

Тема 5. Иерархия систем

5.1. Понятие иерархия систем. Основные закономерности иерархической упорядоченности систем

Мир, в котором мы живем, представляет собой большую и сложную систему, состоящую из бесконечного множества различных сложных и простых систем. Причем простые системы формируют сложные системы, которые формируют более сложные системы и т. д. Возникает иерархия систем, в которой системы высоких уровней организации формируются на системах более низких уровней организации. Система, являющаяся элементом данной системы, называется подсистемой данной системы. Система, элементом которой является данная система, называется надсистемой данной системы. Например, процессор является надсистемой для его микросхем и других элементов, но подсистемой для компьютера.

Иерархия (от греч. hieros — священный, arche — власть) — расположение частей или элементов системы в порядке от низшего к высшему, с возрастающим значением и уменьшающимся числом элементов.

По утверждению А. А. Богданова, «организационные методы едины для всех областей», то есть законы организации систем низшего уровня в системы высшего уровня едины для любого перехода. Из этого следует, что общая теория систем – наука о правилах перехода с уровня на уровень, а естественные науки поставляют информацию о характере систем своего уровня.

Если множество элементов объединено в систему по определенному признаку, то всегда можно ввести некоторые дополнительные признаки для разделения этого множества на подмножества, выделяя тем самым из системы ее составные части – подсистемы. Возможность многократного деления системы на подсистемы приводит к тому, что любая система содержит ряд подсистем, полученных выделением из исходной системы. В свою очередь, эти подсистемы состоят из более мелких подсистем и т. д. Подсистемы, полученные выделением из одной исходной системы, относят к подсистемам одного уровня или ранга. При дальнейшем делении получим подсистемы более низкого уровня. Такое деление называют иерархией (деление должностей на высшие и низшие, порядок подчинения низших по должности лиц высшим и т.п.) Одну и ту же систему можно делить на подсистемы по-разному – это зависит от выбранных правил объединения элементов в подсистемы. Существует набор правил, который обеспечивает наиболее эффективное деление систем для достижения основной цели при их исследовании.

Правила разбиения системы на подсистемы:

- каждая подсистема должна реализовать единственную функцию системы;
- выделенная в подсистему функция должна быть легко понимаема независимо от сложности ее реализации;
- связь между подсистемами должна вводиться только при наличии связи между соответствующими функциями системы;

- связи между подсистемами должны быть простыми (насколько это возможно);

- число уровней, число подсистем каждого уровня может быть различным, но подсистемы, непосредственно входящие в одну систему более высокого уровня, действуя совместно, должны выполнять все функции той системы, в которую они входят.

Понятие иерархической структуры. Иерархическая структура — многоуровневая форма организации объектов со строгой соотнесенностью объектов нижнего уровня определенному объекту верхнего уровня. Иерархическая структура организации систем используется в различных областях:

- 1) в науке, как метод классификации (например, классификация биологических видов);
- 2) в социальных институтах, соответствует принципу подчиненности нижних уровней верхним (У подчиненного может быть только один руководитель);
- 3) при проектировании и эксплуатации технических объектов, соответствует «детализовке» разбиению крупных объектов на более мелкие;
- 4) в планировании, как метод детализации планов;
- 5) в программировании, как метод порождения от общего предка объектов, обладающих все более детализированными признаками.

Основные закономерности иерархической упорядоченности систем

Коммуникативность, эта закономерность составляет основу определения системы, где система не изолирована от других систем, она связана множеством коммуникаций со средой. Такое сложное единство со средой названо закономерностью коммуникативности. В силу закономерности коммуникативности, которая проявляется не только между выделенной системой и ее окружением, но и между уровнями иерархии исследуемой системы, каждый уровень иерархической упорядоченности имеет сложные взаимоотношения с вышестоящим и нижележащим уровнями.

Иерархичность. Элементы системы находятся в различных отношениях между собой и место каждого из них является местом на иерархической лестнице системы. Закономерности иерархичности или иерархической упорядоченности были в числе первых закономерностей теории систем, которые выделил и исследовал Л. фон. Бергаланфи. Необходимо учитывать не только внешнюю структурную сторону иерархии, но и функциональные взаимоотношения между уровнями.

Важнейшая особенность иерархической упорядоченности как закономерности заключается в том, что эмерджентность (т.е. качественные изменения свойств компонентов более высокого уровня по сравнению с объединяемыми компонентами нижележащего) проявляется в ней на каждом уровне иерархии. При этом объединение элементов в каждом узле иерархической структуры приводит не только к появлению новых свойств у узла и утрате объединяемыми компонентами свободы проявления некоторых своих свойств, но и к тому, что каждый подчиненный член иерархии приобретает новые свойства, отсутствовавшие у него в изолированном состоянии.

Принципиально то, что законы низкоорганизованных систем определяют законы высокоорганизованных, но не наоборот. Например, законы распределения радиоволн (квантов

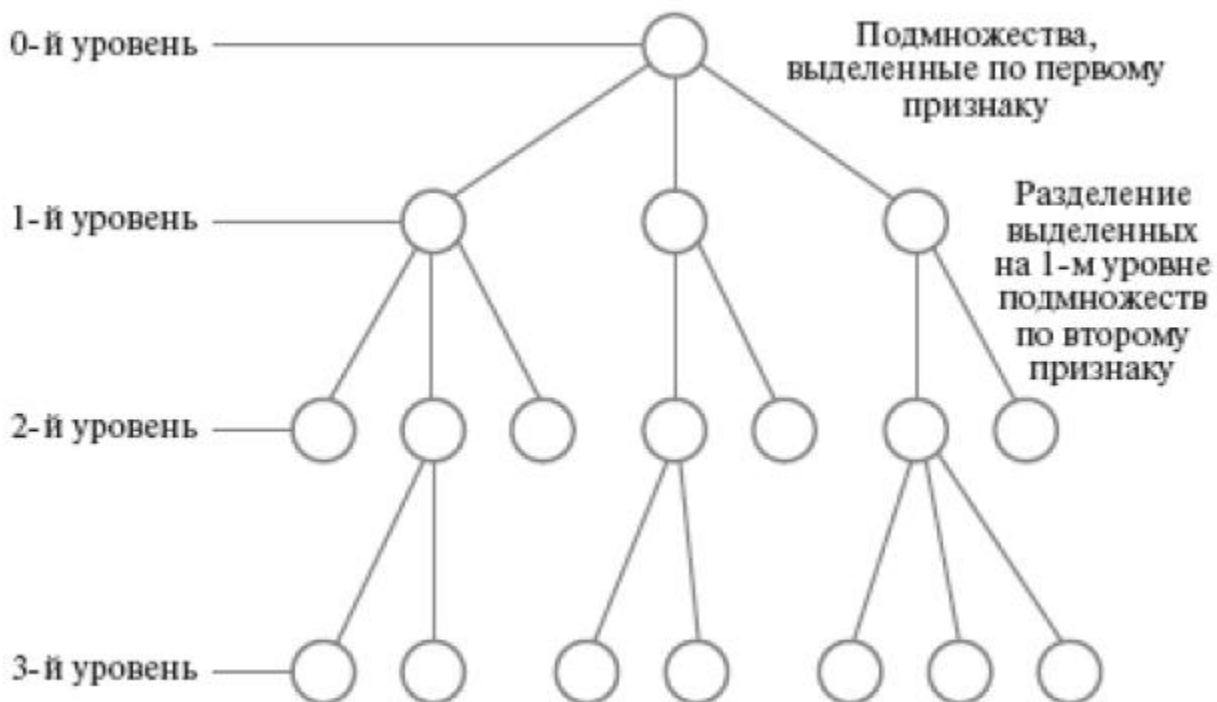
электромагнитного поля) влияют на функционирование общества, а общество никак не может изменить законы распространения радиоволн. Кроме того, все противоречия, существующие на низших уровнях (если они не сняты более высокими уровнями), будут влиять и на систему высокого уровня. Более того, система более высокого уровня будет добавлять свои противоречия. В многоуровневой системе определить противоречия низких уровней, проявляющиеся на высоких уровнях, довольно сложно.

5.2. Иерархия целей.

В основе любой системы, в том и при создании новых или усовершенствовании существующих систем, лежит понятие цели.

Всякая система может выполнять несколько целей, из которых только одна является основной (главной), ради которой она и существует, остальные являются вспомогательными, сопутствующими. Для достижения главной цели необходимо решить ряд более мелких подцелей, для которых большая система содержит ряд подсистем различной степени сложности, от минимальной до максимально возможной сложности.

