЗИНА

Рассмотрим процесс построения модели производства бензина на основе описания, приведенного в работе [7] . Пусть объектом моделирования является технологический процесс (ТП) производства бензина на газоперерабатывающем заводе. Окружающая среда выступает в качестве источника сырья и потребителя конечных продуктов ТП (рис. 4.4.I). Представим сразу (блок 2) в виде потребителя конечных продуктов (КП) ТП (блок 2.2) и источника сырья (блок 2.I) для ТП (рис. 4.4.2). На следующем этапе используем декомпозицию ции, которая позволит выделить последовательные и парал - лельные во времени этапы (участки) производства. Декомпозиция ТП на два последовательных во времени подпроцесса представлена на рис. 4.4.3, где

блок I.I - процесс производства нестабильного бензина;

блок I.2 - процесс производства стабильного бензина.

Далее разобьем блок I.I на три части: двух параллельно соединенных маслоабсорбционных установок (МАУ1 - блок I.I.I и МАУ2 - блок I.I.2) и блока объединения выходов нестабильного бензина МАУ1 и МАУ2 (блок I.I.3). Блок I.2. разобьем на две параллельно соединенные газофракционные установки (ГФУ1 - блок I.2.I и ГФУ2 - блок I.2.2). Модель состава подсистем и их связей приведена на рис. 4.4.4.

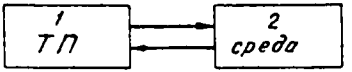


Рис 4.4.1

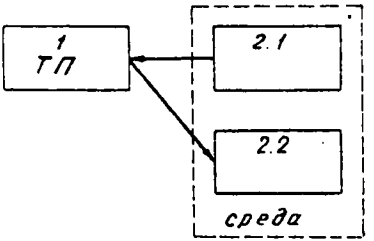


Рис. 4.4.2 Модель связей ТП, источника сырья и потребителя КП ТП

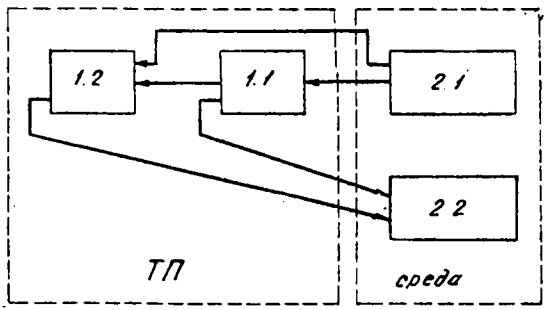


Рис. 4.4.3

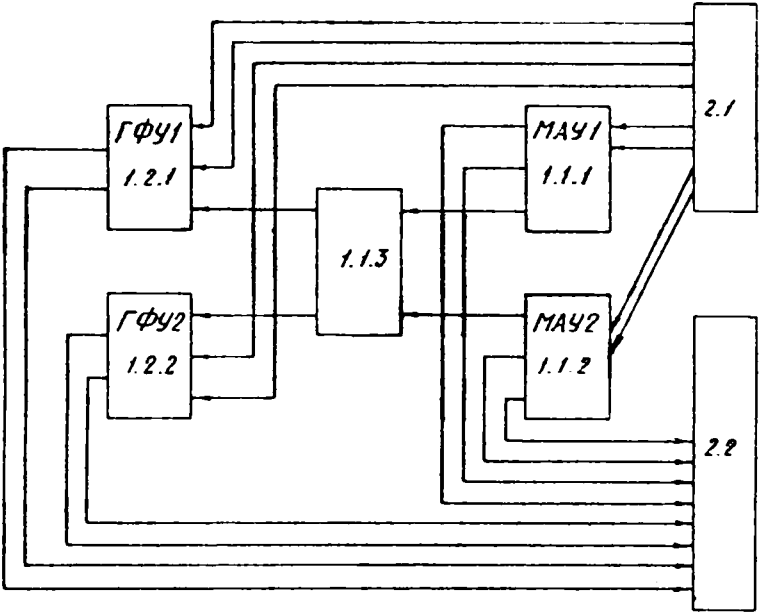


Рис 4 4 4 Модель состава подсистем ТП, среды и их связей

Для пояснения существенных конечных продуктов подсистем и их количественных и качественных параметров, а также параметров, характеризующих средства преобразования входов подсистем в их выходы, кратко охарактеризуем технологию работы МАУ и ГФУ.

Каждая из маслоабсорбционных установок (рис. 4.4.5) включает три последовательно соединенные колонны К1-К3. Процесс отбензинивания осуществляется в абсорбере К1, где происходит контактирование абсорбента и перерабатываемого газа. Основная часть низкокипящих углеводородов C_1 и C_2 (метан и этан), образующих так называемый "сухой газ", удаляется из верхней части колонны и далее транспортируется потребителям по магистральным газопроводам. Остальные тяжелые углеводороды (от C_3 до C_5 и выше) растворяются в абсорбенте и вместе с ним поступают в К2, где из абсорбента удаляются остатки низкокипящих углеводородов (хвостовой газ), присутствие которых ухудшает условия конденсации нормального бензина. В следующей колонне К3 происходит разделение бензина и абсорбента. Бензина, получаемого из МАУ1, МАУ2, не хватает для полной загрузки ГФУ1 и ГФУ2, поэтому берут со стороны дополнительное сырье - широкую фракцию. ГФУ предназначена для разделения бензина на индивидуальные компоненты. Каждая ГФУ (рис. 4.4.6) состоит из трех последовательно соединенных колонн К4 - К6. В этих колоннах соответственно из смеси углеводородов нестабильного бензина и широкой фракции выделяются пропан (верхний продукт) и смесь бутанов и бензина (нижний продукт). Верхний продукт колонны К5 - смесь бутанов, нижний продукт - стабильный бензин. Далее в колонне К6 смесь бутанов и бензина разделяется на два компонента: i -бутан (верхний продукт) и n -бутан (нижний продукт).

К числу существенных конечных продуктов подсистем относятся:

$x^1_{...}$, I.1, I.1.I - расход сырого газа на МАУI;

$x^2_{...}$, I.1, I.1.I - расход абсорбента на МАУI;

$x^1_{...}$, I.1, I.1.2 - расход сырого газа на МАУ2;

$x^2_{...}$, I.1, I.1.2 - расход абсорбента на МАУ2;

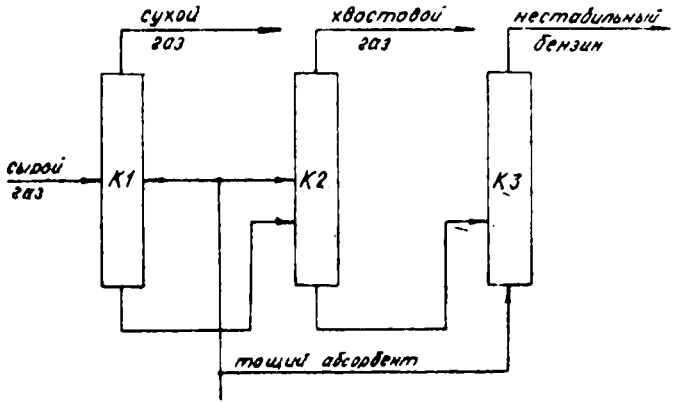


Рис 4.4.5 Схема маслоабсорбционной установки

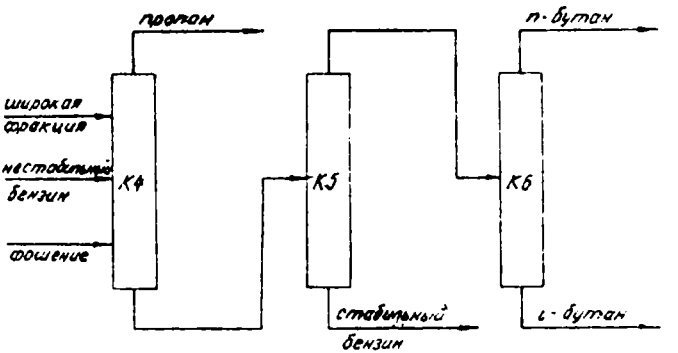


Рис 4.4.6 Схема газофракционной установки

$x_{I.I.I,\ I.I.3}$ - выход нестабильного бензина из МАУ1;

$x^{1}_{I.I.I,\ 2.2}$ - выход сухого газа из МАУ1;

$x^{2}_{I.I.I,\ 2.2}$ - выход хвостового газа из МАУ1;

$x_{I.I.2,\ I.I.3}$ - выход нестабильного бензина из МАУ2;

$x^{1}_{I.I.2,\ 2.2}$ - выход сухого газа из МАУ2;

$x^{2}_{I.I.2,\ 2.2}$ - выход хвостового газа из МАУ2;

$x_{I.I.3,\ I.2.I}$ - расход нестабильного бензина в ГФУ1;

$x^{1}_{2.I,\ I.2.I}$ - расход широкой фракции в ГФУ1;

$x^{2}_{2.I,\ I.2.I}$ - расход орошения в ГФУ 1;

$x_{I.I.3,\ I.2.2}$ - расход нестабильного бензина в ГФУ2;

$x^{1}_{2.I,\ I.2.2}$ - расход широкой фракции в ГФУ2;

$x^{2}_{2.I,\ I.2.2}$ - расход орошения в ГФУ2;

$x^{1}_{I.2.I,\ 2.2}$ - выход стабильного бензина из ГФУ1;

$x^{2}_{I.2.I,\ 2.2}$ - выход пропана из ГФУ1;

$x^{3}_{I.2.I,\ 2.2}$ - выход n-бутана из ГФУ1;

$x^{4}_{I.2.I,\ 2.2}$ - выход i -бутана из ГФУ1;

$x^{1}_{I.2.2,\ 2.2}$ - выход стабильного бензина из ГФУ2;

$x^{2}_{I.2.2,\ 2.2}$ - выход пропана из ГФУ2;

$x^{3}_{I.2.2,\ 2.2}$ - выход n -бутана из ГФУ2;

$x^{4}_{I.2.2,\ 2.2}$ - выход i -бутана из ГФУ2.

Показатели, характеризующие качество соответствующих продуктов:

C_I - концентрация абсорбена;

t_a - температура абсорбента;

$t_{н.к.}$ - температура начала кипения стабильного бензина;

$K_I^{C_3}$ – концентрация углеводородов C_3 в сухом газе;

$K_2^{C_3}$ – концентрация углеводорода C_3 в хвостовом газе;

$K_I^{C_2}$ – концентрация углеводорода C_2 в пропане;

$K_3^{C_3}$ – концентрация углеводорода C_3 в пропане.

Выделим параметры, характеризующие средства преобразования МАУ и ГФУ входных продуктов в требуемые выходные продукты. Основными параметрами являются:

P_I – давление в МАУ1;

P_2 – давление в МАУ2;

P_3 – давление в ГФУ1;

P_4 – давление в ГФУ2;

t_1 – температура в ГФУ1;

t_2 – температура в ГФУ2.

Модель системы (рис.4.4.4) будет содержать уравнения для расчета выхода продуктов всех четырех установок и качественных показателей соответствующих продуктов, ограничения по производительности всех агрегатов и уравнения материального баланса потоков, поступающих и выходящих из параллельно работающих установок [7].

ГЛАВА У. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАНДАРТНЫХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ СИСТЕМ

5.I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИНТЕЗА СТРУКТУР

Проектируемые в настоящее время структуры систем характеризуются исключительной сложностью, которая определяется большим числом элементов и свойств, высокой степенью связности, иерархичностью построения и т.д. Эти факторы весьма затрудняют научно обоснованное построение структуры системы.

Задача проектирования систем состоит в разработке допустимого множества альтернативных гипотетических систем, из которого отбирается наилучшая система в смысле заданных критериев синтеза и реализуется в виде реально существующего объекта. Под гипотетической системой понимается модель требуемой системы, которая в общем случае может быть в виде образа. Последний формируется в уме проектировщика реальной системы и имеет форму содержательной либо математической модели.

Рассмотрим причины появления многоальтернативности при синтезе. Одни и те же конечные продукты, ради которых проектируется система, могут быть получены различными способами производства, на основе различных технологий (наборов функций) и разных структурных элементов (кадров, предметов и средств деятельности) их реализующих.

Допустимые сочетания названных элементов, а также множественность способов объединения этих элементов в подсистемы соответствуют различным альтернативным гипотетическим системам. При построении модели отдельной альтернативной системы используются два основных подхода. В первом случае последовательно синтезируются подсистемы первого уровня, второго и т.д. Этот подход получил название "синтез сверху". Очевидно, в этом случае подсистемы второго уровня формируются в рамках подсистем первого уровня, подсистемы третьего уровня формируются в рамках подсистем второго уровня и т.д. Во втором подходе, получившем название "синтез снизу", формирование подсистем начинается с нижнего уровня. Подсистемы следующего уровня формируются из подсистем нижнего уров-

ня и т.д. Очевидно, что при формировании подсистем необходимо учитывать ограничения, накладываемые различными системами. Из весьма широкого круга задач построения структуры различных систем основное внимание будем уделять вопросам синтеза структуры системы управления в предположении неизменности процессов, протекающих в управляемой части системы. Основными характеристиками, типичными для структуры управления различных систем, являются: число уровней (подсистем) рассматриваемой системы, виды и величина взаимосвязей между подсистемами, степень централизации и децентрализации в управлении, основания декомпозиции системы на подсистемы, эффективность (в широком смысле) функционирования системы той или иной структуры: экономичность, надежность, живучесть, быстродействие и пропускная способность, адаптивность. Достаточно полное рассмотрение задач синтеза систем проведено в работе [16].

Остановимся на следующих моментах проектирования структур:

1. Выбор критериев синтеза.
2. Выбор стандартных моделей анализа и синтеза.
3. Алгоритм применения стандартных моделей для синтеза.

Рассмотрение этих вопросов проводится применительно к проектированию организационных систем, хотя основные положения распространяются и на другие классы систем. Практическое применение разработанных положений иллюстрируется на двух примерах синтеза, описанных в разделах 5.5 и 6.2.

5.2. КРИТЕРИИ СИНТЕЗА СТРУКТУР

Синтез структуры системы проводится последовательно. На первом этапе осуществляется синтез структуры управляемой части системы, то есть оптимальное разбиение множества управляемых объектов на отдельные подмножества, обладающие заданными характеристиками связей. На втором этапе осуществляется синтез структуры управляющей части системы. Здесь необходимо сформировать управляющие подсистемы, распределить их по уровням иерархии управления, разработать структуру связей между подсистемами одного уровня и между уровнями. Указанные задачи образуют сложный вза-

имосвязанный комплекс проблем, которые в настоящее время интенсивно разрабатываются многими исследователями.

Синтез управляемой и управляющей частей осуществляется по соответствующим критериям. Рассмотрим выбор критерия синтеза управляемой части системы. Пусть системой является некоторое промышленное предприятие, цели которого состоят, например, в увеличении количества выпускаемой продукции, увеличении прибыли, снижении себестоимости и т.д. Одним из основных критериев достижения этих целей является минимизация длительности производственного цикла [17]. Сокращение длительности можно осуществлять двумя путями:

1) повышением производительности участвующих в производстве элементов;

2) сокращением количества транспортирующих промежуточных продуктов в процессе производства конечных продуктов.

Остановимся на рассмотрении второго пути, предполагая неизменность производительности участвующих в производстве элементов. Сокращение количества транспортируемых промежуточных КП в процессе производства может быть достигнуто путем объединения в производственные подсистемы элементов, которые в процессе производства наиболее интенсивно обмениваются материальными и информационными потоками. В то же время при объединении интенсивность обмена между подсистемами должна быть минимальной. Таким образом, можно сформулировать следующий важный формальный критерий синтеза ОУ: максимум взаимодействия элементов внутри подсистем и минимум взаимодействия между подсистемами.

Перейдем к рассмотрению выбора критерия синтеза управляющей части системы.

