

## Функциональная иерархия принятия решений

А.А.Кальгин, НТА «Акомхоз», Москва

Рассмотрены наиболее существенные структурные понятия, такие как функциональная иерархия, закон необходимого разнообразия и непрерывный ряд моделей. Показано, что функциональная многослойная иерархия принятия решений представляет собой концептуальную схему выявления существенных функций в сложной системе принятия решений. Таким образом, для определения путей реализации систем управления можно воспользоваться методом упорядочения систем в виде непрерывного ряда моделей.

*Ключевые слова:* система управления, функциональная иерархия, образование иерархических систем.

### Functional Hierarchy in Decision Making

A.A.Kalgin, STA «Academy of Municipal Economy»

The most essential structural definitions such as functional hierarchy, requisite variety law and continuous series of models are considered. The article says that the functional multilayer hierarchy of decision-making is a conceptual approach to finding of essential functions in complicated systems of decision-making. Thus, to determine a solution approach for control systems, one may use the system order method in terms of continuous series of models.

*Keywords:* control system, functional hierarchy, creation of hierarchy systems.

Понятие функциональной многослойной иерархии принятия решений представляет собой концептуальную схему выявления существенных функций в сложной системе принятия решений. Такой подход является плодотворным при выборе методов автоматизации конкретных технологий [1; 2].

Функциональную иерархию можно представить тремя взаимосвязанными иерархически соподчинёнными интеллектуальными уровнями: выбор, обучение и самоорганизация. При решении задач управления технологическими объектами каждый уровень очерчивает свои границы интеллектуального пространства научных подходов. Создаётся интеллектуальный алгоритм достижения поставленной цели (рис. 1). При проектировании систем автоматического управления уровень выбора предполагает определение способа действия  $Y$  при заданных выходных функциях объекта  $X$  и функции оценки  $J$ . Такой способ позволил бы получать результат  $G$ , удовлетворяющий выбранной функции оценки в условиях неопределённостей  $F$ . При этом неопределён-

ности отражают их незнание зависимости между способом действия и его результатом.

Множество неопределённостей отражают в себе структурные особенности организации технологического процесса, а также конструктивные особенности технических средств и изменения физико-механических характеристик материальных потоков.

Если множество  $F$  состоит из единственного элемента или является пустым, то есть относительно результата на выходе для данного действия «у» нет неопределённости, выбор может основываться на оптимизации: необходимо найти такое «у» в  $Y$ , чтобы величина  $f = J(y, x(y))$  была меньше, чем  $f = J(y, x(y))$  для любого другого действия  $y \in Y$ .

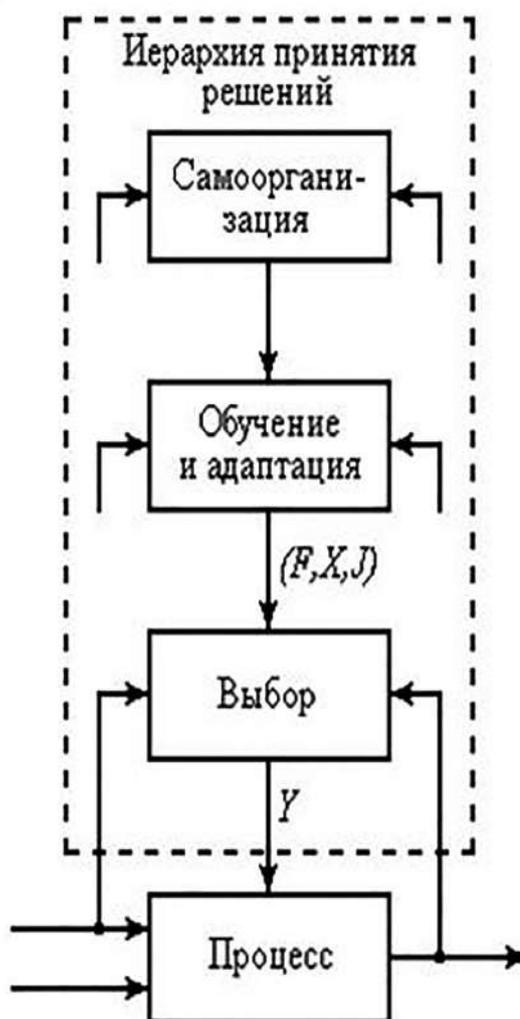


Рис. 1. К понятию функциональной иерархии

Решение задачи на уровне обучения предполагает конкретизацию и, по возможности, сужение множества неопределённостей  $F$ , с которым имеет дело слой выбора, и приближение результата  $X$  к заданному значению функции оценки  $J$ . Если система и окружающая среда стационарны, то множество неопределённостей может быть предельно сужено, что соответствует идеальному обучению. Таким образом, цель второго уровня – насколько возможно сузить множество неопределённостей и упростить тем самым решение задачи на уровне выбора.