Иерархичность – это различие между целями системы и целями её элементов (подсистем), которые являются для неё подцелями. Причём, системы более высокого порядка ставят цели перед системами более низкого порядка. Таким образом, цель высшего порядка подразделяется на ряд подцелей (целей более низкого порядка). Иерархия целей определяет иерархию систем.



Определение главной цели иногда вызывает затруднение. Это объясняется множественностью требований, предъявляемых к данной системе со стороны выше и ниже лежащих систем, а также соседних, внешних и прочих систем.

Главная цель системы является суммой целей её подсистем. Главная цель определяет систему, а подцели – подсистемы. Для выполнения главной цели строится система, состоящая из подсистем, каждая из которых должна выполнять соответствующие подцели, выполнение которых должно дать необходимый соответствующий результат действия. Таким образом, строится иерархия подсистем, которую называют иерархической лестницей. Число подсистем в

системе равно числу подзадач (подцелей), на которые разбивается главная цель. Пример структурной схемы системной иерархии управления представлен на рис. 5.1.

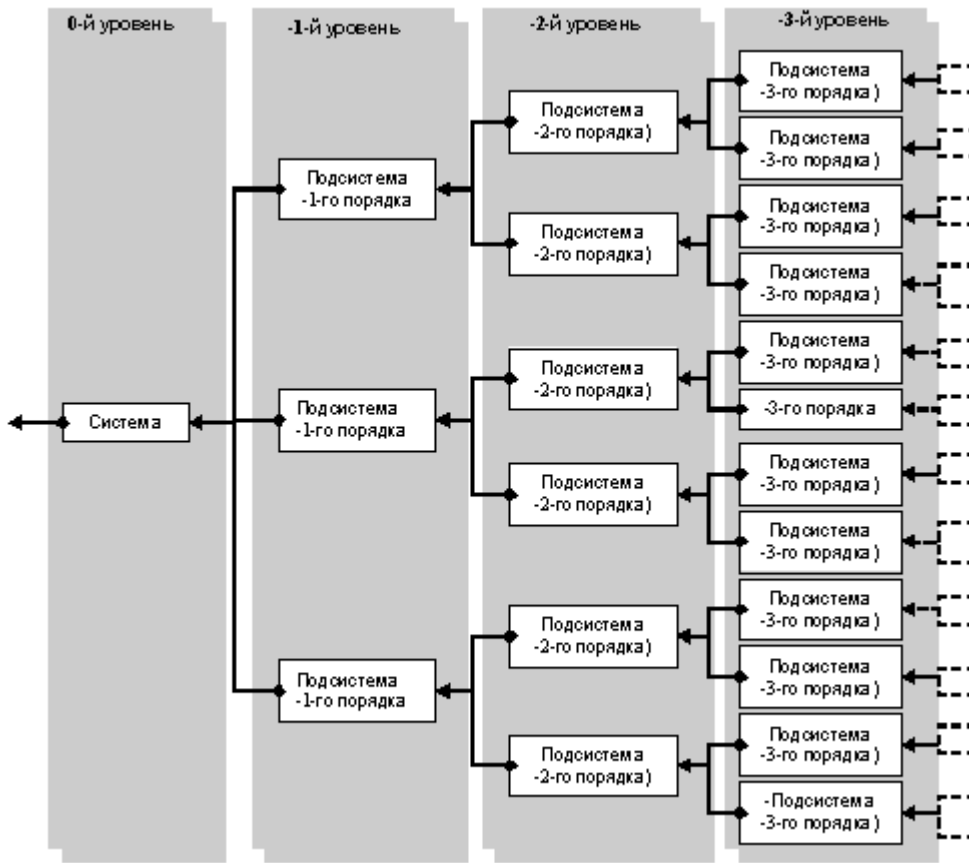


Рис.5.1. Структурная схема системной иерархии управления

Иерархической лестница - это структурированный иерархический перечень целей организации, в котором цели более низкого уровня подчинены и служат для достижения целей более высокого уровня.

Следовательно, иерархическая лестница систем строится на основе иерархии целей. Целевые действия систем выполняют её элементы исполнения, но для управления их целевого взаимодействия необходимо взаимодействие блока управления самой системы и блоков управления её подсистем. Поэтому иерархическая лестница систем – это, по сути, иерархическая лестница блоков управления систем. Эта лестница строится по принципу пирамиды. Наверху один начальник (блок управления всей системы), под ним несколько его конкретных подчинённых (блоки управления подсистем системы), под каждым из них их конкретные подчинённые (блоки управления, нижестоящих подсистем) и т.д. На каждом уровне иерархии существуют собственные блоки управления, регулирующие функции соответствующих подсистем.

Иерархические отношения между блоками управления различных уровней строятся на подчинённости блоков низшего ранга, высшим. Т.е., блок управления высокого уровня задаёт установку блокам управления более низкого уровня. удалить

Иерархическая система управления. Управляющая система всегда находится на верхней ступени иерархии, другая управляемая, ниже на одну ступень иерархии. У управляемой системы, в свою очередь есть свои подсистемы на ещё более низкой ступени иерархии с их блоками управления и с их входами установки. Таким образом, система состоит из подсистем, но и сама

она может входить в качестве подсистемы в состав другой системы, стоящей на более высокой ступени системной иерархии. Число иерархических ступеней может быть любым. Для систем управления деление системы возможно до тех пор, пока полученная при очередном делении подсистема не перестает выполнять функции управления. С этой точки зрения системой управления низшего иерархического уровня являются такие подсистемы, которые осуществляют непосредственное управление конкретными орудиями труда, механизмами, устройствами или технологическими процессами. Система управления любого другого уровня, кроме низшего, всегда осуществляет управление технологическими процессами не непосредственно, а через подсистемы промежуточных, более низких уровней. От подсистем, расположенных на более высоком уровне, идет поток управляющих воздействий, а информация о текущем состоянии объекта управления более низкого уровня поступает подсистемам более высокого уровня. Рассматривая своеобразное «дерево» управления, можно отметить, что преимущество иерархической структуры управления состоит в том, что решение задач управления возможно на базе локальных решений, применяемых на соответствующих уровнях иерархии управления.

Иерархические системы в крупных автоматизированных комплексах. Развитие электронно-вычислительной техники, системного анализа, методов исследования операций, различных методов моделирования и теории автоматического управления позволили решить ряд проблем связанных с управлением сложными техническими объектами и крупными производственными комплексами.

Примерами решения подобных задач могут служить автоматизированные системы управления (АСУ) рядом крупных химических производств, энергетических и металлургических комплексов и т. д.

Первоочередные задачи АСУ:

- разработка прогнозов и программ развития производственного комплекса, а также долгосрочное планирование производства по всему комплексу предприятий;
- среднесрочное и краткосрочное технико-экономическое планирование;
- оперативное управление производственным комплексом, задачи учета, контроля и анализа выполнения планов и результатов производственно – хозяйственной деятельности по предприятиям и организациям комплекса; планирование и управление снабжением предприятий отрасли и сбытом готовой продукции;
- планирование и управление капитальным строительством и реконструкцией действующих предприятий;
- планирование и управление исследованиями и разработками (НИР и ОКР), а также всем комплексом мероприятий по научно- техническому прогрессу по предприятиям комплекса.

Важнейшие вопросы АСУ крупных производственных комплексов:

- выбор эффективных организационных структур;
- распределение внутри организационных структур и между ними прав и обязанностей;
- координация и руководство их системной деятельностью.

Система управления в своих действиях обладает значительной автономией. Она может принять

решения по таким вопросам: когда следует заказать дополнительное производимой продукции в связи с возрастанием брака; не находится ли в переработке излишнее количество исходных материала и если да, то можно ли использовать его для выполнения других заказов. Весь производственный комплекс действует как адаптивная система с автоматически меняющимся производственным графиком и может даже отвергнуть некоторые заявки, если их выполнение потребовало бы нежелательной перестройки всего хода производственного процесса.

5.3. Основные характеристики многоуровневых иерархических систем

Иерархическая организация структуры систем возможна только в многоуровневых системах и заключается в упорядочении взаимодействий между уровнями в порядке от высшего к нижнему. Каждый уровень выступает как управляющий по отношению ко всем нижележащим и как управляемый, подчиненный, по отношению к вышележащему. Каждый уровень специализируется также на выполнении определенной цели. Абсолютно жестких иерархий не бывает, часть систем нижних уровней обладает меньшей или большей автономией по отношению к вышележащим уровням. В пределах уровня отношения элементов равны между собой, взаимно дополняют друг друга, им присущи черты самоорганизации (закладываются при формировании структуры).

Возникновение и развитие иерархических структур не случайно, так как это единственный путь эффективного функционирования больших и сложных систем.