Основной целью системы управления предприятия является улучшение качества управления. Качество управления определяется оперативностью управления, надежностью, адаптивностью и так далее. Наиболее важным критерием качества управления является минимум длительности управленческого цикла решений по управлению. Достижение этого критерия осуществляется путем объединения в под-

системы наиболее связанных между собой элементов, сокращения числа уровней иерархии управления, уменьшения взаимодействия между уровнями.

Объединяя в подсистемы наиболее связанные между собой элементы, информационные потоки, которыми обмениваются подсистемы, значительно сокращаются. Это уменьшает усилия, время, затрачиваемые на обмен, и система быстрее реагирует на всякого рода изменения в самой системе и окружающей среде. Так же такое объединение облегчает процесс управления внутри подсистем и облегчает процесс координации деятельности подсистем в целом. Таким образом, разбиение системы управления на подсистемы целесообразно проводить по критерию максимума внутренних (внутри подсистем) и минимума внешних (между подсистемами) взаимосвязей.

При сокращении числа уровней иерархии управления повышается оперативность управления за счет сокращения цепи передачи команд от высших руководителей до исполнителей, снижаются расходы на содержание управленческого аппарата.

Уменьшение взаимодействия между уровнями приводит к сокращению усилий и времени, необходимых для выработки управленческих решений.

Таким образом, одним из наиболее важных критериев синтеза систем управления является критерий, в соответствии с которым связи между элементами должны быть максимальными, а связи между подсистемами — минимальными. Относительная легкость формализации этого критерия позволяет использовать математические модели синтеза. Например, в работах [16, 18] приводятся задачи, решенные на основе теории графов по рассмотренному критерию.

5.3. СТАНДАРТНЫЕ МОДЕЛИ СИНТЕЗА СИСТЕМ

Процесс формирования отдельной подсистемы можно представить следующим образом: выбор некоторой стандартной модели (формальной структуры) подсистемы и ее содержательное наполнение элементами системы (конечными продуктами, функциями и т.д.), полученными при анализе проектируемой системы. Стандартные модели, исполь-

зуемые для синтеза, будем называть стандартными моделями синтеза (СМС). Если стандартные модели анализа, описанные в разделе 2.4, используются для синтеза, то эти модели будем также называть СМС. Тогда основная задача синтеза будет заключаться в:

1) определении набора СМС, соответствующих отдельным посистемам различных уровней иерархии синтезируемой системы;

2) разработке алгоритма использования результатов анализа проектируемой системы и СМС для формирования подсистем на разных уровнях иерархии системы.

Формирование СМС поясним на примере. Пусть объектом синтеза является система управления промышленным предприятием. Структура системы управления в первую очередь определяется составом производственно-технологических объектов (цехов, производств и т.д.), а также составом предприятий и организаций, существенно взаимодействующих с предприятием. Следовательно, можно сопоставить отдельным подсистемам объекта управления и среды или их взаимосвязанным совокупностям соответствующие подсистемы в системе управления.

Рассмотрим набор стандартных моделей синтеза системы управления предприятием. Предлагаемые модели (формальной структуры) СУ дифференцированы по уровням в зависимости от степени агрегирования подсистем, параметров и отношений.

I. Первый уровень формальной структуры СУ включает блок управления и блок управления взаимодействием системы с подсистемами среды:

а) вышестоящей системой;

б) системами, выступающими либо в качестве потребителей конечных продуктов проектируемой системы, либо в качестве поставщиков ресурсов;

в) системами, подчиненными проектируемой системе.

2. Второй уровень структуры образован путем представления блоков первого уровня в виде совокупности блоков экономического, технического (технико-экономического), организационного, политического, правового и социального управления.

Рассмотрим для примера состав показателей, управление которыми осуществляется на предприятии в рамках указанных блоков [19].

Экономические показатели: объем производства, производительность труда, основные производственные фонды, производственные мощности, рентабельность и т.д.

Технико-экономические показатели характеризуют используемую технику и технологию, материалоемкость, энергоемкость, надежность, точность, эргономичность, эстетичность, безопасность, технологичность, степень комплексной механизации и автоматизации и т.д.

Организационные показатели: показатели разделения, специализации и кооперирования труда, концентрации и комбинирования производства, показатели подбора, расстановки и использования кадров, состояния трудовой дисциплины и т.д.

Политические показатели характеризуют трудовые коллективы, социальные группы: уровень овладения людьми марксистско-ленинской идеологией, уровень политической зрелости, преданность коммунизму, партийность, классовая убежденность.

Количественными показателями могут быть, например, число членов партии в тех или иных трудовых коллективах.

Правовые показатели характеризуют соблюдение конкретных правовых норм и законодательных актов. Социальные показатели характеризуют развитие различных национальных и социальных групп, например, половозрастных (молодежь, пенсионеры, женщины и т.д.), соотношение трудовых коллективов по профессионально-квалификационным характеристикам, уровню образования, соотношение умственного и физического труда, степень удовлетворенности работой, профессией, условиями труда и т.д.

3. Третий уровень структуры образован путем декомпозиции блоков второго уровня на блоки административного и общественного управления. Так, например, к числу органов организационного общественного управления на предприятии относятся общественные советы кадров, общественные комиссии по организации социалистического соревнования и некоторые другие. А к органам организаци-

онного административного управления на предприятии относятся линейные руководители - мастера, начальники участков, цехов, директора предприятий, а также руководители функциональных служб и подразделений. Например, функциональные органы блока экономического управления составляют прежде всего ОЗО, ОТЗ, ПДО, соответствующие подразделения цехов, лаборатории (бюро) экономического анализа, служба МТС и сбыта (коммерческая служба), финансово-экономическая служба, бухгалтерия.

К числу общественных функциональных органов экономического управления относятся общественное бюро экономического анализа, общественные бюро технического нормирования, заводские и цеховые комиссии смотра резервов производства и т.д.

Относительно полный список административных и общественных органов управления в рамках блоков третьего уровня для предприятия рассмотрен в работе [19] .

4. Следующий уровень образован путем декомпозиции полученных блоков на блоки управления функционированием и развитием.

5. На пятом уровне определяются блоки управления основным и вспомогательным производством.

6. Шестой уровень получен путем формирования блоков управления подсистемами ОУ, производящими отдельные конечные продукты.

Помимо приведенных стандартных моделей можно использовать блоки управления отдельными подсистемами ОУ и блоки управления взаимодействием с отдельными подсистемами среды. Эти подсистемы (модели) описаны в разделе 2.4. Также можно использовать блоки управления отдельными видами оборудования, подсистемами с различной технологией производства, подсистемами, близкими по территориальному расположению и т.д.

Отметим, что предложенные СМС удовлетворяют критериям синтеза, описанным в разделе 5.2, так как связи внутри рассмотренных подсистем существенно сильнее связей между подсистемами. Очевидно, что для других типов систем (не предприятий) также можно предложить перечень возможных стандартных моделей синтеза.

5.4. АЛГОРИТМ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТНЫХ МОДЕЛЕЙ

В разделе 5.I было показано, что декомпозиция проектируемой системы может приводить ко множеству вариантов (альтернатив) анализа, связанных с различными способами и технологиями производства конечных продуктов, разными средствами и предметами деятельности и так далее. Далее будем предполагать, что рассматривается только один вариант анализа элементов, параметров и отношений проектируемой системы, имеющий иерархическую структуру, и в процессе синтеза необходимо:

I) определить уровни системы;

2) сформировать подсистемы на уровнях из элементов, полученных в результате анализа.

При синтезе систем находят применение различные модели и методы. Широкое распространение получили модели математического программирования (особенно модели дискретного программирования), методы теории массового обслуживания и статистического моделирования. При этом математические модели, охватывающие сразу все стороны синтеза (определение числа уровней, распределение элементов по подсистемам, а подсистем по уровням и т.д.), характеризуются [illegible] сложностью, что существенно ограничивает их применение. Это приводит к необходимости поэтапного решения задачи и применения эвристических приемов и методов в сочетании с математическими.

На рис. 5.4.I приведена обобщенная блок-схема алгоритма синтеза одной альтернативной гипотетической структуры системы на основе СМС. Алгоритм состоит из 6 этапов и позволяет осуществить "синтез сверху". Опишем работу алгоритма по этапам.

I. Проводится анализ проектируемой системы путем ее декомпозиции на основе стандартных моделей анализа. Модели анализа и алгоритм декомпозиции описаны в разделах 2.4, 3.I.
В результате декомпозиции получается иерархированный набор существенных элементов системы управления (подсистемы и их конеч-

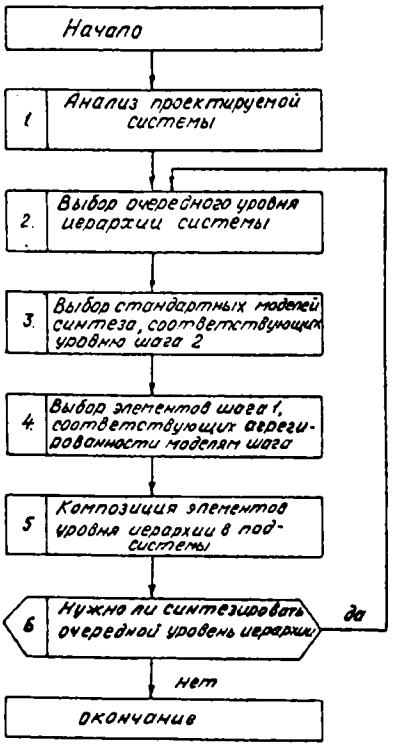


Рис. 5.4.1. Алгоритм синтеза структуры

ные продукты, функции по производству конечных продуктов, эле - менты структуры, предметы деятельности, параметры).

2. Выбирается очередной уровень иерархии синтезируемой сис - темы. Если синтезируемой системой является система управления организационной системы, то уровни представляют собой относи - тельно однородные ступени управления, характеризуемые более или менее одинаковым административным или функциональным положением органов управления, приблизительно равной мерой сложности целей, функций, обязанностей, компетентности, ответственности и т.п.

3. Выбор СМС, соответствующих уровню шага 2. Описание СМС приведено в разделе 5.3.

4. Выбор элементов шага I, соответствующих по агрегированности моделям шага 3.

5. Композиция элементов уровня иерархии в подсистемы. Здесь путем распределения элементов по подсистемам осуществляется наполнение СМС конкретным содержанием. Композиция осуществляется на основе экспертных, либо математических методов и моделей синтеза по описанному в разделе 5.2 критерию синтеза.

6. На данном шаге определяется целесообразность формирования очередного уровня иерархии. Другими словами, осуществляется проверка на элементарность синтеза. Если целесообразно формировать, то осуществляется переход к шагу 2. В противном случае процесс синтеза заканчивается.

5.5. СИНТЕЗ ГЕНЕРАЛЬНОЙ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХОЗЯЙСТВОМ ОБЛАСТИ

Рассмотрим применение методологических основ синтеза, изло - женных выше, для формирования подсистем (комплексов) генеральной схемы управления областью.

Будем предполагать, что в результате декомпозиции области определены конечные продукты подсистем социальной деятельности, приведенные в табл. 4.I.I, 4.I.2 и достаточные для формирования подсистем верхнего уровня управления областью. Решение задачи синтеза заключается в группировке целей по конечным продуктам

Таблица 5.5.I.

№№	Комплекс	Конечные продукты, по которым осуществляется управление в комплексе	
I	Инфраструктура области	X I.2.I,I.2.I	Средства воспроизводства
2	Блага и услуги для населения области	X I.2.I,I.2.3	Блага и услуги для населения области
3	Трудовые ресурсы области	X I.2.3,I.2.I	Трудовые ресурсы области
		X I.2.3,I.2.3	Воспроизводство населения, и его образ жизни
4	Природопользование	X I.2.I,I.2.2	Рациональное природопользование для нужд производства
		X I.2.3,I.2.2	Рациональное природопользование для нужд населения
		X I.2.2,I.2.I	Природные ресурсы и условия
		X I.2.2,I.2.3	Ценная природная среда
		X I.2.2,I.2.2	Воспроизводство природы
5	Управление комплексным развитием области	X I.2.I, I.I	Информация о состоянии возможностях и потребностях производства области
		X I.2.3, I.I	Информация о состоянии, потребностях и возможностях населения области
		X I.I, I.2.I	Управленческая информация производству
		X I.I, I.2.3	Управленческая информация населению
		X I.I, I.I	Воспроизводство системы управления

Таблица 5.5.2.

№№	Комплекс	Конечные продукты, по которым осуществляется управление в комплексе	
6	Народнохозяйственная продукция для нужд страны	X I.2.I,2.2.I	Народнохозяйственная продукция (для производства страны)
		X I.2.I,2.2.3	Блага и услуги для населения страны
		X I.2.I, 2.I	Информация о состоянии, потребностях и возможностях производства области
7	Образ жизни населения области	X I.2.3,2.2.3	Образ жизни населения области
		X I.2.3,2.I	Информация управлению страны о состоянии, потребностях и возможностях населения области
8	Охрана внешней природной среды	X I.2.I,2.2.2	Рациональное природопользование производства области в целях охраны внешней (за пределами области) природной среды
		X I.2.3,2.2.2	Рациональное природопользование населения области за пределами области
		X I.2.2,2.2.I	Природные ресурсы и условия области для производства страны
		X I.2.2,2.2.3	Конечная природная среда области для населения страны
		X I.2.2,2.2.2	Условия воспроизводства и воздействие природы области на природу страны
9	Управление областью в интересах взаимодействия со страной	X I.I,2.2.I	Информация производству страны о состоянии, потребностях и возможностях области
		X I.I, 2.2.3	Информация населению страны о состоянии, потребностях и возможностях области
		X I.I, 2.I	Информация управлению страны о состоянии, потребностях и возможностях области

(табл. 4.I.I, 4.I.2) в целевые комплексы управления по определенным критериям. При формировании целевых комплексов в качестве СМС (стандартной модели синтеза) была выбрана существующая структура управления, которая является моделью синтеза первого уровня, описанной в разделе 5.3. Критерий синтеза целей (и соответствующих конечных продуктов, по которым осуществляется управление) в соответствии с разделом 3.2 сформулируем следующим образом: связи между подсистемами должны быть минимальными, а связи между элементами внутри подсистем должны быть максимальными. Здесь будем считать, что сила связи между целями тем больше, чем однороднее соответствующие конечные продукты и чем ближе технологии принятия решений по обеспечению производства соответствующих конечных продуктов.

Отметим, что группировка целей однозначно соответствует группировке соответствующих конечных продуктов (табл. 4.I.I, 4.I.2). Разбиение множества целей на классы (комплексы) взаимосвязанных целей по описанному критерию синтеза было осуществлено экспертным путем. В результате было сформировано 9 целевых комплексов, приведенных в табл. 5.5.I, 5.5.2. Там же приведены конечные продукты, по которым осуществляется управление в комплексе. В пользу такого формирования комплексов свидетельствуют следующие рассуждения.

Так, цели, связанные со всей производственной продукцией области для нужд народного хозяйства, населения и управления страны, можно объединить. Это объединение оправдано следующими фактами: как правило, управление соответствующими процессами закреплено на уровне области за одним и тем же руководителем, такую продукцию достаточно часто выпускают одни и те же предприятия. Технология принятия решения по достижению соответствующих целей также достаточно однородна и т.д.

Объединение целей, характеризующих деятельность области по охране внешней (за пределами области) природной среды, также оправдано по аналогичным соображениям. Цели по взаимодействию области со страной в части управленческой деятельности также объединены. При этом рассматривается некоторый обобщенный конечный продукт: управление областью в интересах взаимодействия со

страной (производством, населением и управлением), но при этом, учитывая отраслевой аспект управления, цель, связанная с информацией о производстве области, сохранена.

Что касается целей по трудовым ресурсам, мигрирующим за пределы области, то их рассматривать отдельно, по-видимому, не имеет смысла, а следует учесть в составе соответствующих целей по конечным продуктам, используемым внутри области.

Так же, как и в предыдущем случае, осуществлена группировка целей по внутренним конечным продуктам.