В простых системах иерархия не требуется, так как взаимодействие осуществляется по непосредственным связям между элементами. В сложных системах непосредственные взаимодействия между всеми элементами невозможны (требуется слишком много связей), поэтому непосредственные контакты сохраняются лишь между элементами одного уровня, а связи между уровнями резко сокращаются. Типичный вид иерархической системы представлен на рис. 5.2



Рис.5.2. Типичный вид иерархической системы

Основные характеристики иерархических систем.

1) Двойственность свойств элементов в системе - элемент одновременно обладает индивидуальными и системными свойствами.

Входя в систему, элемент теряет свое исходное свойство. Системное свойство как бы изменяет собственные свойства элементов. Но полностью это не происходит никогда. Химические соединения имеют системные физико-химические свойства, но также и сохраняют свойства входящих в них элементов. На этом основаны все методы анализа состава соединений (спектральный, химический, рентгеновский и т. д.). Чем сложнее иерархическая структура (организация) системы, тем выше ее индивидуальные качества, тем четче они выступают в надсистеме, тем менее она связана с другими элементами (системами) надсистемы. На более низких уровнях происходит упрощение элементов. В результате этого вещи утрачивают свою

самобытность, конкретную индивидуальность, становятся безразличными к своей вещественной индивидуальной форме.

Утрата индивидуальности - это цена, «заплаченная» элементами за приобретенную ими способность выражать отдельные стороны системных связей в иерархии (человек на производстве не субъект, не неповторимая индивидуальность, не творец своих обстоятельств, он функция, объект, вещь, которая выполняет взятые на себя или возложенные на него обязанности).

2) Приоритет действий или право вмешательства подсистем верхнего уровня - основной порядок иерархии (аналог в обществе: единоначалие, авторитарное руководство).

На деятельность подсистемы любого уровня непосредственное и явно выраженное воздействие оказывают вышерасположенные уровни, чаще всего ближайший старший уровень. Это воздействие носит для нижележащих уровней обязывающий характер и в нем находит свое выражение приоритет действий и целей более высоких уровней. В дальнейшем мы это воздействие на более низкие уровни будем называть вмешательством. В системах с детерминированным алгоритмом выполнения вмешательство обычно проявляется в виде изменения параметров подсистем нижележащего уровня. В системах с недетерминированным алгоритмом выполнения, приоритет действий задает последовательный порядок получения решений на разных уровнях; обычно проблема (или алгоритм получения решения) на нижележащем уровне не определяется в окончательном виде до тех пор, пока не решена проблема на вышележащем уровне. Чтобы подчеркнуть значение приоритета в установлении порядка действий, их называют элементами верхнего и нижнего уровней соответственно вышестоящими и нижестоящими.

3) Взаимозависимость действий. Успешность действия системы в целом и фактически элементов любого уровня зависит от поведения всех элементов системы. Успешность работы верхнего уровня зависит не только от осуществляемых им действий, но и от соответствующих реакций нижних уровней, точнее от их суммарного эффекта. Поэтому можно считать, что качество работы всей системы обеспечивается обратной связью, т. е. реакциями на вмешательство, информация о которых направляется снизу вверх.

4) Выделение полезных функций на уровнях иерархии. Правильно организованная иерархическая структура выделяет на каждом этаже полезную функцию, эти функции складываются (взаимоусиливаются) на следующем этаже; при этом вредные функции на каждом этаже подавляются или, по крайней мере, к ним не добавляются новые.

Чем выше уровень иерархии, тем мягче структура, менее жесткие связи между элементами, легче переставлять их и заменять. На нижних уровнях более жесткая иерархия и связи; структура строго определена требованием выполнения главной цели. Нельзя, например, поставить в тепловой трубе фитиль снаружи корпуса, параметры работы фитиля и его структура жестко заданы; на верхних же этажах, где функция - перераспределение теплоты, рециркуляция, регулирование и пр., возможны самые радикальные перестановки.

5.4. Виды иерархии систем.

При анализе процесса управления ввиду сложности объекта осуществляют его деление на части по различным признакам. Одним из главных признаков является вид иерархии. Характерны следующие виды иерархии: временная, пространственная, функциональная, ситуационная и информационная.

Временная иерархия. Признаком деления здесь является интервал времени от момента

поступления информации о состоянии объекта управления до момента выдачи управляющего воздействия. Чем больше интервал, тем выше уровень (ранг) элемента. Управление может осуществляться в реальном времени с интервалом, равным суткам, декаде, месяцу, кварталу и т.д. Причем управляющий интервал выбирается не произвольно, а исходя из критериев, определяющих устойчивость и эффективность функционирования всей системы.

Пространственная иерархия. Признаком деления здесь является площадь, занимаемая объектом управления. Чем больше площадь объекта, тем выше его ранг. Данный признак является субъективным, так как не всегда площадь, занимаемая объектом, соответствует ее значимости, и ее можно использовать в случае аналогичности параметров элементов одного уровня.

Функциональная иерархия. В ее основе лежит функциональная зависимость (подчиненность) элементов системы. Каждая система может выполнять несколько функций, из которых только одна рабочая, ради которой она и существует, остальные - вспомогательные, сопутствующие, облегчающие выполнение главной.

Пример: иерархия функций кирпича. Главная полезная функция (ГПФ)-1 отдельного кирпича: держать свою форму, не разваливаться, иметь определенный вес, структуру, твердость. Требование со стороны соседних систем (других кирпичей и раствора в будущей стене): иметь прямоугольные грани, схватываться с раствором.

ГПФ-2 стены: нести себя, быть вертикальной, не деформироваться при изменении температуры, влажности, нагрузки, ограждать что-то, нести нагрузку от чего-то. Кирпич должен соответствовать части требований ГПФ 2.

ГПФ-3 дома: должен создавать определенные условия для внутренней среды, защиту от атмосферных воздействий, иметь определенный внешний вид. Кирпич должен выполнять часть и этих требований.

ГПФ-4 города: определенный архитектурный облик, климатические и национальные особенности и т.д.

Кроме того, требование и к самому кирпичу постоянно увеличивается: он не должен впитывать грунтовую влагу, должен иметь хорошие теплоизоляционные свойства, звукопоглощающие свойства, быть радиопрозрачным и т.п.

Так вот, ГПФ данной системы - это выполнение требований первой вышестоящей системы. Все остальные требования, по мере удаления иерархического уровня, от которого они исходят, оказывают все меньшее влияние на данную систему. Эти над и подсистемные требования могут быть выполнены и другими веществами и системами, не обязательно данной системой. Например, свойство прочности кирпича может быть достигнуто различными добавками в исходную массу, а свойство эстетичности приклеиванием декоративной плитки на готовую стенку; для ГПФ кирпича (выполнять «требования» стены) это безразлично.

То есть, ГПФ элемента определяется системой, в которую он включается. Тот же кирпич может быть включен во множество других систем, где его ГПФ будет совершенно непохожей (а то и противоположной) приведенной выше.

Ситуационная иерархия. Деление на уровни в данном случае осуществляется в зависимости от эффекта, вызываемого той или иной ситуацией, например, от ущерба, возникающего в результате аварии или выхода из строя оборудования.

Информационная иерархия. В настоящее время этот вид иерархии является очень существенным

в связи с возросшим значением информации для управления. В основе деления на уровни лежит оперативность и обновляемость информации. Именно через эти характеристики прослеживается иерархия информации по уровням управления предприятием.

Основные уровни иерархии информации. Важным аспектом информации является ее главенствующая роль в процессе управления. Круг объектов управления чрезвычайно широк и разнообразен: экономика, территория, социальная сфера, производство, научный эксперимент, образование и др. На нижнем уровне хранится и обрабатывается повторяющаяся, часто обновляющаяся информация, необходимая для повседневной деятельности, т.е. для оперативного управления. Следующий уровень составляет информация более обобщенная, чем оперативная, и используемая не так часто. Информация группируется по функциональным областям и применяется для поддержки принятия решения по управлению производством. На верхнем уровне хранится и обрабатывается стратегическая информация для долгосрочного планирования. Для нее характерны высокая степень обобщенности, неповторяемость, непредсказуемость и редкое использование.

5.5. Понятия уровней иерархических систем. Страта. Слой. Эшелон.

Имеется три понятия уровней иерархических систем:

- а) уровень описания, или абстрагирования;
- б) уровень сложности принимаемого решения;
- в) организационный уровень.

Для их различия введены следующие термины: «страта», «слой» и «эшелон». При описании реальных иерархических систем, как правило, используются одновременно все три понятия.

Страты. Уровни описания или абстрагирования. Сложную систему почти невозможно описать полно и детально, что по существу вытекает уже из определения такой системы. Основная дилемма состоит в нахождении компромисса между простотой описания, что является одной из предпосылок понимания, и необходимостью учета многочисленных поведенческих (т.е. типа вход — выход) характеристик сложной системы. Разрешение этой дилеммы ищется в иерархическом описании. Система задается семейством моделей, каждая из которых описывает поведение системы с точки зрения различных уровней абстрагирования. Для каждого уровня существует ряд характерных особенностей и переменных, законов и принципов, с помощью которых и описывается поведение системы. Чтобы такое иерархическое описание было эффективным, необходима как можно большая независимость моделей для различных уровней системы. Чтобы отличить эту концепцию иерархии от других, используют термин стратифицированная система, или стратифицированное описание. Уровни абстрагирования, включающие стратифицированное описание, называют стратами. На каждой страте в иерархии структур имеется свой собственный набор переменных, которые позволяют в значительной степени ограничить изучение только одной стратой. Независимость страт открывает возможность для более глубокого и детального изучения поведения системы. Однако, предположение о полной независимости страт было бы неоправданным, поэтому пренебрежение их взаимной зависимостью может привести лишь к неполному пониманию поведения системы в целом. В самом деле, ограничение, скажем, только биологическим исследованием системы «человек» уже само по себе означает изоляцию, ибо совершенно очевидно, что рассматриваемая система может быть описана также, с одной стороны, на страте химии или физики, а с другой — на страте экологии или социологии. Для иллюстрации приведем пример созданной человеком системы, требующей стратифицированного описания (см. рис.5.3.)

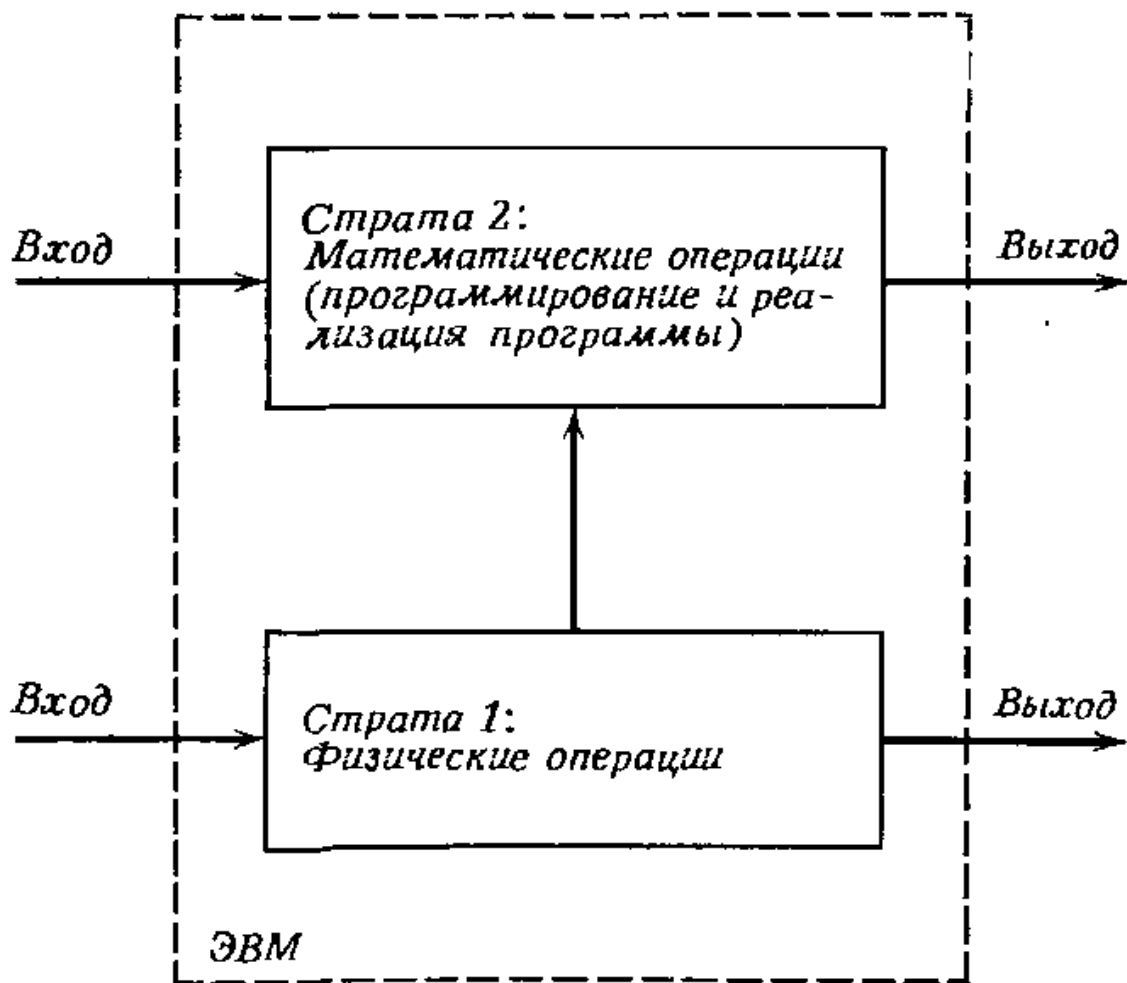


Рис.5.3. Модель электронной вычислительной машины

Рассмотрим представленную модель электронной вычислительной машины. Ее функционирование обычно описывается не менее чем на двух стратах. На первой страте система описывается на языке физических законов, управляющих работой и взаимодействием ее составных частей, в то время как на второй страте мы имеем дело с абстрактными понятиями, такими, как двоичные разряды или информационные потоки.

Общие характеристики стратифицированного описания систем.

1. Выбор страт, в терминах которых описывается данная система, зависит от наблюдателя, его знания и заинтересованности в деятельности системы, хотя для многих систем некоторые страты, кажутся естественными, внутренне им присущими.

В общем случае стратификация неразрывно связана с интерпретацией производимых системой действий. Контекст, в котором рассматривается и применяется система, определяет, какую страту выбрать как основную и даже, более того, какие страты вообще будут использоваться. Однако почти всегда существуют некоторые страты, хотя и присущие системе, но не представляющие интереса.

2. Аспекты описания функционирования системы на различных стратах в общем случае не связаны между собой, поэтому принципы и законы, используемые для характеристики системы на любой страте, в общем случае не могут быть выведены из принципов, используемых на других стратах. Принципы выполнения расчетов или программирования нельзя вывести из

физических законов, лежащих в основе работы ЭВМ на нижней страте, и наоборот.

3. Существует асимметричная зависимость между условиями функционирования системы на различных стратах. Требования, предъявляемые к работе системы на любой страте, выступают как условия или ограничения деятельности на нижестоящих стратах. Это находится в соответствии с постулированным приоритетом действия.

4. На каждой страте имеется свой собственный набор терминов, концепций и принципов. То, что является объектом рассмотрения на данной страте, более подробно раскрывается на нижерасположенной страте; элемент становится набором; подсистема на данной страте является системой для нижележащей страты.

5. Понимание системы возрастает при последовательном переходе от одной страты к другой: чем ниже мы спускаемся по иерархии, тем более детальным становится раскрытие системы, чем выше мы, поднимаемся, тем яснее становится смысл и значение всей системы. Объяснение назначения системы с помощью элементов той же самой страты по существу есть лишь сжатое описание системы, а для правильного понимания функционирования системы необходимо ее описание с привлечением элементов нижележащих, т. е. более детализированных страт.

Подводя итоги, можно сказать, что для правильного понимания сложной системы фундаментальную роль играет иерархический подход (стратифицированные модели). Вначале можно ограничиться, скажем, одной стратой, в зависимости от интересующей нас задачи и имеющегося запаса знаний, а затем можем либо детализировать свои знания, двигаясь вниз по иерархии, либо добиться более глубокого понимания системы, двигаясь вверх по иерархии. Выбор исходной страты отчасти определяется также простотой описания на ней.

Слои. Уровни сложности принимаемого решения. Другое понятие иерархии относится к процессам принятия сложных решений. Почти в любой реальной ситуации принятия решения существуют две предельно простые, но чрезвычайно важные особенности.

1) Когда приходит время принимать решения, принятие и выполнение решения нельзя откладывать; любая отсрочка просто означает, что не найдено такого нового или изменения старого действия, которое было бы предпочтительнее других альтернатив.

2) Неясность относительно последствий различных альтернативных действий и отсутствие достаточных знаний об имеющихся связях препятствуют достаточно полному формализованному описанию ситуации, необходимому для рационального выбора действий.