Прежде всего договоримся, что цели, связанные с состоянием природной среды и ее дальнейшими возможностями для нужд производства и населения, а также перспективы собственного развития целиком предопределяются соответствующими выходами подсистем производства, населения и природы. Поэтому эти выходы и соответствующие им цели следует рассматривать совместно. Аналогичным образом объединяются в рамках конечного продукта "управление" выходы всех подсистем области и соответствующие им цели.

Цели по воспроизводству населения и его образа жизни будем рассматривать соответственно в составе целей по трудовым ресурсам области и целей по внешнему выходу области "образ жизни населения".

Для сформулированных 9 целевых комплексов осуществлено построение дерева функций, структур, внешнего ресурсного обеспечения на основе изложенной выше методологии.

Далее были сформулированы задачи управления областью [12], которые включают:

а) цель;

б) ограничения на конечные продукты;

в) ограничения на входные ресурсы;

г) ограничения на структуру и функции производства.

Ниже формируются обобщенные задачи управления девятью "целевыми комплексами". При необходимости эти задачи могут быть детализированы путем использования соответствующих классификаторов.

I. Задача управления целевым комплексом "Народнохозяйственная продукция".

Обеспечение выпуска конечной продукции

I. На основе:

а) получения необходимой информации о требуемых количестве ассортиментов (номенклатура), объемах товарной и реализованной продукции, сроках поставки, сведений о потребностях народного хозяйства и населения страны с учетом пожеланий потребителей и требования государственных стандартов, общесоюзных, республиканских и территориальных нормативов;

б) осуществления мероприятий, обеспечивающих выполнения директив и плановых заданий.

2. При условиях всемерной экономии живого и овеществленного труда путем:

а) прироста объемов производства в основном за счет роста производительности труда;

б) развития и совершенствования социалистического соревнования;

в) внедрения и распространения передового опыта;

г) соблюдения дисциплины труда и культуры производства.

II. Задача управления целевым комплексом "Образ жизни".

Обеспечение образа жизни населения

I. На основе:

а) регулярного получения необходимой информации о степени социализации и удовлетворении населения;

б) осуществления мероприятий по ликвидации имеющихся и возникающих диспропорций;

в) воспитания населения в соответствии с нормами социалистического образа жизни.

2. При условиях:

а) совершенствования социально-демографической структуры населения;

б) постоянного изучения и выявления внутренних возможностей;

в) развития у населения необходимых ценностных ориентаций.

Ш. Задача управления целевым комплексом "Охрана внешней природной среды".

Обеспечение охраны внешней природной среды (за пределами области)

I. На основе:

а) получения информации о вредном влиянии природной среды области на внешнюю окружающую среду с учетом пожеланий соседних краев и областей и требований государственных стандартов, общесоюзных, республиканских и территориальных нормативов;

б) осуществления мероприятий по устранению загрязнения внешней окружающей среды.

2. При условии:

а) наиболее полного использования природных ресурсов области в интересах народного хозяйства и населения страны.

IУ. Задача управления целевым комплексом "Цели области".

Обеспечение совершенствования управления областью в интересах народного хозяйства

I. На основе:

а) повышения целенаправленного характера деятельности путем ирования генеральной схемы управления областью;

б) повышения качества, комплексности и своевременности предложений, вносимых в центральные органы;

в) принятия решений, удовлетворяющих интересам народного хозяйства и населения страны на основе расширения демографических принципов управления, соблюдения социалистической законности, учета условий и возможностей хозяйства области.

2. При условиях всемерной экономии управленческого труда и путем:

а) снижения удельного веса затрат на содержание аппарата управления;

б) широкого внедрения экономико-математических методов и ЭВМ;

в) совершенствования форм и методов управления;

г) совершенствования состава информации и показателей.

У. Задача управления целевым комплексом "Инфраструктура".

Обеспечение развития и функционирования производственной инфраструктуры области

I. На основе:

а) удовлетворения потребностей производства по ассортименту услуг;

б) полного освоения выделяемых капиталовложений и ввода необходимых мощностей;

в) удовлетворения по своему уровню требований потребителей с соблюдением государственных стандартов, общесоюзных, республиканских и территориальных нормативов на качественные и эксплуатационные свойства и на характеристики надежности.

2. При условиях всемерной экономии живого и овеществленного труда путем:

а) прироста объемов в основном за счет роста производительности труда;

б) осуществления постоянной реконструкции и обновления активной части основных производственных фондов;

в) развития и совершенствования социалистического соревнования;

г) внедрения прогрессивной технологии и передового опыта, обеспечивающих снижение трудоемкости, материалоемкости, фондоемкости и сокращения производственного цикла;

д) соблюдения дисциплины труда и культуры производства.

УI. Задача управления целевым комплексом "Блага и услуги".

Обеспечение населения области благами и услугами

I. На основе:

а) предоставления необходимого ассортимента;

б) соответствия с постоянно растущими доходами населения;

в) удовлетворения пожеланий потребителей с соблюдением требований государственных стандартов, общесоюзных, республиканских и территориальных нормативов на качество и эксплуатационные свойства, соответствующих уровню удовлетворенности и социализации.

2. При условии всемерной экономии живого и овеществленного труда путем:

а) прироста объемов производства благ и услуг в основном за счет роста производительности труда;

б) осуществления постоянной реконструкции и обновления активной части основных производственных фондов;

в) развития и совершенствования социалистического соревнования;

г) внедрения прогрессивной технологии и передового опыта, обеспечивающих снижение трудоемкости, материалоемкости, фондоемкости и сокращения производственного цикла;

д) соблюдения дисциплины труда и культуры производства.

УП. Задача управления целевым комплексом "Трудовые ресурсы".

Обеспечение использования трудовых ресурсов

I. На основе:

а) полной занятости населения;

б) соблюдения соответствия между видом, характером работ и квалификацией работающих;

в) постоянного роста заработной платы;

г) удовлетворения потребностей хозяйства области.

2. При условиях всемерной экономии живого труда путем:

а) сокращения ручного труда на основе механизации и автоматизации производственных процессов;

б) совершенствования организации и оплаты труда;

в) соблюдения установленного фонда заработной платы;

г) соблюдения правил техники безопасности и улучшения условий труда;

д) совершенствования воспитательной работы в трудовых коллективах.

УШ. Задача управления целевым комплексом "Природопользование".

Обеспечение рационального использования природной среды для нужд производства и населения области

I. На основе:

а) постоянного удовлетворения нужд производства в местных природных ресурсах;

б) создания нормальной жизненной среды для населения области

в соответствии с государственными стандартами, общесоюзными, республиканскими и территориальными нормативами.

2. При условиях соблюдения необходимого экологического равновесия в природной среде путем:

а) осуществления необходимых природовосстановительных мероприятий;

б) рационального ведения добычи природных ресурсов;

в) рационального землепользования в сельском хозяйстве.

IX. Задача управления целевым комплексом "Управление комплексным развитием области".

Обеспечение совершенствования управления областью в интересах ее комплексного развития и функционирования

I. На основе:

а) повышения целенаправленного характера деятельности путем формирования генеральной схемы управления областью;

б) повышения качества, комплексности и своевременности принимаемых решений;

в) принятия решений, удовлетворяющих интересам области, на основе расширения демократических принципов управления и соблюдения социалистической законности.

2. При условиях всемерной экономии управленческого труда путем:

а) осуществления необходимых природовосстановительных мероприятий;

б) рационального ведения добычи природных ресурсов;

в) рационального землепользования в сельском хозяйстве.

Такие задачи, по существу, являются содержательными моделями системы.

ГЛАВА VI. ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ

6.1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАНДАРТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ДЕРЕВА ЦЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрим случай, когда содержательная модель строится для выявления полного списка существенных целей оргсистемы в виде дерева целей. Цель (цели) системы понимается как желаемое состояние элементов системы (конечных продуктов системы и ее подсистем, функций, структур, ресурсов) и их параметров. Следовательно, для построения дерева целей необходимо построить модель системы (в виде дерева моделей), сформировать цели по всем элементам системы, отраженным в модели, и сформировать из целей иерархическую структуру в виде дерева. Отметим, что структура дерева целей при этом будет соответствовать структуре дерева моделей.

Будем предполагать для определенности, что декомпозиция оргсистемы ведется для выявления целей аппарата управления (АУ). Цели АУ формируются в терминах решений по элементам оргсистемы, получаемым в результате декомпозиции. Формулировка целей АУ, получаемых в результате декомпозиции глобальной цели по описанным правилам, должна содержать компромиссное решение между требованиями целеполагающих систем к одним и тем же параметрам.

На рис. 6.1.1 для примера приведена формальная структура дерева целей для моделей 1,2,3 уровней. В квадратах дерева указаны модели декомпозиции, которые используются для получения соответствующих подцелей. Глобальная цель декомпозируется в соответствии с моделью первого уровня, которая порождает две подцели, связанные с внутренним и внешним функционированием системы. Далее полученные две подцели декомпозируются с помощью модели второго уровня. В результате формируется 8 подцелей. Использование для декомпозиции модели третьего уровня порождает 32 подцели. Дальнейшая декомпозиция подцелей может быть осуществлена в соответствии с остальными моделями декомпозиции.

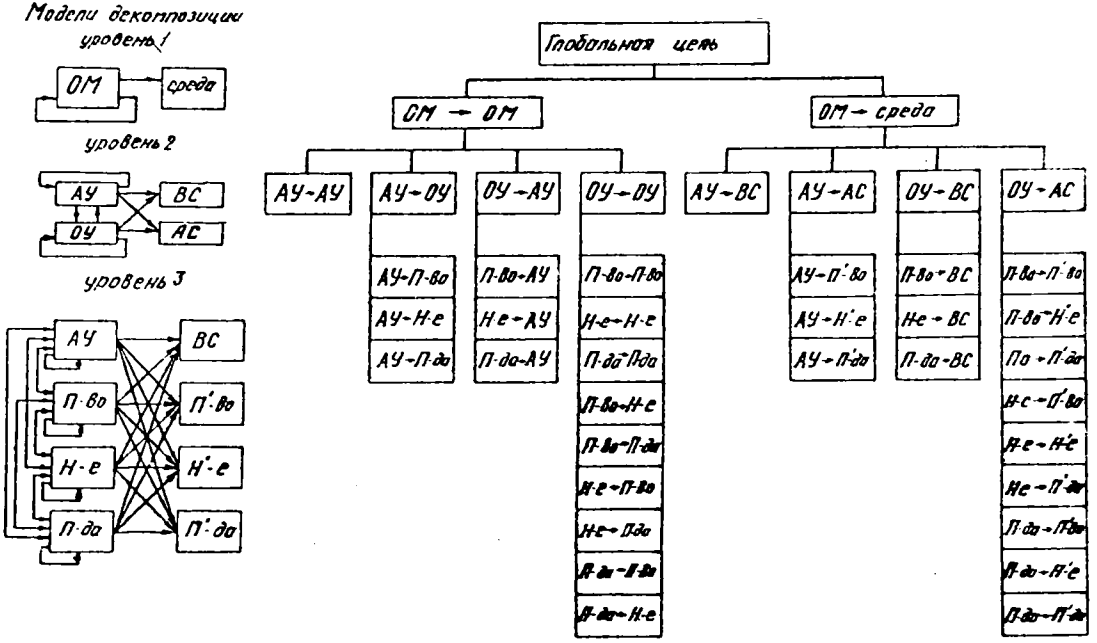


Рис. 6.1.1. Формальная структура дерева целей

При практическом применении разработанного алгоритма построения содержательной модели оргсистемы и формирования дерева целей выявились две основные проблемы. Во-первых, обязательно участие специалистов, владеющих методологией построения дерева целей, а во-вторых, необходимость обработки большого объема информации, в котором "тонут" как специалисты по методологии, так и сами пользователи.

В качестве средства решения этих двух проблем выбрана диалоговая система. Описываемая ниже система разработана при непосредственном участии Одинокова В.В.

6.2. ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДИАЛОГОВОЙ СИСТЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ СОДЕРЖАТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И ФОРМИРОВАНИЯ ДЕРЕВА ЦЕЛЕЙ

Диалоговая система включает следующие виды обеспечений: алгоритмическое, программное, техническое, организационно-правовое. В процессе создания диалоговой системы необходимо учитывать множество ограничений [20]. Первая часть ограничений связана с необходимостью учета требований определенной категории людей, которая включает: пользователей, проектировщиков системы и заказчика разработки диалоговой системы к разрабатываемым видам обеспечения. Вторая часть ограничений связана со взаимными требованиями, накладываемыми обеспечениями друг на друга.

Далее охарактеризуем процесс создания составных элементов диалоговой системы.

6.2.1. АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Под алгоритмическим обеспечением в данном случае будем понимать набор алгоритмов обеспечивающих:

а) построение содержательной модели оргсистемы;

б) формирование дерева целей;

в) ведение диалога;

г) ввод, вывод, хранение требуемой информации.

Для определения состава основных блоков алгоритмического обеспечения воспользуемся описанной выше методологией построения модели. Будем рассматривать в качестве объекта моделирования алгоритмическое обеспечение (АО) диалоговой системы (ДС), а окружающую среду будем интерпретировать как пользователя системы, которого далее будем называть лицом, принимающим решение (ЛПР). На рис. 6.2.I рассмотрена макромодель исследуемой системы. Основными конечными продуктами ДС и ЛПР являются:

$x^1_{1,2}$ – сформированное дерево целей;

$x^2_{1,2}$ – вопросы системы к ЛПР;

$x^1_{2,1}$ – указания ЛПР по управлению работой ДС;

$x^2_{2,1}$ – содержательные ответы ЛПР на вопросы ДС.

Выделим в АО ДС две части I.I и I.2, которые обеспечивают выпуск $x^1_{1,2}$ и $x^2_{1,2}$ соответственно. В каждой из частей I.I и I.2 выделим системы управления (части I.I.I, I.2.I) и управляемые части (процессы получения КП) I.I.2 и I.2.2). Процессы I.I.2 и I.2.2 разобьем на последовательные во времени этапы, соответствующие вводу, обработке и выводу информации (блоки I.I.2.I, I.I.2.2, I.I.2.3 и I.2.2.I, I.2.2.2, I.2.2.3). Модель данного уровня описания приведена на рис. 6.2.2.

Представим блок обработки I.I.2.2 в виде следующей совокупности:

I.I.2.2.I – блок формирования дерева целей;

I.I.2.2.2 – блок хранения информации;

I.I.2.2.3 – блок склонения слов, который выполняет склонение исходных слов из именительного в родительный или творительный падеж.

Блок хранения I.I.2.2.2 разобьем на две части: блок хранения сообщений ЛПР (I.I.2.2.2.I) и блок хранения записей диалоговой системы (I.I.2.2.2.2).

Блок обработки I.2.2.2 представим в виде:

I.2.2.2.I – блок, реализующий логику построения дерева целей;

I.2.2.2.2 – блок хранения информации;

I.2.2.2.3 – блок склонения слов.

Блок хранения I.2.2.2.2 также целесообразно разбить на блок

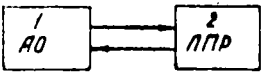


Рис 6.2.1

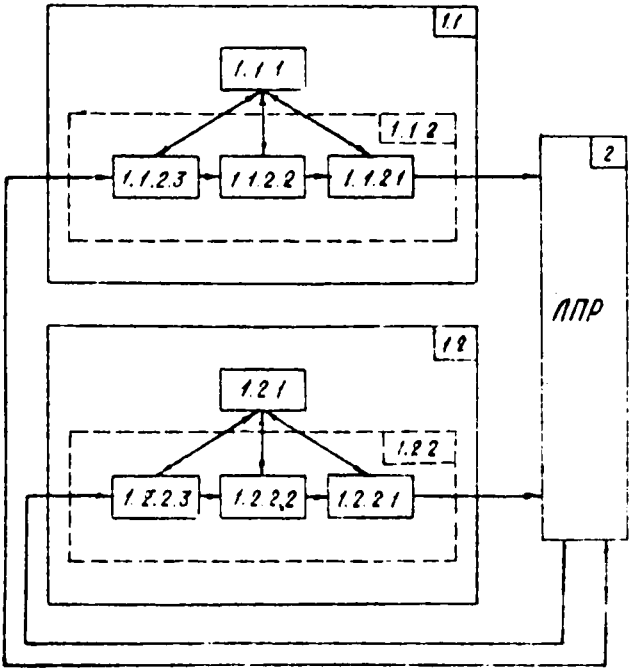


Рис 6.2.2

хранения сообщений ЛПР (I.2.2.2.2.I) и блок хранения записей системы (I.2.2.2.2.2). Тогда модель системы будет иметь вид, представленный на рис. 6.2.3.

В результате проведенной декомпозиции получено I4 блоков диалоговой системы.

Остановимся на рассмотрении этапа синтеза структуры ДС из блоков, полученных на этапе декомпозиции. Будем рассматривать задачу синтеза как задачу объединения однотипных по выполняемым функциям блоков в некоторые подсистемы (модули ДС). Так, объединению подлежат однотипные блоки, выполняющие, например, функции ввода, хранения, вывода информации.

При синтезе структуры ДС необходимо также учитывать множество требований как со стороны пользователей ДС, проектировщиков, заказчиков, так и со стороны других видов обеспечений ДС.

6.2.2. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В техническом обеспечении выделим следующие основные элементы: ЭВМ, терминалы, внешние носители информации.

Аппаратные и программные средства машины должны обеспечивать:

а) работу в мультипрограммном режиме;

б) работу с терминалами, пригодными для ведения диалога;

в) работу экспертов в реальном масштабе времени.

Большое время ожидания экспертом ответа машины будет резко снижать эффективность диалога.

Терминальное оборудование должно обеспечивать: высокую скорость обмена, быструю смену сообщений, естественность и наглядность представления алфавитно-цифровой информации, удобство компоновки, редактирования, корректировки сообщений, простоту взаимодействия. Желательно также иметь возможность получения твердой копии сообщения хорошего качества и с высокой скоростью.

В настоящее время наиболее удобным терминалом для ведения требуемого диалога является дисплей. При отсутствии дисплея в качестве терминала можно использовать телетайп.

Учитывая большой объем информации, получаемой от пользователя,

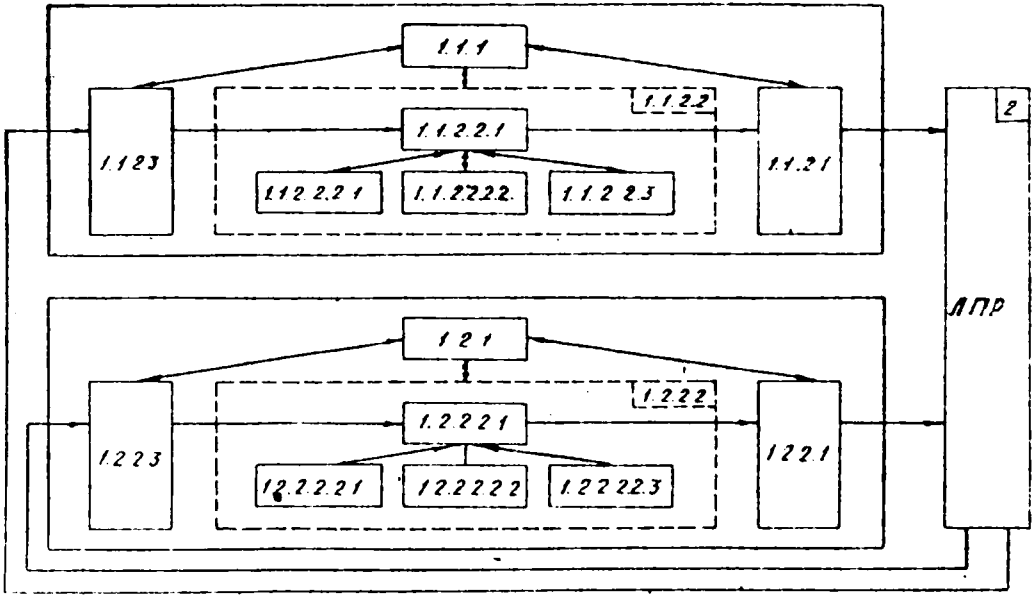


Рис 6.2.3 Результат декомпозиции диалоговой системы

а также объем программ, требуется наличие носителей информации большой емкости (магнитных лент, дисков, барабанов).

Учитывая требование раздельного хранения информации конкретного пользователя от информации, относящейся к самой диалоговой системе, необходимо использование двух и более носителей информации большой емкости. Например, допустимо использование двух пакетов магнитных дисков. На одном находятся программные модули и другая информация диалоговой системы. На другом расположена информация по конкретной исследуемой системе.

6.2.3. ЯЗЫКОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Хотя язык системы относится к алгоритмическому обеспечению, учитывая его важность, рассмотрим его как самостоятельный элемент.

В основе всякого диалога лежат определенные средства коммуникации между пользователем и системой, возможности которых во многом определяют оперативность, активность, мощность и универсальность диалогового режима.

Язык диалога должен быть программно реализуем. Обязательная предпосылка для программирования - однозначность языка. Ручной характер ввода информации с терминала требует, чтобы сообщения были по возможности более краткими. Язык диалога в определенной степени зависит от типа используемого терминала. Например, при использовании телетайпа будет отсутствовать команда перевода кадра. Язык диалога должен быть достаточно универсальным, т.е. он должен быть применим к широкому классу организационных систем.

Язык диалога не должен требовать от пользователя больших затрат времени на его изучение.

Характер сообщения пользователя должен задаваться предыдущим сообщением машины или вытекать из нужд пользователя. К сообщениям последнего типа, например, относятся такие: перевести кадр на экране дисплея, вывести на экран построенные части дерева целей, прекратить на время процесс построения и т.д.

Язык диалога не должен ограничивать сколь-нибудь значительно возможности исходного алгоритма построения содержательной модели и формирования дерева целей.

В состав языка должны входить конструкции трех типов:

1) сообщения и вопросы, которые формирует ЭВМ;

2) директивы, передаваемые пользователем;

3) ответы пользователя на вопросы ЭВМ.

Изобразительные средства директив должны обеспечивать описание следующих объектов:

а) элементов алгоритма построения дерева целей;

б) конфигурации комплекса технических средств обслуживающих пользователя;

в) выходных документов и сообщений.

6.2.4. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Под информационным обеспечением понимается состав и структура файлов на внешних носителях. Исходя из удобства, допускается использование вспомогательных файлов, организованных на перфокартах, перфоленте или на магнитных носителях. Вспомогательные файлы содержат различные классификаторы, например, классификатор конечных продуктов.

При разработке алгоритмического обеспечения определяются состав хранимой информации, а также порядок получения ее от пользователя. Структура информационных файлов должна учитывать алгоритмы работы диалоговой системы во всех трех режимах. Например, наиболее гибкую работу с данными позволяет осуществить мультисписочный метод доступа. С другой стороны, последовательный метод доступа ориентирован на последовательную запись и считывание данных и поэтому малопригоден для хранения сообщений пользователя.

Структура информационных файлов должна быть ориентирована на имеющиеся в данной операционной системе методы доступа. Широко распространены последовательный, прямой, индексно-последовательный методы доступа, гораздо меньше - мультисписочний метод дос -

тупа.

Тип исследуемых внешних носителей является одним из определяющих факторов при выборе структуры файлов. Например, для магнитной ленты допустимы только последовательные файлы.

6.2.5. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Для сокращения времени и затрат на создание программного обеспечения необходимо:

1) максимально использовать возможности имеющейся операционной системы ЭВМ по обмену и отображению информации, администрированию и управлению вводом, выводом и хранением информации, распределением ресурсов, в том числе памяти, организации совмещения и параллельного выполнения отдельных процессов и т.д.;

2) по возможности применять языки программирования высокого уровня.

Программное обеспечение должно учитывать свойства исходной ЭВМ и используемой операционной системы:

а) выбор языков программирования зависит от наличия соответствующих трансляторов;

б) ограниченный объем оперативной памяти приводит к необходимости реализации модульного принципа построения программ.

Тип используемых внешних носителей информации оказывает непосредственное воздействие на построение программ, осуществляющих создание и использование информационных файлов. Это воздействие проявляется двояко:

а) от выбора внешнего носителя зависит выбор метода доступа;

б) реализация последовательного метода доступа различна для магнитной ленты и магнитного диска.

Тип используемых терминалов определяет выбор метода доступа, организацию буферов, формат выводимых данных.

Программное обеспечение, с точки зрения интересов пользователей, должно обеспечивать в справочном режиме и режиме корректировок и изменений:

I) быстроту получения пользователем интересующей его информации;

2) качество получаемой информации.

При этом под качеством понимается не столько точность ответа, сколько возможность "поторговаться" с партнером - ЭВМ, вести беседу с системой, пробуя различные подходы для удовлетворения требований запроса и достижения уверенности в том, что когда результаты будут в конце концов получены, они будут наилучшими в смысле точности и полноты выдачи.

Все вышеизложенное свидетельствует о достаточно высокой сложности программного обеспечения диалоговой системы анализа орг - систем.

6.2.6. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Функционирование системы должно регламентироваться методическими материалами, определяющими технологию проведения анализа оргсистем, их хранения, корректировки, использования и т.д.

Организация процедуры диалога должна обеспечивать пользователю необходимые условия. Сюда относятся создание специальных звукоизолирующих кабин, выбор пользователем продолжительности сеансов диалога и т.д.

В процессе эксплуатации разработчики алгоритмического обеспечения должны иметь возможность сбора информации о работе системы с целью предидущей ее модификации.

6.3. СТРУКТУРА ДИАЛОГОВОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрение основных элементов ДС и множества ограничений позволило синтезировать структуру ДС, в состав которой входят 9 программных модулей (рис.6.3.I) [2I] :

- резидентный модуль и анализатор сообщений АПР реализуют функции блоков ввода (I.I.2.3, I.2.2.3) и управления (I.I.I, I.2.I);
- модуль логики построения дерева целей реализует функции блока I.2.2.2.I;
- модуль формирования целей реализует функции блока I.I.2.2.I;

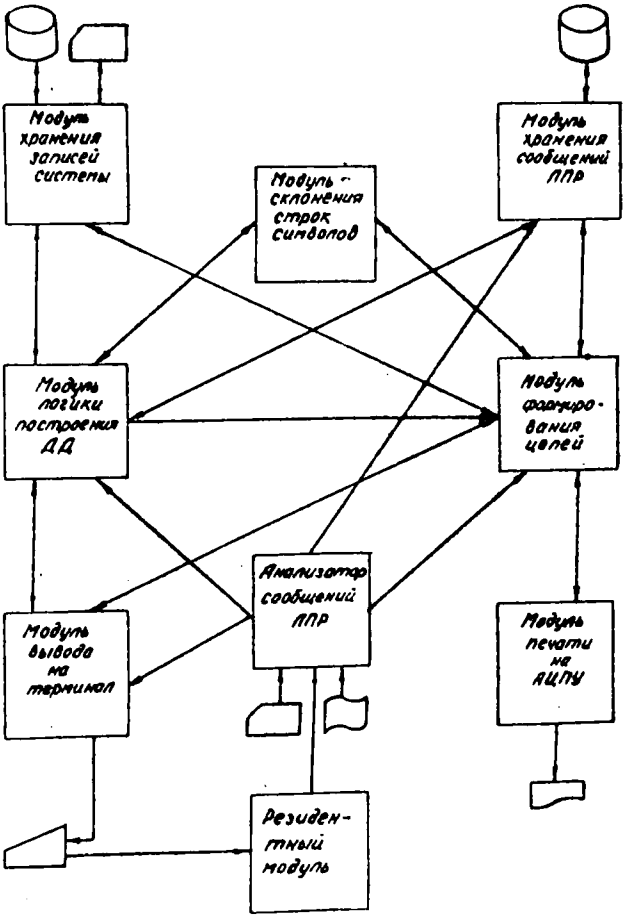


Рис. 6.3.1. Структура диалоговой системы

- модуль хранения сообщений ЛПР реализует функции блоков I.I.2.2.2.I и I.2.2.2.2.I;
- модуль хранения записей системы реализует функции блоков I.I.2.2.2.2., I.2.2.2.2.2;
- модуль склонения строк символов реализует функции блоков I.I.2.2.3 и I.2.2.2.3;
- модуль вывода на терминал и модуль печати на АШУ реализуют функции блоков вывода I.I.2.I и I.2.2.I .

Подробное описание сообщений ДС, сообщений пользователя, режимов работы ДС, функций отдельных модулей приводится в разделах 6.5, 6.6.

6.4. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИАЛОГОВОЙ СИСТЕМЫ

Описываемая диалоговая система ориентирована на декомпозицию следующей глобальной цели, имеющей весьма большое практическое значение:

"Обеспечение нормального функционирования и развития [базового исследуемой оргсистемы] в течение [указанный пользователем период времени] ".

Максимальное число целей с параметрами около 40000. Одна цель может иметь до 1000 подцелей и до 100 параметров. Максимальное число уровней построенного с помощью системы дерева целей равно 20 (не считая уровня глобальной цели).

Система, структура которой приведена на рис. 6.3.I , ориентирована на использование ЭВМ ЕС-1030 и операционную систему ОС.

Программное обеспечение разработано так, что система в значительной степени инвариантна относительно состава оснований декомпозиции и очередности их применения для построения дерева целей. Легко, без изменения в программах, система может быть перестроена на новую методику.

В качестве внешних устройств используются два накопителя на магнитных дисках, терминал (телетайп), перфокарточный ввод, ввод

с перфоленты, а также АЦПУ.

Система использует внешнюю память большой емкости – два накопителя на магнитных дисках емкостью 7,25 Мбайт каждый, на одном пакете магнитных дисков находятся программные модули диалоговой системы на машинном языке, сообщения и пользователю и другая информация системы. На другом пакете находятся сообщения пользователя, поступившие от него в процессе диалога. Для хранения копий программных модулей используется магнитная лента.

Данная диалоговая система инвариантна в известной степени относительно типа используемого терминала и метода доступа для связи с ним. В качестве терминала могут быть использованы дисплей, телетайп, а также пишущая машинка.

Два модуля системы – резидентный и вывода на терминал-зависят от используемого терминала. Программирование данных модулей, учитывая наличие подробного описания выполняемых ими функций, входов и выходов, не является трудной задачей при наличии одного – двух достаточно квалифицированных программистов.

Учитывая технические возможности организации – разработчика при опытной эксплуатации системы в качестве терминала предполагается использовать телетайп, работающий в мультипрограммном режиме.

Кроме указанных выше внешних устройств диалоговая система использует перфоленточный ввод, ввод с перфокарт, а также АЦПУ. Первые два устройства позволяют пользователю заменять ввод информации с клавиатуры терминала соответственно вводом с перфоленты и вводом с перфокарт. АЦПУ используется для быстрой выдачи готового дерева целей или его фрагментов в удобочитаемом виде.

Ниже дается краткое описание элементов диалоговой системы. Подробное изложение приведено в работе [22].

6.5. ЯЗЫК ДИАЛОГА

Описанный язык диалога не требует от пользователя сколь-нибудь значительного времени на изучение.

6.5.1. СООБЩЕНИЯ ДИАЛОГОВОЙ СИСТЕМЫ

Все свои сообщения к ЛПР диалоговая система делает на естественном языке. Сюда относятся:

1. Стандартные сообщения, которые являются реакцией диалоговой системы на некоторые ситуации, возникшие при работе. Примеры подобных сообщений: а) "Вы неправильно ввели команду, повторите"; б) "Ваша команда выполнена, ждем дальнейших указаний".

2. Вопросы системы к ЛПР, задаваемые в процессе построения дерева целей.

3. Формулировки выводимых на терминал целей и соответствующих параметров. Каждая формулировка цели сопровождается десятичным кодом Дьюи (ДКД).

6.5.2. СООБЩЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Все сообщения ЛПР делятся на следующие три типа:

1. Команды, позволяющие пользователю управлять работой системы.