Эти два фактора приводят к основной дилемме принятия решения: с одной стороны, необходимо действовать немедленно, с другой же - столь же необходимо, прежде чем приступить к действиям, попытаться лучше понять ситуацию. При принятии решения в сложных ситуациях разрешение этой дилеммы ищут в иерархическом подходе. Определяют семейство проблем, которые пытаются разрешить последовательным путем в том смысле, что решение любой проблемы из этой последовательности определяет и фиксирует какие-то параметры в следующей проблеме, так что, последняя становится полностью определенной и можно приступить к ее решению. Решение первоначальной проблемы достигнуто, как только решены все подпроблемы. Пример такого разбиения показан на рис.5.4.

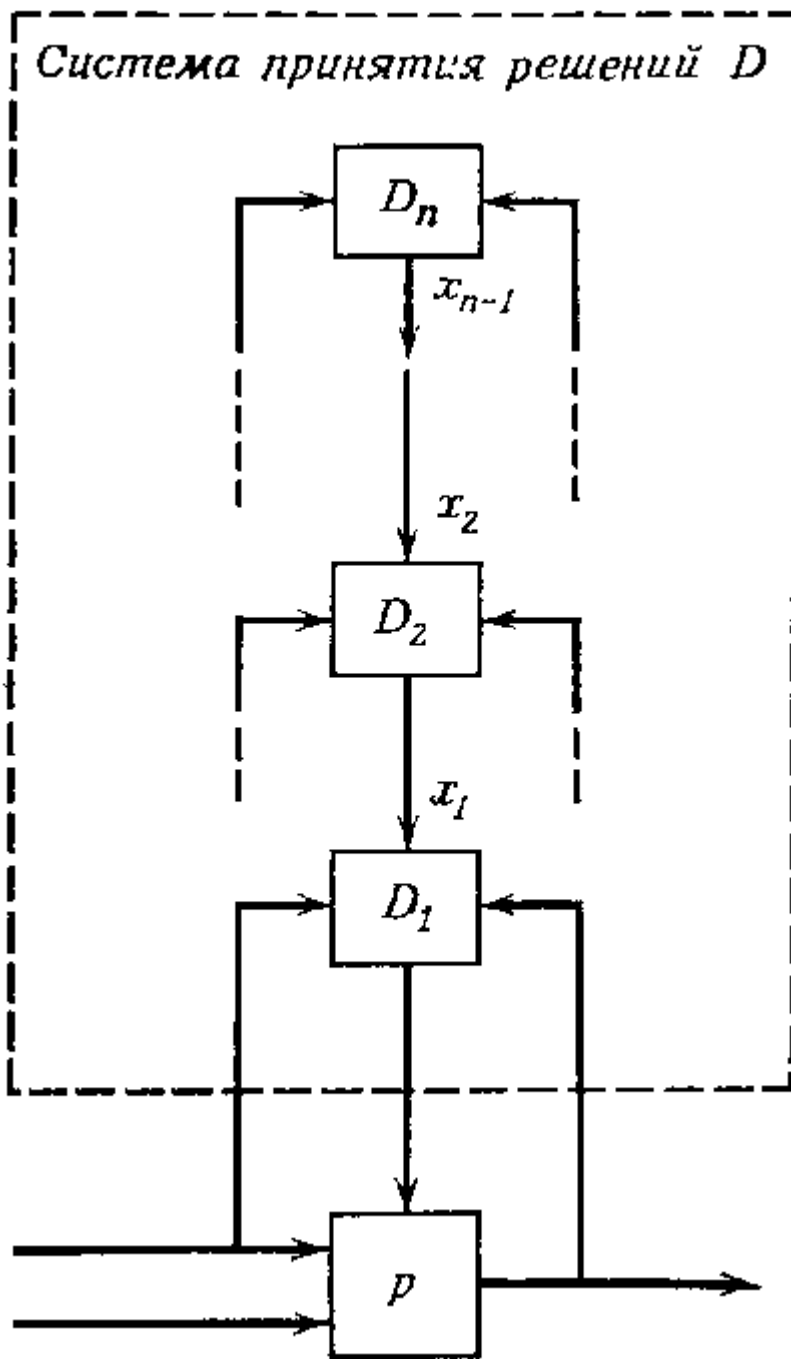


Рис.5.4. Многослойная иерархия системы принятия решения

Каждый блок здесь представляет собой принимающий решение элемент. Выход элемента (например, D_2) есть решение или последовательность решений задачи, зависящей от параметра, фиксируемого входом x_2 . Этот вход в свою очередь является выходом принимающего решение элемента более высокого уровня. Таким образом, сложная проблема принятия решения разбивается на семейство последовательно расположенных более простых подпроблем, так что решение всех подпроблем позволяет решить и исходную проблему. Такую иерархию мы будем называть иерархией слоев принятия решений, а всю систему принятия решений - многослойной системой (принятия решений). Примером такой иерархии применительно к системам автоматизации является функциональная иерархия управления, возникающая естественным образом при принятии решений в условиях полной определенности.

Указанная иерархия состоит из трех слоев:

- слоя выбора, предназначенного для выбора способа действия на основе внешних данных и управления вышестоящих слоев;
- слоя общения (адаптации), конкретизирующего множество неопределенностей, с которыми имеет дело слой выбора;
- слоя самоорганизации, который выбирает структуру, функции и стратегии, используемые на нижестоящих слоях, таким образом, чтобы по возможности приблизиться к глобальной цели системы.

Примеры многослойной системы принятия решений легко найти в повседневной жизни. Действительно, личные цели, как правило, весьма расплывчаты и должны еще быть преобразованы в подцели, которые в свою очередь создадут основу для выбора конкретного образа действий. Например, личная цель может заключаться в достижении «счастья» или некоторого уровня удовлетворения, но эту расплывчатую цель еще надо преобразовать в конкретные подцели, ведущие к определенным действиям. Цель надо выбирать так, чтобы ее можно было развернуть в подцели; очень часто лишь после достижения подцелей появляется возможность оценить, приблизились ли мы к первоначальной цели.

Многоэшелонные системы. Многоуровневая организационная иерархия. Это понятие иерархии подразумевает, что:

- 1) система состоит из семейства четко выделенных взаимодействующих подсистем;
- 2) некоторые из подсистем являются принимающими решения (решающими) элементами;
- 3) принимающие решения элементы располагаются иерархически в том смысле, что некоторые из них находятся под влиянием или управляются другими решающими элементами.

Особенностью описания многоэшелонной (организационной) иерархии является необходимость более точного определения взаимодействия подсистем по вертикали. В иерархии, составленной из страт или слоев, на каждом уровне формально находится один элемент. В эшелонной же иерархии на данном уровне, как правило, располагается несколько элементов. В этом случае становится особенно важным правильное взаимное расположение элементов системы в соответствии с приоритетом действия. Пример построения многоэшелонной системы представлен на рис.5.5.



Рис.5.5. Многоуровневая организационная иерархия; многоэшелонная система.

Уровень в такой системе называется эшелон, а системы многоэшелонными, многоуровневыми или многоцелевыми.

Для эффективного использования многоуровневой структуры существенно, чтобы элементам принятия решения была предоставлена некоторая свобода действий. Должно быть проведено рациональное распределение усилий по принятию решений между элементами различных уровней. Только при этом условии будет оправдано само существование такой иерархии.

По характеру иерархического расположения образующих систему элементов можно указать следующие категории систем принятия решений:

- а) одноуровневые одноцелевые системы;
- б) одноуровневые многоцелевые системы;
- в) многоуровневые многоцелевые системы.

В первом случае цель определяется для всей системы и все переменные выбираются так, чтобы обеспечить достижение этой цели. Технически решение проблемы принятия решения, удовлетворяющее данной цели, может быть очень сложным, так как задача многомерная и может возникнуть необходимость в использовании, как методов оптимизации, так и прогнозирования. И все же следует подчеркнуть концептуальную простоту одноуровневых одноцелевых систем,

особенно - отсутствие конфликтов внутри таких систем.