2. Содержательные ответы ЛПР на вопросы системы при построении дерева целей. Например, по требованию системы ЛПР должен перечислить все конечные продукты производимые исследуемой оргсистемой.

3. Ответы ЛПР типа "да", "нет" на вопросы системы при построении дерева целей.

6.6. РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Рассмотрим работу системы. Первым начинает диалог с ЛПР резидентный модуль (рис. 6.3.1). Он излагает правила ведения диалога и сообщает ЛПР набор команд (директив), которыми тот может пользоваться. Кроме команд ЛПР сообщает системе ту информацию, которую она от него запрашивает.

Познакомившись со справочником команд, ЛПР выбирает ту команду, которая наиболее его удовлетворяет. Соответствующая команда поступает в анализатор сообщений ЛПР, который активизируется резидентным модулем.

Средства языка команд позволяют организовать три режима работы системы: а) режим построения дерева целей; б) справочный режим;

в) режим корректировок и изменений.

а). Режим построения дерева целей

О своем желании работать в этом режиме ЛПР сообщает системе одной из четырех команд: 1) строить ДЦ сначала; 2) продолжить построение; 3) декомпозировать определенную цель из уже имеющейся части ДЦ; 4) продолжить декомпозицию определенной цели. При получении любой из этих команд активизируется модуль логики дерева целей.

Модуль логики построения ДЦ - программа, обеспечивающая выполнение процедур в соответствии с выбранной формальной методикой построения ДЦ. Последовательно, шаг за шагом, этот модуль спрашивает ЛПР в соответствии с используемой методикой декомпозиции. Характер вопроса зависит от предыдущих ответов ЛПР. Ведением файла вопросов, как и другой подобной информации, занимается модуль хранения записей системы. Характерной особенностью работы модуля логики является то, что он запрашивает у ЛПР не сами цели, а содержательные сообщения, служащие основой для их формирования. Эти сообщения являются элементами содержательной модели оргсистемы. Структура этой модели полностью совпадает со структурой дерева целей, так как каждому содержательному сообщению соответствует своя цель. Формирование целей осуществляется диалоговой системой автоматически на основе элементов содержательной модели оргсистемы и стандартных формулировок.

Получив через анализатор ответ ЛПР, модуль логики передает его модулю хранения сообщений ЛПР. В одно из полей создаваемой при этом записи заносится десятичный код той программы декомпозиции, при выполнении которой модулем логики было получено данное сообщение.

При задании вопросов к ЛПР модуль логики использует ранее полученные от ЛПР сообщения. Если эти сообщения нужны не в именительном, а каком-то другом падеже, они передаются в модуль склонения.

В зависимости от команды построения модуль логики запрашивает

у модуля хранения сообщений ЛПР то или иное содержательное сообщение для декомпозиции.

б). С п р а в о ч н ы й р е ж и м

Для работы в этом режиме есть команды: 1) вывод на АПУ или терминал всего ДЦ; 2) вывод части дерева целей, полученной в результате декомпозиции заданной цели; 3) модификация предыдущей команды с указанием числа уровней поддерева. При получении любой из этих команд активизируется модуль формирования целей. Этот модуль по коду Дьюи, который указывает на местоположение цели в дереве, запрашивает соответствующее сообщение ЛПР у модуля хранения. В полученной записи анализируется поле кода программы декомпозиции. По этому коду определяется та стандартная формулировка, которая используется для формирования данной цели . Если при этом нужны какие-то другие сообщения ЛПР, то они запрашиваются у модуля хранения.

в). Р е ж и м к о р р е к т и р о в о к и и з м е н е н и й

В этом режиме ЛПР может : 1) уничтожить фрагмент ДЦ; 2) провести заново декомпозицию заданной цели; 3) проверить правильность ранее проводившейся декомпозиции.

Для уничтожения фрагмента ДЦ в распоряжении ЛПР имеется команда: стереть заданную цель вместе с подуровнями. При получении этой команды активизируется модуль хранения сообщений ЛПР, который уничтожает заданную информацию.

Есть еще одна команда уничтожения: уничтожить ветвь дерева, начинающуюся с данной цели, оставив саму цель. После нее ЛПР может использовать команду декомпозиции данной цели.

Если ЛПР воспользуется командой декомпозиции данной цели, хотя такая декомпозиция была уже проведена, система заново повторит те вопросы, которые она задавала ЛПР. При этом на каждом шаге выводится ранее полученная информация.

6.7. ПРИМЕР ДИАЛОГА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ДЦ

Рассмотрим первое обращение ЛПР к системе. Естественно, что в справочнике команд ЛПР выберет команду построения ДЦ сначала. Эту команду анализатор сообщений передает модулю логики построения. Данный модуль начинает определение глобальной цели. Первый во - прос к ЛПР: "Как называется ваша организация?" Ответ ЛПР посту - пает через резидентный модуль в анализатор сообщений, который передает его модулю логики построения. Здесь к сообщению ЛПР добавляется код программы определения глобальной цели, и оно пе - редается на хранение.

Если теперь ЛПР введет команду ввода ДЦ, то команда будет передана модулю формирования целей, который последовательно запрашивает у модуля хранения все хранящиеся сообщения, так как таких сообщений всего одно, то и будет сформулирована всего одна глобальная цель следующего вида: "Обеспечить нормальное функционирование и развитие [название исследуемой оргсистемы] ".

Следующие три уровня дерева целей строятся системой автоматически. Единственное участие ЛПР заключается в ответе на вопросы об элементарности декомпозицируемых целей. Одна из полученных при этом целей имеет вид: "Обеспечить эффективную деятельность [название ИС] по удовлетворению потребностей населения". Декомпозиция этой цели производится по составу подсистем ИС. При этом пользователю задается вопрос: "Какие подсистемы [название ИС] производят продукцию для населения?" При получении команды вывода соответствующей цели будет сформулирована следующая стандартная цель: "Обеспечить производство [подсистема ИС] продукции для населения".

Декомпозиция полученных целей производится по составу конеч - ных продуктов. При этом пользователю задается вопрос: "Какие виды продукции производит [подсистема ИС] для населения?" Полученные ответы ЛПР служат основой для построения соответствующих целей. Формулировки этих целей включают в себя списки параметров.

Для выявления параметров пользователю передается требование:

" Напишите на листе бумаги название следующих оргсистем: вышестоящих, подведомственных, систем существенной среды, которые заинтересованы в производстве [наименование КП] ". Следующим сообщением машины будет: "Найдя компромисс между требованиями записанных оргсистем, а также [название ИС] ввести в машину параметры [наименование КП] ". Теперь формулировка описываемой цели будет: "Обеспечить производство [наименование КП] [подсистемы ИС] с параметрами [список параметров данного КП] ".

Приведем также одну из стандартных формулировок цели, имеющую более сложную структуру: "Обеспечить потребности производства [название конечного продукта] на стадии [название стадии этапа: выявление потребности производства или потребления] в наименование средств производства или потребления с параметрами [список параметров данного вида средств производства] ".

6.8. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Программное обеспечение диалоговой системы построения дерева целей состоит из 9 программных модулей(рис.6.3.1).Ниже излагаются функции модулей и основные принципы, лежащие в основе построения.

6.8.1. РЕЗИДЕНТНЫЙ МОДУЛЬ

Резидентный модуль постоянно находится в оперативной памяти ЭВМ (предполагается,что машина работает в мультипрограммном режиме). Этот модуль выполняет следующие функции:

а) обработка команды ЛПР начать работу системы. При получении данной команды резедентный модуль вызывает из библиотеки программ анализатор сообщений ЛПР, и все дальнейшие сообщения пользователя передаются этому модулю;

б) координация процессов получения информации от ЛПР и обработки ее системой. Резидентный модуль управляет заполнением специального буфера информацией пользователя и передает ее порциями анализатору сообщений. На время, когда ЛПР думает или отбивает ответ на клавиатуре, резидентный модуль переходит в состояние

ожидания;

в) обработка команды ЛПР завершить работу в данный сеанс. При получении этой команды резидентный модуль переходит в состояние ожидания до получения команды начала работы системы.

Конкретная реализация данного модуля зависит от используемого терминала и метода доступа.

6.8.2. АНАЛИЗАТОР СООБЩЕНИЙ ЛПР

Данный модуль выполняет приведенные ниже функции.

1. Отделение команд ЛПР от содержательных ответов на вопросы системы.

2. Передача команд и содержательных ответов соответствующим модулям системы.

3. Обработка команд ЛПР:

а) вывести на терминал справочник команд;

б) ввести сообщение ЛПР с перфокарт;

в) ввести сообщение ЛПР с перфоленты.

4. Совместно с резидентным модулем участвует в обработке команд начать и окончить работу диалоговой системы.

5. Выполняет работу по редактированию информации, поступающей от ЛПР. Например, несколько соседних пробелов заменяются одним.

6. Реагирует на ошибки пользователя по написанию команд и содержательных ответов.

Все необходимые записи сообщений системы, а также справочник команд анализатор сообщений получает от модуля хранения записей системы.

6.8.3. МОДУЛЬ ЛОГИКИ ПОСТРОЕНИЯ ДЕРЕВА ЦЕЛЕЙ

Для обеспечения инвариантности диалоговой системы относительно методики построения ДЦ, а также для обеспечения гибкой работы системы при выполнении каждой конкретной методики в системе построения деревьев целей используется внутренний язык – язык построения содержательной модели (ЯПСМ).

ЯПСМ – язык, для изучения которого не требуется ни знания язы-

ков программирования на ЭВМ, ни подробного знания принципов работы описываемой диалоговой системы.

Модуль логики построения есть не что иное, как интерпретатор программ, записанных на ЯПСМ. Каждая из таких программ предназначена для декомпозиции целей, полученных при выполнении какой-то определенной программы на ЯПСМ.

Если получающиеся в результате декомпозиции данной цели подцели однородны, т.е. для их выявления пользователю задаются одни и те же вопросы, а для формулировки используются одни и те же стандартные формулировки, то для декомпозиции данной цели используется только одна программа. Иначе используется несколько программ на ЯПСМ, каждая из них используется для группы однородных подцелей декомпозируемой цели.

Программы на ЯПСМ есть данные для машинных программ. Все программы на ЯПСМ записываются на диск системы в виде строк символов и обрабатываются модулем хранения записей системы точно также, как вопросы к ЛПР и формулировки целей.

Каждая из программ на ЯПСМ включает в себя следующие данные: а) код данной программы на ЯПСМ; б) код той программы, которая используется первой для декомпозиции целей, полученных при выполнении данной программы; в) код программ на усеченном ЯПСМ, которая используется модулем формирования целей для формирования цели, полученной при выполнении данной программы на ЯПСМ; г) совокупность элементарных операторов; д) макрооператоры.

Элементарные операторы ЯПСМ, число которых равно двадцати шести, разбиты на следующие группы:

1) операторы перехода внутри данной программы на ЯПСМ;

2) операторы межпрограммных переходов;

3) операторы получения нужных сообщений ЛПР из готовой части содержательной модели;

4) операторы записи сообщений ЛПР в качестве элементов содержательной модели;

5) операторы формирования выходного сообщения системы;

6) вспомогательные операторы.

Макрооператоры позволяют заменять написание группы элементар-

ных операторов на ЯПСМ выполнением одного макрооператора. Соот - ветствующие макроопределения представляют собой обычно программы на ЯПСМ и хранятся на диске системы.

При поступлении любой из команд ЛПР в модуль логики первой выполняется так называемая постоянная программа на ЯПСМ. При этом реализуются действия, которые присутствуют при декомпозиции любой цели:

- выбирается сообщение ЛПР, предназначенное для декомпозиции. Выборка производится в зависимости от команды, поступившей на вход модуля логики. От этой команды зависит тип запроса к модулю хранения сообщений ЛПР;

- модуль логики передает модулю формирования команду вывода на терминал цели, декомпозируемой в данный момент;

- пользователю задается вопрос об элементарности рассматриваемой цели;

- в зависимости от ответа ЛПР производится переход к выполнению программы на ЯПСМ, начинающей декомпозицию данной цели, или осуществляется переход к декомпозиции следующей цели.

Для определения кода программы декомпозиции модуль логики запрашивает у модуля хранения записей системы ту программу на ЯПСМ, при выполнении которой было получено декомпозируемое сообщение. После этого программа декомпозиции запрашивается у модуля хранения записей системы и интерпретируется.

Все ответы ЛПР на вопросы модуля логики бывают двух типов: а) "да" или "нет"; б) содержательные сообщения. Ответы первого типа используются для организации переходов внутри программы на ЯПСМ. Сам переход осуществляется одним из элементарных операторов - оператором условного перехода.

Содержательные сообщения ЛПР передаются в модуль логики по одному из анализатора сообщений. Элементарные операторы программ на ЯПСМ передают эти сообщения модулю хранения сообщений ЛПР, который записывает их в содержательную модель в качестве элементов или их параметров.

6.8.4. МОДУЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛЕЙ

При построении на основе содержательной модели дерева целей модуль формирования использует программы формирования целей на языке, операторы которого предоставляют некоторое подмножество операторов ЯПСМ. Применение внутреннего языка диалоговой системы позволяет получать при формировании конкретной цели необходимую комбинацию стандартных словосочетаний и содержательных сообщений ЛПР.

Каждая программа модуля формирования на усеченном ЯПСМ включает: а) код данной программы; б) совокупность элементарных операторов.

При получении любой команды модуль формирования целей запрашивает соответствующее содержательное сообщение ЛПР у модуля хранения. У полученного сообщения анализируется код программы на ЯПСМ, при выполнении которой было получено данное содержательное сообщение. Эта программа на ЯПСМ запрашивается у модуля хранения записей системы. Получив эту программу, модуль формирования определяет код программы формирования данной цели, запрашивает ее у модуля хранения записей системы и приступает к ее выполнению.

Последовательно, переходя от одного элементарного оператора на усеченном ЯПСМ к другому, модуль формирования целей выполняет действия, соответствующие этим элементарным операторам. К числу таких действий относятся помещение нужной записи системы в выходное поле модуля, помещение в это поле ранее полученного сообщения ЛПР в нужном падеже, хранения сообщений ЛПР и т.д.

Сформированное выходное поле модуля формирования, куда помещена одна цель с параметрами, передается в зависимости от команды или модулю вывода на терминал или модулю вывода на АПУ.

6.8.5. МОДУЛЬ ХРАНЕНИЯ СООБЩЕНИЙ ЛПР

Кроме команд, названных при описании режима корректировок и изменений, данный модуль выполняет следующие команды ЛПР:

а) уничтожить все параметры данной цели;

б) уничтожить определенный параметр данной цели;

в) к списку параметров данной цели прибавить приводимый спи-

сок параметров;

г) на указанное место среди параметров данной цели записать приводимый параметр.

Модуль хранения сообщений ЛПР выполняет следующие действия по удовлетворению потребностей модуля логики построения ДЦ:

1. Выдает сообщение ЛПР, стоящее первым в очереди сообщений, предназначенных для декомпозиции.

2. Выдает очередное сообщение ЛПР, предназначенное для декомпозиции цели из поддерева, указанной командой пользователя декомпозировать заданную цель.

3. Записывает данное сообщение ЛПР в качестве подцели декомпозируемой цели и одновременно помещает его в очередь для декомпозиции.

4. Записывает данное сообщение ЛПР в качестве параметра указанной цели.

5. Выдает по указанному коду программы на ЯПСМ вышестоящее относительно данной цели сообщение ЛПР.

6. Выдает по коду программы на ЯПСМ и номеру параметра параметр вышестоящего сообщения ЛПР.

Исходя из потребностей модуля формирования целей, модуль хранения сообщений ЛПР выполняет следующие функции:

а) выдает очередное сообщение ЛПР, предназначенное для формирования цели из поддерева, указанного пользователем;

б) выдает очередное сообщение ЛПР, представляющее собой параметр формируемой цели.

Для обеспечения выполнения указанных выше функций и команд в основе построения модуля хранения сообщений ЛПР лежит мультисписочная структура хранимых данных.