Система, принадлежащая к классу одноуровневых многоцелевых систем, состоит из принимающих решения элементов, имеющих свои собственные цели. Эти цели не обязательно конфликтны; некоторые из элементов, обладающих правом принятия решений, могут образовывать коалиции. Конфликт между принимающими решения элементами может произойти; тогда он может быть разрешен только путем вмешательства более высокого уровня. Класс многоуровневых многоцелевых систем характеризуется наличием иерархических отношений между принимающими решения элементами этой системы. Существование какого-то высшего командного элемента — принципиальная отличительная особенность таких систем;

Связь между различными понятиями уровня. Следует четко определить, какое понятие уровня используется при описании иерархической системы, так как три введенных выше понятия, имеют каждое свою область применения, а именно: концепция страт введена для целей моделирования, концепция слоев — для вертикальной декомпозиции решаемой проблемы на подпроблемы, концепция же эшелонов относится к взаимной связи между образующими систему элементами принятия решения. Предположим, что мы строим многоэшелонную (организационного типа) систему. Первая возникающая проблема - распределение задач или ролей, которые должны выполняться различными уровнями или отдельными элементами системы. Отправной точкой является задача, которую эта система по предположению должна выполнять. При этом используются иерархические концепции страты и слоя. С одной стороны, происходит стратификация модели всей системы, а с другой - совершается декомпозиция стоящей перед системой задачи на слои. Задания элементам, образующим систему, в этом случае определяют по отношению к моделям и решаемым проблемам, появляющимся на соответствующей страте или слое.

Общие черты, относящихся к задачам и функциям подсистем.

1. Элемент верхнего уровня имеет дело с более крупными подсистемами или с более широкими аспектами поведения системы в целом. При многоэшелонной иерархии элемент верхнего уровня является "командным" по отношению к двум или более элементам, и принимаемое им решение координирует их действия в соответствии с целью, определенной для совокупности всех подчиненных ему элементов.

Для концепции слоев это следует из ответственности элементов верхнего уровня за поведение системы в течение более длительных промежутков времени.

Для концепции страт: система на любом уровне образуется из подсистем нижних уровней, и, следовательно, более высокая страта имеет дело с более общим аспектом поведения всей системы.

2. Период принятия решения для элемента верхнего уровня больше, чем для элементов нижних уровней. Для концепций слоя и страты это очевидно. Однако это утверждение остается верным и для концепции эшелона. А именно: управляющие воздействия, исходящие от вышестоящего элемента, не могут следовать чаще воздействий, подаваемых нижестоящими элементами, поведение которых он координирует; в противном случае он не сможет оценивать достигаемый эффект (координации).

Описания и проблемы на верхних уровнях менее структурированы, содержат больше неопределенностей и более трудны для количественной формализации. Для любого уровня существует специфический набор средств, для решения соответствующих задач. В многослойной иерархии у каждого слоя существует свой собственный набор методов и алгоритмов. Задачи верхнего слоя не удается поставить так, чтобы они имели простое численное решение. Поэтому

на практике обычно прибегают к «вмешательству в критических ситуациях», т. е. оценивают общую характеристику и вносят структурные изменения лишь в случае, когда характеристики ухудшаются до такой степени, что изменение становится необходимым.

Преимущества иерархических систем управления (ИСУ).

ИСУ нашли широкое применение в практике исследования систем автоматизированного управления. Очевидным недостатком моделирования многоуровневых систем является сложность формализации ее поведения и выработки управленческих решений. Однако сама природа показывает практическую целесообразность разработки таких систем на примерах эволюции человеческого общества. Основными преимуществами ИСУ по сравнению с более простыми системами управления являются следующие:

- свобода локальных действий (в течение интервала времени, обусловленного моментами поступления управляющих воздействий со стороны вышестоящего уровня);
- возможность целесообразно сочетать различные для каждого из уровней системы локальные критерии оптимальности и глобальный критерий оптимальности системы в целом;
- отсутствие необходимости пропускать очень большие потоки информации через один управляющий орган, так как при использовании ИСУ информация с нижнего уровня передается на верхний в обобщенном виде;

повышенная надежность ИСУ и большие возможности введения элементной избыточности в систему на необходимом уровне управления;

- гибкость и адаптивность ИСУ;
- универсальность при решении однотипных в целом, но отличающихся в деталях проблем управления;
- экономическая целесообразность (за счет лучшего использования имеющихся ресурсов) при решении крупномасштабных задач.

5. 6. Зависимость и координируемость между уровнями и элементами

Одной из существенно иерархических задач, касающейся связей в многоуровневой системе, является координация

Рассмотрим двухуровневую систему принятия решений, имеющую только один вышестоящий (координирующий) элемент и n подчиненных ему (нижестоящих) элементов, согласно работе]. Такая система представляет специфический интерес для теории многоуровневых систем по следующим причинам: а) это простейший тип систем, в котором проявляются все наиболее существенные характеристики многоуровневой системы; б) более сложные многоуровневые системы могут быть построены из двухуровневых подсистем, как из модулей. Итак, мы будем исследовать взаимоотношения между уровнями на примере двухуровневой системы (рис.5.6).

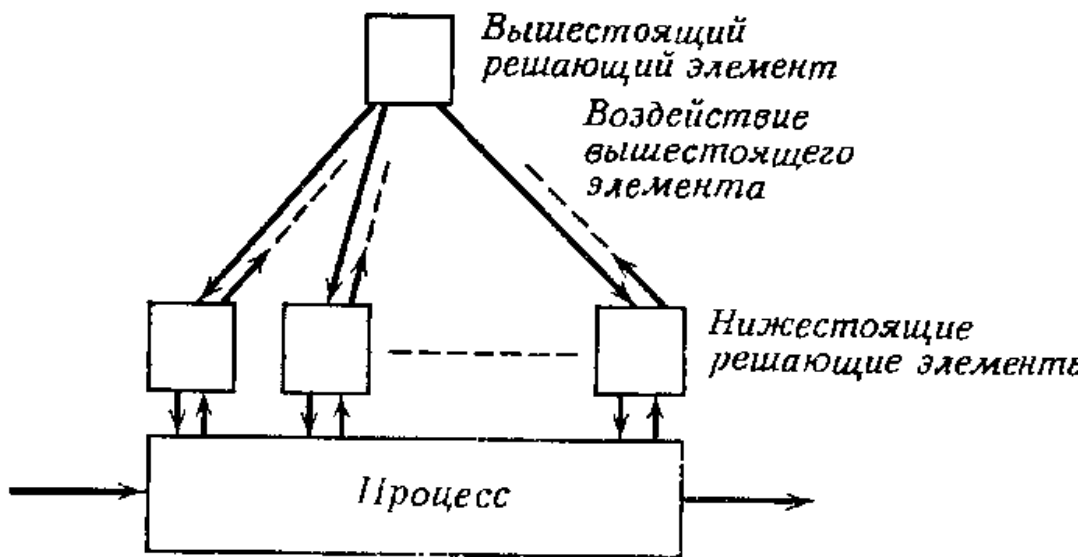


Рис.5.6. Двухуровневая организационная иерархия.

Два вида информационных связей связывают вышестоящий и нижестоящие элементы. Информация, идущая сверху вниз, ставит задачи, подлежащие исполнению на уровне нижестоящих элементов, тогда как информация, посылаемая наверх, несет вышестоящему элементу информацию о состоянии нижестоящего уровня. Таким образом действия одного из них зависят от действий другого. Вышестоящий элемент и нижестоящие элементы являются решающими. Так как оба уровня элементов являются элементами, вырабатывающими решения, это означает, что в общем случае проблема, решаемая элементом нижестоящего уровня, зависит от действия вышестоящего элемента, заключающегося в выработке значений определенного параметра; наоборот, проблема, решаемая вышестоящим элементом, зависит от действий элементов нижестоящего уровня. Очевидно, что получается тупик. Эта дилемма разрешается путем введения приоритета действий вышестоящего элемента. В связи с приоритетом действий вышестоящий элемент имеет широкие обязанности: во-первых, он указывает нижестоящим элементам, как им следует действовать, а во-вторых, воздействует на них с целью побудить их, если это необходимо, изменить свои действия. Первая обязанность соответствует в теории организации «управлению в большом» и включает в себя выбор алгоритмов и правил поведения в разнообразных предполагаемых обстоятельствах. В нашей формализации ей отвечает задача выбора принципов взаимодействия между вышестоящим и нижестоящими элементами. Мы называем это выбором способа координации. Вторая обязанность соответствует в теории координации «управлению в малом» и включает способы и правила «регулирувания», целью которых является улучшение качества деятельности. В нашей формализации ей отвечает выбор координационной переменной или переменной реального вмешательства. Способ координации определяется тем, как конкретный элемент нижестоящего уровня сообщается с другими элементами своего уровня, а также тем, какие характеристики проблем, решаемых на этом уровне, могут подвергаться изменению в целях улучшения глобального результата. Два перечисленных фактора тесно связаны друг с другом. Они определяются характером задач, для решения которых созданы нижестоящие элементы и сама система. укажем несколько основных категорий. Взаимосвязь одного элемента с другими элементами того же уровня можно охарактеризовать его действиями, реакцией всей остальной системы и ее воздействием на этот элемент. Это воздействие поступает в виде соответствующего «связующего» сигнала «внутренний» вход элемента. Центральный вопрос, поэтому состоит в том, какое влияние оказывает сигнал, поступивший на внутренний вход, на решения, принимаемые данным нижестоящим элементом. В этом отношении для вышестоящего элемента возможны следующие

варианты организации взаимодействия элементов нижестоящего уровня.

1. Координирование путем прогнозирования взаимодействий. Вышестоящий элемент посылает нижестоящим элементам значения будущих связующих сигналов. Тогда нижестоящие элементы начинают вырабатывать свои локальные решения в предположении, что связующие сигналы, которые в дальнейшем действительно к ним поступят, окажутся именно такими, какими их предсказал вышестоящий элемент.

2. Координирование путем оценки взаимодействий. Вышестоящий элемент задает диапазон значений для связующих сигналов. Нижестоящие элементы рассматривают эти сигналы как возмущения, могущие принимать любое значение в заданном диапазоне.

3. Координирование путем «развязывания» взаимодействий. Элементы нижестоящего уровня трактуют связующий сигнал как дополнительную переменную решения. Они решают свои задачи так, как если бы связующие сигналы можно было выбрать произвольно.

4. Координирование типа «наделения ответственностью». Элементы нижестоящего уровня знают о наличии других элементов, также принимающих свои решения на том же уровне. Вышестоящий элемент снабжает нижестоящие элементы моделью зависимости между его действиями и откликом системы.

5. Координирование путем «создания коалиций». Элементы нижестоящего уровня знают о существовании других решающих элементов на том же уровне. Вышестоящий элемент определяет, какого рода связи разрешены между ними. Это приводит к коалиционным или конкурентным (в теоретико-игровом смысле) отношениям между нижестоящими элементами. Здесь уместно сделать замечание о пользе и эффективности вышеперечисленных подходов. Последний подход, очевидно, самый утонченный и ближе всего соответствует действительному положению дел в организациях людей. Однако он является и самым сложным и может привести к довольно трудноразрешимым задачам принятия решений для элементов нижестоящего уровня. В предельном случае каждому нижестоящему элементу пришлось бы решать задачи принятия решений и для всех остальных элементов своего уровня. Эффективность такого подхода была бы, следовательно, чрезвычайно низкой. Многоуровневые структуры позволяют для решения задачи, стоящей перед всей системой в целом, использовать совокупности элементов, каждый из которых по отдельности не в состоянии решить эту задачу. Для этого глобальная задача разбивается на подзадачи и ее решение происходит групповыми усилиями. Искусство синтеза многоуровневой системы состоит именно в постановке упрощенных задач для вышестоящих и нижестоящих элементов. Первые три подхода имеют очевидные преимущества перед последними в отношении простоты. Общим для них является то, что внутренние связи элементов нижестоящего уровня рассматривают как каналы, по которым к ним поступают связующие сигналы; остальная часть системы трактуется просто как среда. Между действиями элементов нижестоящего уровня и реакцией системы при этом не предполагается непосредственной причинной связи. Для иллюстративных целей мы кратко отметим ниже ряд аспектов применения двух других способов.

1. Разрешение или запрещение обмена информацией между элементами нижестоящего уровня зависит, как определяются задачи, стоящие перед этими элементами. Было показано, что в случае, если функции качества (используемые для оценки результатов деятельности нижестоящих элементов) являются линейными, организация коммуникационных связей между элементами одного уровня с общесистемной точки зрения представляется нерациональной, тогда как если указанные функции имеют другой вид (скажем, квадратичный), существование каналов связи может оказаться выгодным. Важно подчеркнуть также семантический аспект коммуникации. В задачи вышестоящего элемента входит не только установление целесообразности тех или иных каналов связи, но и принятие решения по поводу того, какого

рода информация будет по ним передаваться. Анализ показывает, что чрезмерно интенсивное общение между элементами одного уровня может иметь такой же эффект, как и отсутствие информационной связи вообще, т. е. ведет к ухудшению глобального результата.

2. Исследование возможности использования на уровне нижестоящих элементов теоретико-игрового подхода показало, что вышестоящий элемент может так составить правила поведения, что применение игрового подхода на нижестоящем уровне приводит к глобальному оптимуму. Это важно, например, для проблемы проведения в жизнь оптимального решения в случае социальных систем. Может оказаться, что вышестоящий элемент, зная оптимальное решение, все же не может непосредственно обеспечить его реализацию. Он должен, поэтому установить между нижестоящими элементами такие взаимоотношения, чтобы они сами пришли к оптимальному решению. Математический анализ показывает, что такое решение и в самом деле возможно, если на нижестоящем уровне использовать теоретико-игровой подход.

Координация. Координация, сама представляющая собой сложную для решения проблему, имеет два важных аспекта: аспект самоорганизации (изменения структуры) и аспект управления (выбор координирующего вмешательства при фиксированной структуре). Предположим, что способ координации уже определен и что самоорганизация относится лишь к изменениям функций и взаимосвязей, используемых в процессе координации. Эти изменения мы называем модификациями. В широком смысле всякая задача принятия решения определяется некоторой целью и образом ситуации, применительно к которой происходит принятие решения. Таким образом, имеются два вида модификаций: модификация целей и модификация образов (для выбранного способа координации).

Например, может быть принято решение остановиться на способе «развязывания» взаимодействий (решение, касающееся управления в большом), однако при этом может оказаться, что глобальная эффективность работы системы будет все же неудовлетворительной. Тогда вышестоящий элемент может модифицировать функции качества для элементов нижестоящего уровня, например, заменить функции вида

$$G_i = m_i^2 + y_i^2 + \sum_j m_{ij} - u_i$$
 на функции

$$G_i = m_i^2 + y_i^2 + \sum_j m_{ij}^2 - u_i^2$$

Аналогичным образом вышестоящий элемент может модифицировать образ, изменяя структуру моделей, используемых элементами нижестоящего уровня, или ограничения, налагаемые на принимаемые ими решения. Наконец, после того как выбран способ координации и зафиксирована структура, перед вышестоящим элементом возникает задача управления в малом, связанная с выбором собственно координирующих воздействий. Для простоты мы будем называть эту задачу просто задачей координации, сознательно употребляя этот термин в узком смысле. Таким образом, работа вышестоящего элемента сводится к следующему: а) выбор способа координации; б) модифицирование функций, определяющих стратегии нижестоящих элементов, если это необходимо, и в) выбор координирующих воздействий после того, как приняты остальные решения. Сбор информации. Требуемая вышестоящему элементу информация о ниже расположенных уровнях зависит фактически от стоящей перед ним и требующей решения задачи, а также от образа (модели), используемого при решении этой задачи. Оба эти фактора, однако, тесно связаны друг с другом, ибо характер проблем принятия решений, которые могут возникать перед вышестоящим элементом, зависит от того, какого рода информацией он располагает. Для этого должен иметься образ (или модель) поведения элементов нижестоящего уровня. Мы упомянем три подхода к проблеме построения таких моделей. При наиболее простом решении этой проблемы предполагается, что координатор имеет перед собой точное описание поведения элементов нижестоящего уровня. В таком случае задача