6.8.6. МОДУЛЬ СКЛОНЕНИЯ СТРОК СИМВОЛОВ

Данный модуль выполняет склонение исходной строки символов из именительного в родительный или творительный падеж.

При склонении прежде всего выделяется главное слово (сущест-

вительное в именительном падеже) и согласованные с ними прилагательные. Для склонения указанных слов используются грамматические таблицы, причем учитываются основные исключения из правил. Остальные слова переписываются без изменений.

Грамматические таблицы и таблицы исключений хранятся на магнитном диске в виде записей фиксированной длины.

6.8.7. МОДУЛЬ ХРАНЕНИЯ ЗАПИСЕЙ СИСТЕМЫ

Под записями системы понимается информация следующих типов:

- сообщения резидентного модуля и анализатора сообщений пользователю;
- вопросы к ЛПР модуля логики построений ЦЦ;
- программы на ЯПСМ;
- программы на усеченном ЯПСМ;
- постоянные части формулировок целей.

Модуль хранения записей системы выполняет следующие функции:

а) запись записей системы с перфокарт на магнитный диск;

б) корректировка ранее записанных записей;

в) уничтожение записей;

г) выдача записей запрашивающим модулям.

Записи системы хранятся на магнитном диске в виде неблокированных записей переменной длины. Для работы с ними используется прямой метод доступа.

Для ускорения поиска в основном файле используется индексный файл. Индексный файл состоит из неблокированных записей фиксированной длины. Каждая запись состоит из двух полей. В одном поле записан ключ записи системы, а в другом - адрес расположения ее в основном файле.

В основном файле модуля может находиться до 10000 записей.

6.8.8. МОДУЛЬ ВЫВОДА НА ТЕРМИНАЛ

Данный модуль работает в следующих двух режимах:

1) вывод готовой формулировки цели;

2) вывод вопросов и других сообщений системы.

Наличие двух режимов объясняется особенностями вывода ключа цели. При этом необходимы дополнительные операции по редактированию, которые отсутствуют при выводе обыкновенных строк символов.

6.8.9. МОДУЛЬ ПЕЧАТИ НА АЦПУ

Данный модуль предназначен для распечатки готового дерева целей или его фрагментов в удобочитаемом виде.

На вход модуля цели поступают по одной вместе со своими параметрами.

Расположение цели на листинге находится в зависимости от уровня дерева, на котором находится данная цель.

Все описанные программные модули пишутся на языке ПЛ/I, компилируются и помещаются в машинном коде в библиотеку программ.

Применение описанной диалоговой системы обеспечивает следующие преимущества:

а) дерево целей может строить пользователь, не знакомый в деталях с методикой декомпозиции;

б) появляется возможность строить дерево целей большой размерности;

в) ЭВМ в значительной мере освобождает пользователя от координирования усилий многих экспертов;

г) машина освобождает пользователя от выполнения рутинных операций построения стандартных формулировок целей и размещения их в определенной последовательности;

д) внимание ЛПР лучше концентрируется на определенном вопросе, что способствует улучшению качества ответа на него

е) ЛПР получает возможность оперативно корректировать и изменять дерево целей;

ж) машинный способ хранения и выдачи готового дерева освобождает от усилий, затрачиваемых на оформление результата, эти усилия особенно значительны при частых корректировках и изменениях ДЦ.

Вышеуказанную структуру диалоговой системы анализа оргкомплексов следует рассматривать как базовый вариант, ориентированный на дальнейшее развитие по следующим направлениям:

1) в рассмотренном варианте системы весь анализ ведется на уровне содержательных моделей. В дальнейшем предполагается реализовать этап анализа, связанный с переходом на уровень формальных (математических) моделей оргсистем. Очевидно, для этих целей в диалоговую систему необходимо будет включить блоки сетевого планирования, блоки оценивания и ранжирования экспертной информации, блоки стандартных подпрограмм идентификации и оптимизации и многое другое;

2) по мере реализации вышеуказанного развития диалоговой системы будут появляться возможности ее использования для анализа все более широкого класса объектов и, в частности, для анализа технологических процессов. С другой стороны, предполагаемое развитие диалоговой системы анализа позволит перейти к реализации этапа автоматизированного синтеза систем.

ГЛАВА УП. МОДЕЛИ ДЕКОМПОЗИЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

7.I. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ В ДВУХУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЕ

Рассмотрим двухуровневую систему, состоящую из глобального элемента (ГЭ) и нескольких локальных элементов (ЛЭ). Примерами подобных систем являются фирма, включающая несколько предприятий, технологический процесс, состоящий из ряда подпроцессов и т.д. Модели планирования в двухуровневых системах занимают особо важное место в теории иерархического планирования. Это объясняется следующими причинами. Во-первых, любую иерархическую систему часто можно представить как совокупность двухуровневых систем. Во-вторых, двухуровневая система наиболее простая из иерархических систем. Но даже для нее теория планирования развита еще слабо. Например, теоретически доказана сходимость процессов оптимального планирования лишь для частных случаев, представляющих ограниченный интерес.

Планирование для иерархической системы может быть централизованным и иерархическим (декомпозиционным). При централизованном подходе к планированию решается единая для данной системы задача планирования большой размерности, включающая переменные и ограничения всех входящих в данную систему подсистем. Трудности централизованного сбора информации, большая размерность задачи оптимального централизованного планирования приводят к необходимости применения декомпозиционного подхода, а значит, и в определенной степени к децентрализации. При таком подходе решается не единая задача планирования, а целый ряд взаимосвязанных задач, каждая из которых соответствует подсистеме иерархической системы. В результате итерационной процедуры оптимального планирования, которая необходима из-за сложности задачи планирования и наличия нескольких решающих центров, достигается экстремум целевой функции всей системы.

В соответствии с разделом 3.2 будем считать, что математическая модель двухуровневой системы построена, если:

а) сформирован набор ограничений для каждого локального элемента в виде (3.2.4);

б) сформирован набор общих (межподсистемных) ограничений в

виде (3.2.6);

в) выбраны целевые функции каждого локального элемента в виде (3.2.3);

г) выбрана целевая функция глобального элемента (всей системы) в виде (3.2.5).

Для простоты обсуждения моделей декомпозиционного планирования введем новые более конкретные переменные, а также критерии и ограничения, соответствующие операциям а – в .

Пусть функция $x_{ij}(t)$ $(i=\overline{1,n};\ j=\overline{1,N})$ характеризует уровень производства i -го вида продукции в ЛЭ j в зависимости от времени. Функция $b_{kj}(t)$ $(k=\overline{1,m};\ j=\overline{1,N})$ отражает поступление k -го ресурса в ЛЭ j в зависимости от времени. Функцию $b_{kj}(t)$ можно рассматривать как входные потоки j -го ЛЭ, а $x_{ij}(t)$ – как выходные. С учетом введенных обозначений цель двухуровневой системы заключается в достижении экстремума функции g вида (I), характеризующей эффективность ее функционирования:

$$ext\, g[x_{11}(t),\dots,x_{nN}(t),b_{11}(t),\dots,b_{mN}(t)], \qquad (7.1.1)$$

$$\bigcup_{i,j} x_{ij},\ \bigcup_{k,j} b_{kj}$$

$$i=\overline{1,n};\ k=\overline{1,m};\ j=\overline{1,N},$$

при учете ограничений, накладываемых на систему в целом

$$\bar{Z}(t)\subseteq x_{11}(t)\times\dots\times x_{nN}(t)\times b_{11}(t)\times\dots\times b_{mN}(t), \qquad (7.1.2)$$

$$i=\overline{1,n};\ k=\overline{1,m};\ j=\overline{1,N},$$

где $\bar{Z}(t)-(n+m)\cdot N$ – мерная допустимая область изменения локальных выходных и входных функций.

Кроме ограничений для системы в целом, для ЛЭ j $(j=\overline{1,N})$ существуют свои ограничения вида

$$\bar{Z}_j(t)\subseteq x_{1j}(t)\times\dots\times x_{nj}\times b_{1j}(t)\times\dots\times b_{mj}(t), \qquad (7.1.3)$$

$$i=\overline{1,n};\quad k=\overline{1,m},$$

где $\bar{Z}_j(t)-(n+m)$ – мерная область изменения локальных входных и выходных функций ЛЭ j .

При иерархическом подходе к планированию задача (7.1.1 – 7.1.3) разбивается на задачу глобального элемента и задачи локаль-

ных элементов. ЛЭ j $(j = \overline{1,N})$ решает задачу (7.I.3 – 7.I.4)

$$\underset{\bigcup_i x_{ij},\ \bigcup_k b_{kj}}{ext}\,[x_{1j}(t),\dots,x_{nj}(t),\ b_{1j}(t),\dots,b_{mj}(t)], \qquad (7.I.4)$$

$$i=\overline{1,n}\ ;\ k=\overline{1,m},$$

где $g_j\,[x_{1j}(t),\dots,b_{mj}(t)]$ – целевая функция ЛЭ j .

Задача ГЭ заключается в достижении (7.I.I) путем соответствующего воздействия на локальные подзадачи (7.I.3) – (7.I.4) с учетом глобальных ограничений (7.I.2). При этом влияние на подзадачи ГЭ может осуществлять следующими способами: I) заданием формы и параметров функций (7.I.4); 2) заданием локально допустимых областей (7.I.3). В литературе задачу ГЭ часто называют координирующей задачей [23].

В ответ на управляющее воздействие ЛЭ сообщают по каналам обратной связи результаты решения своих задач. С учетом этих решений ГЭ вырабатывает новое управляющее воздействие. Итерационная процедура оптимального планирования заканчивается при достижении (7.I.I), причем локальные входные и выходные целевые функции отвечают как глобальным, так и локальным ограничениям.

Отметим, что смысл ограничений и критериев (7.I.I) – (7.I.4) соответствует смыслу выражений (3.2.5), (3.2.6), (3.2.4), (3.2.3).

7.2. КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ОПТИМАЛЬНОГО ДЕКОМПОЗИЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

На рис. 7.2.I предложена классикация моделей оптимального декомпозиционного (иерархического) планирования.

I. Деление моделей оптимального декомпозиционного планирования на динамические и статические.

I.I. Динамические модели. Задача ГЭ заключается в нахождении (7.I.I) путем соответствующего воздействия на локальные подзадачи (7.I.3) – (7.I.4) с учетом ограничений (7.I.2). Локальные элементы решают задачи типа (7.I.3) – (7.I.4). При этом входные и выходные локальные потоки есть функции от времени. Надо отметить, что динамические модели применяются пока лишь для решения "микроэкономических" проблем [24].

I.2. Статические модели оптимального иерархического планирования.

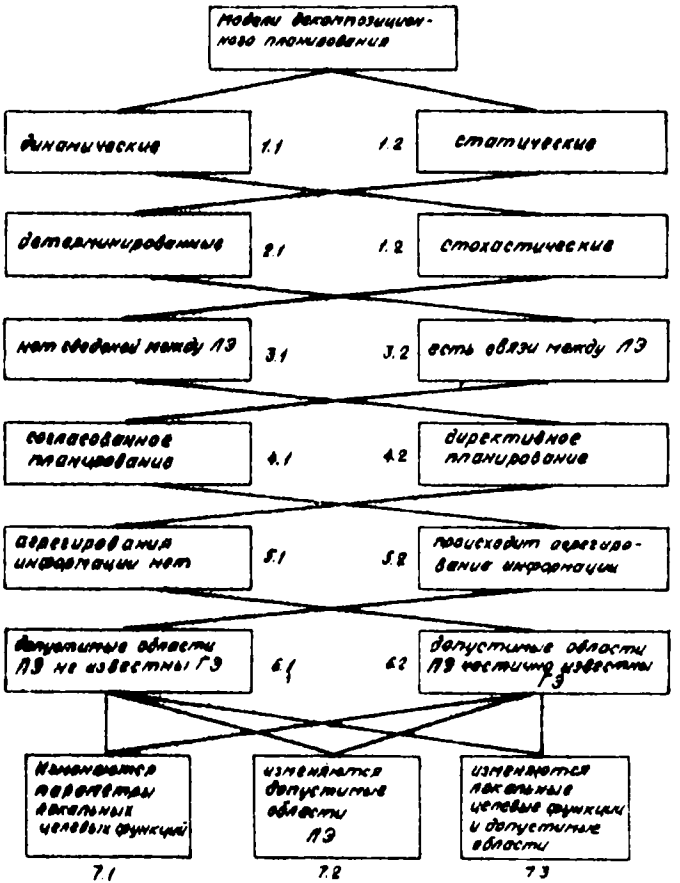


Рис 7.1. Классификация моделей декомпозиционного планирования

В моделях этого вида не учитывается временная зависимость входных и выходных потоков внутри планового периода, а только их суммарные объемы, т.е. используются показатели вида

$$x_{ij} = \int_0^T x_{ij}(t)\,dt, \quad b_{\kappa j} = b_{\kappa nj} + \int_0^T b_{\kappa j}(t)\,dt - b_{\kappa \kappa j}, \qquad (7.2.1)$$

$$i = \overline{1,n}\ ;\ \kappa = \overline{1,m}\ ;\ j = \overline{1,N},$$

где T – длительность планового периода;

$b_{\kappa nj}$ – наличие κ -го ресурса в ЛЭ j на начало планового периода;

$b_{\kappa \kappa j}$ – необходимый остаток κ -го ресурса в ЛЭ j на конец планового периода.

Цель всей системы заключается в достижении

$$ext\, g(x_{11}, \dots, x_{nN}, b_{11}, \dots, b_{mN}), \qquad (7.2.2)$$

$$\bigcup_j x_{ij}, \bigcup_j b_{\kappa j}$$

$$i = \overline{1,n}\ ;\ \kappa = \overline{1,m}\ ;\ j = \overline{1,N},$$

при ограничениях

$$\bar{Z} \subseteq x_{11} \times \dots \times x_{nN} \times b_{11} \times \dots \times b_{mN}, \qquad (7.2.3)$$

$$i = \overline{1,n}\ ;\ \kappa = \overline{1,m}\ ;\ j = \overline{1,N},$$

где $\bar{Z}$ - $(n+m)\cdot N$ – мерное множество допустимых значений

$$x_{ij}, b_{\kappa j}\ (i = \overline{1,n}\ ;\ \kappa = \overline{1,m}\ ;\ j = \overline{1,N}).$$

Задача ЛЭ j $(j = \overline{1,N})$ заключается в нахождении

$$ext\, g_j(x_{1j}, \dots, x_{nj}, b_{1j}, \dots, b_{mj}), \qquad (7.2.4)$$

$$\bigcup_i x_{ij}, \bigcup_\kappa b_{\kappa j}$$

$$i = \overline{1,n}\ ;\ \kappa = \overline{1,m},$$

при ограничениях

$$\bar{Z}_j \subseteq x_{1j} \times \dots \times x_{nj} \times b_{1j} \times \dots \times b_{mj}, \qquad (7.2.5)$$

$$i = \overline{1,n}, \quad \kappa = \overline{1,m},$$

где $\bar{Z}_j$ - $(n+m)$ –мерное множество допустимых значений локальных переменных x_{ij}, $b_{\kappa j}$.

2. Деление моделей оптимального иерархического планирования на детерминированные и стохастические.

2.1. Детерминированная постановка задачи рассмотрена выше.

2.2. Стохастические модели оптимального иерархического планирования.