координации сводится к классической задаче управления: имеются все необходимые данные и задача состоит лишь в том, чтобы принять наилучшее решение. Прежде чем полностью отказаться от этого подхода, отметим, что в области социальных систем задача координации заключается не только в том, чтобы найти наилучшие условия координации, но и в том, чтобы указать способы их осуществления. Наиболее серьезные проблемы при координации социальных систем связаны главным образом с трудностями реального осуществления решения, которое оказалось бы приемлемым с технической, экономической и т. д. точек зрения. Отыскание в принципе приемлемого решения для таких ситуаций только первый необходимый шаг в процессе координации. Более содержательный подход к построению модели, используемой вышестоящим элементом, состоит в том, чтобы попытаться упрощенно описать подсистемы нижестоящего уровня. Это, по сути, классический подход, подробно изученный классической теорией управления. В теории больших систем такие приближенные модели можно получить посредством, так называемого агрегирования переменных, так что в общем случае цель вышестоящего элемента не зависит от полного набора переменных, используемых на уровне нижестоящих элементов. На деле функция качества для вышестоящего элемента часто может оказаться вполне определенной функцией небольшого числа ключевых переменных, характеризующих эффективность работы элементов нижестоящего уровня. Тогда вышестоящему элементу нет нужды подробно знать поведение и динамику элементов нижестоящего уровня во времени. Успешность такого подхода очевидным образом зависит от того, какие переменные и в каком количестве входят в функцию качества для вышестоящего элемента. Для многоуровневых систем основной недостаток такого подхода заключается в том, что он не учитывает декомпозицию системы на подсистемы на нижнем уровне, такой подход оказывается полезным и в применении к многоуровневым системам. Стимулом для некоторых из таких исследований послужили ранние работы в области эконометрии. В данной книге подход этот подробно не рассматривается, поскольку, по сути дела, здесь речь идет не о многоуровневой проблеме, а скорее о применении более классических управленческих и программных подходов. Выбор модели для вышестоящего элемента должен основываться не на прямом упрощении (путем агрегирования или иными средствами) нижестоящего уровня, а скорее на признании того факта, что для вышестоящего элемента управляемый процесс описывается как взаимодействие семейства взаимосвязанных подсистем, каждая из которых преследует собственные цели. Вот почему вышестоящий элемент должен скорее координировать деятельность нижестоящих элементов, нежели управлять ими. В связи с этим модель для вышестоящего элемента должна основываться на взаимодействиях между нижестоящими элементами; точнее, на том, каким образом они при выборе своих решений учитывают взаимодействия друг с другом. На деле снова получается агрегирование. В этом случае, однако, каждый нижестоящий элемент агрегирует свои локальные переменные и переходит к новым переменным, существенным с точки зрения вышестоящего элемента. Например, при координации на основе метода согласования функций качества вышестоящий элемент нуждается в информации о локальных характеристиках; локальная функция качества, однако, есть не что иное, как агрегированная переменная. В любом случае именно признание за нижестоящими элементами права принимать решения своего уровня и вытекающая отсюда передача нижестоящим уровням значительной части работы по отысканию и принятию решений и составляют характерную особенность эффективных многоуровневых систем. Взаимосвязь элементов нижестоящего и вышестоящего уровней. Элементы нижестоящего уровня могут влиять на действия вышестоящего элемента как непосредственно, снабжая его всей запрашиваемой им информацией, так и косвенно, посредством принимаемых ими решений, ибо конечный успех вышестоящего элемента зависит от того, как работают системы нижестоящего уровня. В ходе обмена информацией, имеющего место до принятия решения, вышестоящий элемент имеет, превосходство над элементами нижестоящего уровня и может затребовать информацию нужного ему вида. Обычно эта информация касается того, какое решение собираются принять элементы нижестоящего уровня, т. е. она связана с оценкой процесса принятия решения нижестоящими элементами. Эти элементы, в свою очередь, могут использовать посылаемую вверх информацию как дополнительную переменную, определяющую выбор решения на нижестоящем уровне, с целью

обеспечения для себя более выгодных условий. Однако, если процесс динамический и если учитывается вмешательство после принятия решения, то элементы нижестоящего уровня должны принимать во внимание тот факт, что слишком большие расхождения между информацией, посылаемой до принятия решения, и следующим за этим реальным событием могут привести к нежелательной реакции со стороны вышестоящего элемента. Обычно в процессе обмена информацией, происходящего до принятия решения, нижестоящий элемент может сообщить вышестоящему элементу ту информацию, которая максимизирует его потенциальный выигрыш; но он должен при этом соблюдать «чувство меры», ибо от него могут потребовать разумного объяснения любого расхождения, возникающего в период после принятия решения.

При обсуждении, иерархических систем постоянно возникает вопрос, почему они так распространены в природе или почему необходимо при проектировании систем наделять их именно такой структурой. Очевидный недостаток многоуровневой системы состоит в сложности ее поведения и управления ею: функционирование такой системы нелегко проанализировать, ею трудно управлять и не всегда легко воздействовать на нее извне. Для проектирования новых систем на основе одноуровневого подхода обычно имеется определенная совокупность знаний и понятий, применимых на самых различных стадиях проектирования. Многоуровневые же системы требуют совершенно новых разработок. Но в таком случае возникает вопрос, дает ли использование многоуровневого подхода какие-то преимущества по сравнению с полностью интегрированным и централизованным подходом. На этот вопрос мы и пытались дать ответ (по крайней мере, в качественной форме) на протяжении данной главы. Имеет смысл выделить и подчеркнуть еще раз ряд доводов в пользу многоуровневого подхода.

Интеграция. Иерархическое упорядочение часто связано с процессом изменения структуры уже существующей системы в целях повышения эффективности ее работы. При создании объединенной (или «интегрированной») системы управления промышленным комплексом редко имеется возможность коренной перестройки и рационализации всего комплекса ввиду наличия ряда экономических, технических и социальных ограничений. По существу приходится исходить из имеющейся уже системы регулирования рабочих процессов и управления на нижнем уровне, добавляя к ней управление более высокого уровня и осуществляя тем самым интеграцию всего управления системой. В этом случае ситуация несколько напоминает раздельное проектирование технологического процесса и системы управления им. В настоящее время уже довольно ясно, что систему нужно проектировать как целое, а не начинать с процесса и затем просто добавлять необходимое управление. Несмотря на то что можно привести примеры, в которых при проектировании технологии процесса учитывается и наличие управляющих подсистем, общесистемный подход, не делающий никаких разделений, все еще не реализован. Аналогично при проектировании интегрированной управляющей системы начинают с заданного процесса и управления на нижнем уровне с таким расчетом, чтобы координация взаимодействующих подсистем содействовала достижению целей более высокого уровня, охватывающих все более и более обширные части системы.

Стратификация. Описания или модели сложных систем часто могут быть получены лишь на основе стратификации с учетом физических подсистем, управленческих и экономических аспектов и т. п. Кроме того, глобальная задача, для осуществления которой создается система, может быть конкретизирована путем установления иерархии необходимых работ и подзадач.

Предположим, что подлежащая выполнению задача такова, что ее нельзя решить применением ни одного из имеющихся в наличии решающих элементов. В системах «линейного» функционирования в таких случаях образуют многоэшелонную иерархию, а в системах с «многофазным» принципом работы используют многослойный подход или декомпозицию многоэшелонного типа, в которой единственный решающий элемент используется для последовательного решения всех подзадач. Очевидным примером является задача оптимизации с

помощью ЭВМ, объем памяти, которой настолько ограничен, что программированию поддаются только полученные после декомпозиции подзадачи. Следует отметить, что многоуровневый подход к решению сложных задач, как правило, является важным методом в системотехнике. Исходя из сложной глобальной задачи, образуют иерархию подзадач. Затем по очереди решают подзадачи с использованием по возможности единственного решающего элемента. Дрью и др. приводят интересные данные о применении подхода при разработке транспортных систем.

Лучшее использование имеющихся ресурсов. Имеющиеся ресурсы используются значительно лучше, если при решении сложных крупномасштабных задач применять многоуровневый подход. Разумеется, это положение не бесспорно, ибо в общем случае применимость такого подхода зависит от умения правильно подобрать многоуровневую структуру. Сравнительно простой анализ, однако, обнаруживает, что это можно сделать для широкого класса систем при условии, что удастся существенно упростить подлежащие решению задачи на верхнем уровне. Анализ основывается на предположении, что оптимизируемая функция (затрата усилий на выработку решений) является выпуклой функцией числа управляющих переменных и линейной функцией числа наблюдаемых переменных. Начиная с некоторого момента (зависящего от конкретной формы выбранной функции для оценки усилий), затрата усилий существенно уменьшается путем декомпозиции задачи и применения двухуровневой структуры. Такой подход оправдан, если удастся упростить задачу координации до такой степени, чтобы она была значительно проще всей решаемой проблемы. В этом случае полная затрата усилий при использовании двухуровневой системы будет меньше, нежели при использовании интегрированной системы, обеспечивающей тот же уровень эффективности.

Адаптивность и надежность. В многоуровневой децентрализованной системе можно локализовать изменения в процедуре выработки решений, вызванные изменениями в протекании подпроцесса, и снизить тем самым затраты времени и средств. В общем случае система при этом быстрее адаптируется. Например, при распределении электрической энергии по многим областям, т. е. при решении задачи диспетчирования, изменения в одной из областей, вырабатывающих электроэнергию, повлекли бы за собой изменение матрицы потерь только для этой области; ничего другого в системе менять не нужно было бы. В то же время при централизованном распределении электроэнергии по всем областям нужно было бы заново рассчитывать всю матрицу потерь. Кроме того, неисправности в работе какой-то части системы при этом не столь быстро распространяются на всю систему. Последнее утверждение, конечно, требует уточнения, ибо на практике это зависит от конкретной системы и от типа возможной неисправности. Однако потенциальные возможности повышения надежности здесь, несомненно, имеются.

Контрольные вопросы

1. Что такое иерархия систем?
2. Назовите основные характеристики иерархических систем,
3. Какие бывают виды иерархий?
4. Поясните, что представляет собой связь между различными понятиями уровня.
5. Приведите пример многоэшелонной системы.
6. Назовите обязанности вышестоящего элемента.