В них предполагается, что существует множество неопределенностей Ω. Множество Ω иногда называют множеством возмущений, так как оно представляет собой множество всех факторов, которые могут повлиять на результирующие характеристики системы. В самом общем случае все параметры и переменные зависят от множества неопределенностей. Тогда задача ГЭ заключается в поиске

$$ext\, g[x_{11}(\omega),\ldots,x_{nm}(\omega),b_{11}(\omega),\ldots,b_{mN}(\omega)],$$

$$U_{ij}x_{ij}(\omega),\ U_{ij}b_{ij}(\omega)$$

$$i=\overline{1,n};\ \kappa=\overline{1,m};\ j=\overline{1,N};\ \omega=\Omega,$$

с учетом ограничений

$$\overline{Z}(\omega)\subseteq x_{11}(\omega)\times\ldots\times x_{nm}(\omega)\times b_{11}(\omega)\times\ldots\times b_{mN}(\omega),$$

$$i=\overline{1,n};\ \kappa=\overline{1,m};\ j=\overline{1,N};\ \omega\in\Omega.$$

Задача ДЭ j заключается в поиске

$$ext\, g_j[x_{1j}(\omega),\ldots,x_{nj}(\omega),b_{1j}(\omega),\ldots,b_{mj}(\omega)],$$

$$i=\overline{1,n};\ \kappa=\overline{1,m};\ \omega\in\Omega,$$

при ограничениях

$$\overline{Z}_j\subseteq x_{1j}(\omega)\times\ldots\times x_{nj}(\omega)\times b_{1j}(\omega)\times\ldots\times b_{mj}(\omega),$$

$$i=\overline{1,n};\ \kappa=\overline{1,m};\ \omega\in\Omega.$$

Следует отметить, что до сих пор методы решения задач стохастического программирования развиты сравнительно слабо. Отсюда и отсутствие заметных результатов в стохастическом иерархическом планировании.

3. Модели оптимального иерархического планирования разделяются по фактору взаимодействия между ДЭ. Наличие взаимодействия

значительно усложнит задачу планирования.

3.1. Между ЛЭ нет взаимодействий. В этом случае для всех i $(i = \overline{1,n})$ справедливо

$$x_i = \sum_{j=1}^{N} x_{ij},$$

где x_i — i-й выходной продукт всей системы. Таким образом, при отсутствии взаимодействия между ЛЭ все выходные локальные переменные идут исключительно на получение выходных переменных всей системы.

3.2. Между ЛЭ есть взаимодействие. В этом случае выходные переменные x_{ij} одних ЛЭ могут использоваться для образования входных переменных (ресурсов) других ЛЭ, т.е. для некоторых справедливо

$$x_i = \sum_{j=1}^{N} x_{ij} - x_{i\,пот},$$

где $x_{i\,пот}$ – объем потребления продукции i-го вида внутри данной системы. Первая попытка заложить основы строгой теории планирования при взаимодействии между ЛЭ сделана в работе [23].

4. Разделение моделей оптимального иерархического планирования на директивные и согласованные.

4.1. Согласованное планирование. При согласованном планировании окончательный план для всех ЛЭ совпадает с решением соответствующей локальной задачи на последней глобальной итерации, т.е. для всех i, κ, j справедливо

$$x_{ij_0} = x_{ij_{лок}}, \quad b_{\kappa j_0} = b_{\kappa j_{лок}},$$
$$i = \overline{1,n}; \quad \kappa = \overline{1,m}, \quad j = \overline{1,N},$$

где $x_{ij_0}, b_{\kappa j_0}$ – окончательные планы для ЛЭ j $(j = \overline{1,N})$; $x_{ij_{лок}}, b_{\kappa j_{лок}}$ – планы для ЛЭ j $(j = \overline{1,N})$, полученные в результате решения локальной задачи (7.2.4) – (7.2.5) на последней глобальной итерации.

4.2. Директивное планирование. При директивном планировании окончательный план хотя бы для одного ЛЭ j $(j = \overline{1,N})$ не совпадает с решением соответствующей локальной задачи (7.2.4) – (7.2.5) на последней глобальной итерации, то есть существуют i, j, κ, для которых

$$x_{ij_0} \neq x_{ij_{лок}}, \quad b_{\kappa j_0} \neq b_{\kappa j_{лок}}.$$

5. Модели оптимального иерархического планирования делятся по фактору агрегирования информации.

5.1. Агрегирования информации нет. В этом случае ЛЭ $j\ (j=\overline{1,N})$ передает глобальному элементу непосредственные значения локальных переменных x_{ij}, b_{kj}. Примером является метод блочного программирования Данцига-Вулфа [25].

5.2. Происходит агрегирование информации. В этом случае ЛЭ передают ГЭ не непосредственные значения локальных переменных, а их агрегированные (укрупненные) значения

$$X_{sj}\ (s=\overline{1,n'}),\quad B_{rj}\ (r=\overline{1,m'}),\quad j=\overline{1,N}.$$

При этом каждая агрегированная переменная может содержать информацию не об одной, а о нескольких локальных переменных. Обычно агрегированные переменные можно записать в виде

$$X_{sj}=\sum_{i\in I_s} v_{ij}\,x_{ij},\qquad s=\overline{1,n'},$$

$$B_{rj}=\sum_{k\in K_r} \omega_{kj}\,b_{kj},\qquad r=\overline{1,m'};\ j=\overline{1,N},$$

где I_s – множество индексов i таких, что x_{ij} входят в агрегированную переменную X_{sj};

v_{ij} – веса, с которыми x_{ij} входят в X_{sj};

K_r – множество индексов k таких, что b_{kj} входят в агрегированную переменную B_{rj};

ω_{kj} – веса, с которыми в b_{kj} входят в B_{rj}.

Общая теория агрегированных плановых моделей рассматривается в [26].

6. Деление моделей оптимального иерархического планирования на модели, в которых области допустимых решений ЛЭ не известны ГЭ, и на модели, в которых эти области известны частично.

6.1. Области допустимых решений и ЛЭ (7.2.5) неизвестны ГЭ. В этом случае локальные ограничения учитывают только сами ЛЭ.

6.2. Области допустимых решений ЛЭ частично известны ГЭ. В этом случае ГЭ решает свою задачу при наличии дополнительных ограничений

$$\bar{Z}_j' \subseteq x_{1j} \times \ldots \times x_{nj} \times b_{1j} \times \ldots \times b_{mj},$$
$$i=\overline{1,n};\quad k=\overline{1,m};\quad j=\overline{1,N},$$

где $\bar{Z}_j'$ – допустимая область локальных переменных ЛЭ, которая

известна ГЭ. Примером являются алгоритмы аппроксимации [26].

7. Классификация моделей оптимального иерархического планирования по способу воздействия ГЭ на локальные подзадачи.

7.1. Изменяются параметры локальных целевых функций [30], т.е. локальные целевые функции следует записывать в виде

$$g_{ju}(x_j, \dots, x_{nj}, b_{11}, \dots, b_{mj}),$$

$$i = \overline{1,n}; \quad \kappa = \overline{1,m}; \quad j = \overline{1,N},$$

где u - управляющий сигнал от ГЭ.

7.2. Изменяются области допустимых решений ЛЭ,(7.2.5) следует записывать в виде

$$\overline{Z}_{ju} \subseteq x_{ij} \times \dots \times x_{nj} \times b_{ij} \times \dots \times b_{mj},$$

$$i = \overline{1,n}; \quad \kappa = \overline{1,m}; \quad j = \overline{1,N},$$

где u - управляющий сигнал от ГЭ.

7.3. Изменяются параметры локальных целевых функций и области допустимых решений ЛЭ.

По приведенным в класификации моделям можно оказать следующее. В настоящее время строятся лишь преимущественно детерминированные модели оптимального иерархического планирования. Все эти модели удобно разбить на 2 класса. К первому классу относятся методы блочного программирования - метод Данцига-Вульфа [25] Корнай-Липтака [27], а также и некоторые другие схожие с ними методы иерархического планирования. Все эти методы отличаются отсутствием агрегирования и аппроксимации информации. Для многих из них существует строгое теоретическое обоснование сходимости к глобальному оптимуму. Недостатком моделей этого класса является большое число глобальных итераций. Поэтому данные модели используются лишь как средство оптимизации плановых расчетов на уровне ГЭ. При этом, имея локальные модели , ГЭ решает методом оптимального иерархического планирования свою задачу и спускает локальным элементам в централизованном порядке локальные планы.

Ко второму классу относятся модели оптимального иерархического планирования, использующие агрегирование и аппроксимацию информации. Общая теория таких моделей изложена в [26]. Типичным представителем подобных методов является метод многоступенчатой оптимизации [28]. Данный метод является эмпирическим

и требует экспериментальных исследований. Несмотря на подобные свойства, методы этого класса имеют большое практическое значение. Это обусловлено небольшим числом глобальных итераций и использованием существующих на практике потоков информации.

При рассмотрении моделей оптимального иерархического планирования следует особо остановиться на форме локального и глобального критериев. Вопрос о выборе локального критерия рассматривается, например, в [29]. Существует три основные формы локального критерия.

1. Линейный локальный критерий (прибыль). Для ЛЭ j $(j=\overline{1,N})$ критерий в форме прибыли можно записать

$$\sum_{i=1}^{n} c_{ij} z_{ij} \Rightarrow max, \qquad (7.2.6)$$

где z_{ij} – компоненты вектора размерности $\gamma = n+m$, включающего в себя векторы $\{x_{ij}\}$ и $\{b_{ij}\}$; c_{ij} – прибыль (затраты) от производства (потребления) единицы z_{ij}.

Критерий (7.2.6) выражает суммарную прибыль, которую получил ЛЭ j при выполнении плана $\{z_{ij}\}$, $i=\overline{1,\gamma}$. Достоинствами критерия (7.2.6) является простота и ясно выраженное качественное содержание. Однако этот критерий обладает существенными недостатками. Во-первых, итерационные алгоритмы с локальным критерием (7.2.6) обладают весьма медленной сходимостью [29]. Во-вторых, при таком критерии невозможна полная согласованность (баланс) между планами различных ЛЭ [30].

2. Локальный критерий максимума продукции в заданной пропорции.

Для ЛЭ j $(j=\overline{1,N})$ этот критерий записывается в виде

$$\min \frac{x_{ij}}{\kappa_{ij}} \Rightarrow max, \quad i=\overline{1,n}, \qquad (7.2.7)$$

где x_{ij} – уровень производства i-го вида продукции в ЛЭ j;
κ_{ij} – коэффициенты заданной пропорции между x_{ij} $(i=\overline{1,n})$ для ЛЭ j.

Как отмечается в [29], критерий (7.2.7) обеспечивает более быструю увязку локальных планов, чем критерий (7.2.6). Недостатком критерия (7.2.7) является то, что он не учитывает стоимость затрат, которые соответствуют тому или иному плану.

3. Квадратичный локальный критерий. Среди квадратичных локальных критериев широкое применение получил критерий вида

$$\sum_{i=1}^{\bar{r}} [C_{ij} Z_{ij} + \frac{1}{2} \beta_{ij} (Z_{ij})^2] \Rightarrow max, \qquad (7.2.8)$$

где $C_{ij}, \beta_{ij} (i=\overline{1,\bar{r}})$ - постоянные для данной глобальной итерации коэффициенты (цены). В [29] утверждается, что локальный критерий (7.2.8) создает возможность достижения глобального оптимума за сравнительно малое число глобальных итераций. Недостатком критерия (7.2.8) является его относительная сложность.

Основные формы глобальных критериев для двухуровневой системы те же, что и для локальных элементов, так как данная система является локальным элементом для вышестоящей системы.

Далее предлагаются два алгоритма оптимального планирования в двухуровневой иерархической системе.

7.3. МОДЕЛЬ МАКСИМИЗАЦИИ ОБЪЕМА ВЫПУСКА ПРОДУКЦИИ

Пусть имеется двухуровневая иерархическая система, состоящая из одного глобального элемента (ГЭ) и N локальных элементов (ЛЭ).

Выберем глобальную целевую функцию всей системы в виде максимума продукции в желательной пропорции

$$\left(\min_i \frac{x_i}{\kappa_i} \right) \Rightarrow max, \quad i=\overline{1,n}, \qquad (7.3.1)$$

где x_i - уровень производства i-го вида продукции всей системы;

κ_i - составляющие вектора желательных пропорций между выходными переменными всей системы x_i.

Величина x_i определяется суммой локальных выходных переменных

$$x_i = \sum_{j=1}^{N} x_{ij}, \quad i=\overline{1,N}, \qquad (7.3.2)$$

где x_{ij} - уровень производства i-го вида продукции j-м ЛЭ.

Предполагается, что выходные переменные j-го ЛЭ связаны линейными ограничениями

$$\sum_{i=1}^{n} a_{\kappa ij}\, x_{ij} \leq b_{\kappa j}\ ,\quad \kappa = \overline{1,m}\ , \tag{7.3.3}$$

где $b_{\kappa j}$ – объем ресурса κ -го вида в j – м ЛЭ;
$a_{\kappa ij}$ – величина затрат κ -го ресурса на производство i -го вида продукции в j – м ЛЭ.

Целевая функция j -го ЛЭ линейна относительно произведенной продукции и имеет вид прибыли

$$\sum_{i=1}^{n} c_{ij}\, x_{ij} \Rightarrow max\ ,\ j = \overline{1,N}\ , \tag{7.3.4}$$

где c_{ij} – коэффициент, характеризующий доход от производства единицы i -го вида продукции j – м ЛЭ.

Будем предполагать, что ГЭ может изменять коэффициенты в интересах максимизации глобальной целевой функции. Увеличивая коэффициент c_{ij} в линейной целевой функции для ЛЭ j , можно добиться увеличения уровня производства i -го вида продукции в ЛЭ j .

Предполагается итеративный алгоритм решения задачи (7.3.1) – – (7.3.4). Для достижения глобального оптимума цели ЛЭ– в на t – й глобальной итерации выражается в виде

$$\sum_{i=1}^{n} c_{ij}^{t}\, x_{ij}^{t} \Rightarrow max\ ,\ j = \overline{1,N}\ . \tag{7.3.5}$$

Сам алгоритм можно представить в виде следующей последовательности шагов 1-5.

ШАГ 1. ЛЭ решают задачи оптимизации (7.3.3), (7.3.5) при первоначальных коэффициентах c_{ij}^{0} и передают найденные оптимальные планы $\bar{x}_j^t = \{x_{1j}^t, \ldots, x_{nj}^t\}$, $j = \overline{1,N}$ ГЭ.

ШАГ 2. ГЭ определяет по (7.3.2) величины x_i^t и вычисляет отношения

$$f_i = \frac{x_i^t}{\kappa_i}\ ,\quad i = \overline{1,n}\ . \tag{7.3.6}$$

По минимальному значению f_i $(i = \overline{1,n})$ ГЭ фиксирует соответствующий индекс $i = S$ и сообщает его ЛЭ- м.

ШАГ 3. ЛЭ увеличивают коэффициенты c_{ij}^{t} до первой смены локальных оптимальных планов и сообщают ГЭ полученные оптимальные планы $\bar{x}_j^t$.

ШАГ 4. ГЭ определяет по (7.3.2) величины x_i^t. На множествах локальных планов $\{x_{ij}^t\}$ и $\{\bar{x}_{ij}^t\}$, $i=\overline{1,n}$; $j=\overline{1,N}$, ГЭ определяет наилучший в смысле критерия (7.3.1) план всей системы x_i^{t+1}, $i=\overline{1,n}$, который считается планом $t+1$ итерации.

Обозначим через $\bar{x}_j^{t+1}$, $j=\overline{1,N}$ оптимальные планы ЛЭ, соответствующие x_i^{t+1}, $i=\overline{1,n}$.

ШАГ 5. ГЭ проверяет условие увеличения на $t+1$ итерации целевой функции (7.3.1). Если произошло увеличение целевой функции, то осуществляется переход к шагу 2. В противном случае работа алгоритма заканчивается.

Данный алгоритм гарантирует увеличение глобальной целевой функции на каждой итерации и сходится за конечное число итераций.

Экспериментальное исследование работы алгоритма на ЭВМ показало хорошую скорость сходимости. Так, например, исследовалась двухуровневая система с параметрами $N = 5$, $n = 5$, $m = 5$.

При первоначально заданных коэффициентах $c_{ij}^0 = \kappa_i$ решение задачи (7.3.1) – (7.3.5) достигалось за 2-3 глобальные итерации в зависимости от коэффициентов a_{ij}.

Далее эти же задачи решались в произвольными c_{ij}^0, резко отличающимися друг от друга (в десятки и сотни раз). Это сказалось на результатах решения задачи: решение достигалось за 3-4 глобальные итерации. Однако значения целевых функций в первом и втором случаях отличались не более чем на 3-5%.

Практическое применение предложенного алгоритма выходит за рамки решения задачи (7.3.1) – (7.3.5).

Рассмотрим задачу иерархического планирования в двухуровневой системе при наличии взаимодействия между ЛЭ.

Пусть продукт x_ℓ идет на производство x_i. Тогда коэффициент пропорциональности κ_ℓ определяется по формуле

$$\kappa_\ell = \sum_{i \in I_\ell} \kappa_i \cdot b_{\ell i}, \qquad (7.3.6)$$

где $b_{\ell i}$ – количество продукции x_ℓ, идущей на производство единицы продукции x_i.

Уровень производства всей системы в случае взаимодействия от-

ределяется уровнем производства продукта, для которого отношение (7.3.6) минимально.

Разработанный алгоритм также можно использовать для решения следующей задачи. Пусть цель всей системы состоит в обеспечении производства продукции x_i, $i=\overline{1,n}$ не ниже заданного уровня, т.е. для всей системы задаются ограничения

$$x_i \geq x_{imin}, \quad i=\overline{1,n}. \tag{7.3.7}$$

В этом случае целевая функция ГЭ имеет вид

$$\min_i \left(\frac{x_i - x_{imin}}{x_{imin}} \right) \Rightarrow max, \quad i=\overline{1,n} \tag{7.3.8}$$

Суть алгоритма решения задачи с критерием (7.3.8) остается та же за исключением шага 4. На шаге 4 вычисляется значение (7.3.8) вместо (7.3.1).

Если потери при нарушении неравенства (7.3.7) зависят от i, то следует ввести веса d_i и вместо (7.3.8) взять целевую функцию вида

$$\min_i \left(d_i \frac{x_i - x_{imin}}{x_{imin}} \right) \Rightarrow max, \quad i=\overline{1,n}.$$

7.4. МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ПО КРИТЕРИЮ ПРИБЫЛИ

Предлагаемый алгоритм [32] распределения ресурсов отличается от метода, описанного в [30], тем, что на каждой итерации распределяется всего лишь один ресурс. Это привело к сокращению информации, обрабатываемой на каждой глобальной итерации.

Имеется двухуровневая система с критерием в виде прибыли

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{N} c_{ij} x_{ij} \Rightarrow max, \tag{7.4.1}$$

где x_{ij} – объем производства i-го вида продукции в ЛЭ j;

c_{ij} – прибыль, полученная от продажи единицы

$$x_{ij} \quad (i=\overline{1,n}; \; j=\overline{1,N}).$$

Задача ЛЭ j состоит в достижении

$$\sum_{i=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \Rightarrow max \tag{7.4.2}$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^{n} a_{\kappa ij}\, x_{ij} \le b_{\kappa j}\,;\; x_{ij} \ge 0,\; \kappa = \overline{1,m};\; i = \overline{1,n}, \quad (7.4.3)$$

где $b_{\kappa j}$ – объем κ -го ресурса в ЛЭ j $(j = \overline{1,N})$;

$a_{\kappa ij}$ – затраты κ -го ресурса на производство единицы x_{ij}.

Локальные единицы должны удовлетворять условию

$$\sum_{j=1}^{N} b_{\kappa j} \le B_{\kappa}\,, \quad \kappa = \overline{1,m}\,, \quad (7.4.4)$$

где B_{κ} – объем κ -го ресурса во всей системе.

Задачей ГЭ является такое распределение ресурсов между ЛЭ, которое удовлетворяет (7.4.4) и обеспечивает (7.4.1).

Предлагаемый алгоритм можно представить в виде следующей последовательности шагов:

ШАГ 1. Производится первоначальное распределение ресурсов, удовлетворяющее (7.4.4).

ШАГ 2. При данном распределении ресурсов ЛЭ j $(j = \overline{1,N})$ решает задачу (7.4.5) – (7.4.6), двойственную задаче (7.4.2) – (7.4.3):

$$\sum_{\kappa=1}^{m} b_{\kappa j}^{t}\, y_{\kappa j} \Rightarrow \min\,, \quad (7.4.5)$$

где t – номер глобальной итерации при ограничениях

$$\sum_{\kappa=1}^{m} a_{\kappa ij}\, y_{\kappa j} \ge c_{ij}\,, \quad y_{\kappa j} \ge 0;\; i = \overline{1,n};\; j = \overline{1,N}. \quad (7.4.6)$$

Получившиеся в результате решения этой задачи переменные $y_{\kappa j}^{t}$ $(\kappa = \overline{1,m};\; j = \overline{1,N})$, где t – номер глобальной итерации, есть оценки ресурсов. Оценка $y_{\kappa j}$ показывает, на сколько уменьшится (увеличится) локальная целевая функция (7.4.2) при увеличении (уменьшении) κ -го ресурса в ЛЭ j на единицу при условии оптимальности прежнего базиса.

ШАГ 3. ГЭ определяет величину вида

$$\max_{\kappa} \frac{\max y_{\kappa j}^{t} - \min y_{\kappa j}^{t}}{\bar{y}_{\kappa}^{t}}\,; \quad \bar{y}_{\kappa}^{t} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} y_{\kappa j}\,, \quad (7.4.7)$$

где $\bar{y}_{\kappa}^{t}$ – средняя оценка κ -го ресурса на t -й итерации. Значение $\kappa = s$, которое обеспечивает (7.4.7), ГЭ сообщает ЛЭ.

ШАГ 4. Если $y_{sj}^{t} \ge \bar{y}_{s}^{t}$, ЛЭ j $(j = \overline{1,N})$ увеличивает коэффициент b_{sj}^{t} в целевой функции (7.4.5) до второй смены оптимального плана двойственной задачи.

При этом изменение локальной прибыли ΔC_j^t есть вогнутая функция от изменения S -го ресурса Δb_{sj}^t (рис.7.4.I).

Если $y_{ij}^t < \bar{y}_i^t$, ЛЭ j уменьшает b_{sj}^t в (7.4.5) до второй смены оптимального плана в задаче (7.4.5) - (7.4.6). При этом изменение локальной прибыли ΔC_j^t есть также вогнутая функция от Δb_{sj}^t (рис. 7.4.2). Выбор числа смен локального оптимального плана, равным двум, объясняется желанием увеличить суммарную прибыль на данной итерации при условии, что большое число смен локальных базисов нерационально из-за увеличения размерности задачи ГЭ на шаге 5.

ШАГ 5. На основе информации, полученной от локальных элементов $(\Delta b_{sj}^{1t}, \Delta b_{sj}^{2t}, \Delta C_j^{1t}, \Delta C_j^{2t})$, ГЭ производит перераспределения ресурсов. При этом ГЭ решает задачу сепарабельного программирования (7.4.8) - (7.4.9)

$$\sum_{j=1}^{N} \Delta C_j^t (\Delta b_{sj}^t) \Rightarrow max \qquad (7.4.8)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^{N} \Delta b_{sj}^t \le 0, \quad 0 \le |b_{sj}^t| \le |\Delta b_{sj}^{2t}|, \quad j = \overline{1,N}. \qquad (7.4.9)$$

Ограничение (7.4.9) гарантирует выполнение ограничения (7.4.4).

Так как функции $\Delta C_j^t (\Delta b_{sj}^t)$ вогнутые, задачу (7.4.8) - (7.4.9) можно преобразовать в задачу линейного программирования. Для этого вводятся переменные $\omega_{0j}, \omega_{1j}, \omega_{2j}$ такие, что $\sum_{i=0}^{2} \omega_{ij} = 1$, $j = \overline{1,N}$.

Задача (7.4.8) - (7.4.9) преобразуется в задачу линейного программирования (7.4.I0) - (7.4.I2)

$$\sum_{j=1}^{N} (\Delta C_j^{1t} \omega_{1j} + \Delta C_j^{2t} \omega_{2j}) \Rightarrow max \qquad (7.4.10)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^{N} (\Delta b_{sj}^{1t} \omega_{1j} + \Delta b_{sj}^{2t} \omega_{2j}) \le 0; \qquad (7.4.11)$$

$$\sum_{i=0}^{2} \omega_{ij} = 1, \quad j = \overline{1,N}. \qquad (7.4.12)$$

Блочная структура ограничений (7.4.I2) позволяет применять для решения задачи метод блочного программирования Данцига-Вульфа. Решив задачу, ГЭ определяет локальные изменения S -го ресурса

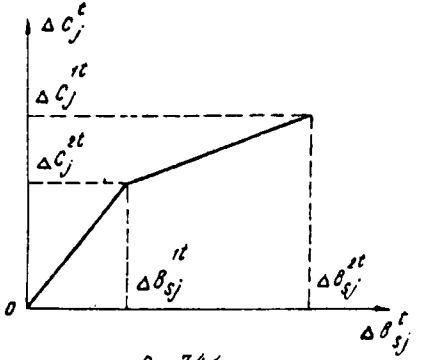


Рис 7.4.1

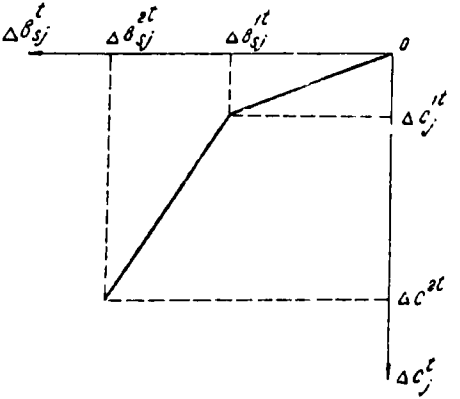


Рис 7.4.2

$$\Delta b_{sj}^{t} = \Delta b_{sj}^{1t}\omega_{1j} + \Delta b_{sj}^{2t}\omega_{2j}.$$

Полученные Δb_{sj}^{t} ГЭ передает ЛЭ. Если $\Delta c^{t} > \delta$, где Δc^{t} – оптимальное значение целевой функции (7.4.10), δ – небольшое наперед заданное положительное число, то осуществляется переход к шагу 2. В противном случае работа алгоритма заканчивается.

Применение данного алгоритма гарантирует на каждой итерации монотонное возрастание критерия (7.4.1). Другие свойства алгоритма – близость конечного решения к оптимальному, скорость сходимости – нуждаются в экспериментальном изучении.

Литература

I. Основы системного подхода и их приложение к разработке территориальной автоматизированной системы управления/ Гладких Б.А., Лиханов В.М. и др.- Томск: Изд-во ТГУ, 1976.-244 с.

2. Сагатовский В.Н. Основы систематизации всеобщих категорий.- Томск: Изд-во ТГУ, 1973,-431 с.

3. Крайзмер Л.П. Кибернетика.-М.: Экономика, 1977.-279 с.

4. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем.-М.: Сов.радио, 1973.-439 с.

5. Холл А. Опыт метологии для системотехники.-М.: Сов.радио, 1975.- 447 с.

6. Математика и кибернетика в экономике: Словарь-справочник. 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Экономика, 1975.- 700 с.

7. Плискин Л.Г. Оптимизация непрерывного производства.- М.: Энергия, 1975.- 336 с.

8. Системное проектирование АСУ хозяйством области / под общ. ред. Ф.И.Перегудова.- М.: Статистика, 1977.- 159 с.

9. Одиноков В.В., Силич В.А., Тарасенко В.П. Диалоговая система построения дерева целей организационных систем и принципов ее программной реализации.- В кн.: Системы управления и их элементы. Томск, Изд-во ТГУ, 1980, с. 26-52.

IO. Рубан А.И. Классификация работ по идентификации.- В кн.: Системы управления. Томск, Изд-во ТГУ, 1978, вып. 3, с. 61-70.

II. Силич В.А., Тарасенко В.П. Методологические основы разработки математических моделей организационных систем.- В кн.: Системы управления. Томск, Изд-во ТГУ, 1978, вып. 3,с. 5-37.

I2. Перегудов Ф.И., Силич В.А., Фридлер А.А. Методика проектирования генеральной схемы управления хозяйством области.- В кн.: Опыт создания территориальных АСУ. Томск, Изд-во ТГУ, 1979, с. 3-10.

I3. Алексеев В.М., Коринфский А.М., Полонников Р.И., Тарасенко В.П. Экстремальная радионавигация.- М.: Наука, 1978.- 279 с.

I4. Грунин Н.А., Ольшевский В.В. Акустическая модель океана.-

Труды / Акустический институт АН СССР / Акустические статистические модели океана. - М.; 1977, с. 3-11.

15. Мидлтон Д., Ольшевский В.В. Современные проблемы построения акустических статистических моделей океана. - Труды / Акустический институт АН СССР / Акустические статистические модели океана.- М., 1977, с. 86-90.
16. Цвиркун А.Д. Структура сложных систем.- М.: Сов.радио, 1975. - 199 с.
17. Коваленко Ю.Н. Научные основы территориальной организации промышленных комплексов.- Киев: Будивельник, 1977.- 175 с.
18. Миркин Б.Г., Родин С.Н. Графы и гены.- М.: Наука, 1977.- 237 с.
19. Мингутов И.С. Управление предприятием и инженер.- Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1977.- 203 с.
20. Одиноков В.В., Силич В.А., Тарасенко В.П., Набанова Б.Г. Основные требования к диалоговой системе анализа оргсистем. - В кн.: Системы управления. Томск, Изд-во ТГУ, 1978, вып.3, с. 38-50.
21. Одиноков В.В., Силич В.А., Тарасенко В.П. Структура диалоговой системы анализа оргсистем.- В кн.: Системы управления. Томск, Изд-во ТГУ, 1978, вып.3, с. 51-60.
22. Одиноков В.В. Разработка диалоговой системы построения деревьев целей организационных комплексов.- Дис. ... канд. техн. наук.- Томск, 1981.- 205 с.
23. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем.- М.: Мир, 1973.- 344 с.
24. Вагнер Г. Основы исследования операций.- М.: Мир, 1973, т. 2.- 488 с.
25. Данциг Дж. Линейное программирование, его применения и обобщения.- М.: Прогресс, 1966.- 600 с.
26. Мартинес-Солер Ф., Черняк В.И. Моделирование плановых расчетов.- М.: Экономика, 1974.- 175 с.
27. Применение математики в экономических исследованиях / под ред. акад. В.С. Немчинова.- М.: Мысль, 1965.- 495 с.
28. Пугачев В.Ф., Мартинов Г.В., Медницкий В.Г., Литвин А.К. Многоступенчатая оптимизация с локальным критерием общего вида.- Экономика и математические методы.- М., 1972, т. 8, № 5, с. 835-849.

29. Пугачев В.Ф., Картынов Г.В., Медницкий В.Г., Пителин А.К. Многоступенчатая оптимизация с конкретными формами локального критерия.- Экономика и математические методы, М., 1973, т.9, № 2, с. 204-217.

30. Аганбегян А.Г. Система моделей народно-хозяйственного планирования. -М.: Мысль, 1972.- 351 с.

31. Силич В.А., Одиноков В.В. Решение задачи линейного оптимального планирования в двухуровневой иерархической системе.- В кн.: Кибернетика и вуз. Томск, Изд-во ТГУ, 1974, вып. 8, с. 146-149.

32. Силич В.А., Одиноков В.В. Некоторые вопросы иерархического планирования.- В кн.: Кибернетика и вуз. Томск, Изд-во ТГУ, 1975, вып. 9, с. 32-46.

Виктор Алексеевич Силич

Декомпозиционные алгоритмы построения моделей сложных систем

Редактор К.Г. Шилько

ИБ 786. Подписано к печати 21.I.82 КЗ – 02012
Формат 60x84 I/I6, бумага типографская № 3. П.л. 8,5;
уч.-изд. л. 7,26; усл. п.л. 7,9. Заказ 501 Тираж 500
Цена Iр. IOк.

Издательство ТГУ. 634010. Томск, пр. Ленина, 36
Ротапринт ТИАСУРа. 634050. Томск, пр. Ленина, 40