Дальнейшее улучшение качественных параметров системы может быть достигнуто на уровне самоорганизации изменением стратегии обучения на втором уровне. На первый взгляд функциональная иерархия выступает в качестве известного рабочего алгоритма проектирования систем автоматического управления. Однако это чисто внешнее сходство. Функциональная иерархия представляет собой универсальное понятие, которое может быть применено при проектировании не только локальных подсистем управления, но и систем более высокого уровня организации.

Системотехническое проектирование связано с такими понятиями, как структурная сложность и эффективность управления. Существуют соображения, с которыми приходится считаться, чтобы удовлетворить ужесточающимся технологическим требованиям, предъявляемым к техническим объектам, и обеспечить наиболее эффективное управление для имеющихся и возможных структур. Целью управления должно быть приведение в соответствие разнообразия возмущающих воздействий с разнообразием ответных реакций управляющей части, что для сложных объектов обеспечивается многоуровневыми иерархическими системами управления.

Одноконтурная система принципиально не может обладать разнообразием всех свойств систем, в которых количественное изменение сложности приводит к качественным изменениям свойств.

Необходимость управления по нескольким каналам обусловлена необходимым разнообразием, так как, когда управляющая часть системы действует на управляемую, то степень, до которой она может уменьшить влияние возмущений, пропорциональна её пропускной способности как канала связи. Пропускная способность управляющей части находится при прочих равных условиях в однозначной зависимости от её функционального разнообразия. Поэтому можно утверждать, что успешное управление той или иной системой возможно лишь в том случае, если управляющее устройство имеет разнообразие того же порядка, что и управляемая система.

Эта закономерность определяет путь развития сложных систем. В функциональном отношении сложность системы можно описать множеством переменных  $\{X, Y, Z\}$ , где  $X$  – управляемые и  $Y$  – управляющие параметры,  $Z$  – возмущающие воздействия. Структурная сложность системы подчёркивается способом формирования управляющих переменных  $Y$ .

Для определения путей возможной реализации систем управления можно воспользоваться методом упорядочения систем в виде непрерывного ряда моделей.

В основе непрерывного ряда моделей лежит зависимость качественных характеристик системы от её структурного и функционального разнообразия, что позволяет обосновать всевозможные способы управления. При этом варианты систем управления в виде последовательности функциональных моделей располагаются в порядке возрастания разнообразия.

Для имеющейся системы улучшение выполнения основной функции достигается изменением частных функций и элементов, обладающих этими функциями.

Однако существует предел таких изменений, и дальнейшее улучшение выполнения основной функции достигается повышением сложности системы за счёт перехода к новой функции с новым уровнем сложности путём изменения структуры и количества функциональных связей.

Изложенные принципы, так же как и понятие функциональной иерархии, обладают свойством универсальности и могут быть применены не только при автоматизации отдельных локальных объектов, но и ряда технологически связанных технических устройств.

Специфические особенности многоуровневых иерархических систем проявляются в способе их функционирования и, в первую очередь, во взаимодействии элементов управляющей системы на различных уровнях иерархии.

Элементы верхнего уровня имеют дело с более крупными подсистемами или с более широкими аспектами поведения системы в целом. При многоуровневой иерархии элемент структуры управления верхнего уровня является командным по отношению к элементам нижнего уровня, и вырабатываемое им решение координирует их действия в соответствии с целью, определяемой для совокупности всех подчинённых ему элементов.

Период принятия решения для элемента верхнего уровня больше, чем для элементов нижних уровней. Управляющие воздействия 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. Элемент верхнего уровня имеет дело с более медленными аспектами поведения всей системы. Это непосредственно вытекает из того, что элемент верхнего уровня имеет дело с более широкими аспектами поведения всей системы и имеет большие периоды принятия решений. Верхние уровни не могут реагировать на такие изменения в окружающей среде или самом процессе, которые происходят быстрее и имеют дело с более частыми, локальными изменениями.

Все перечисленные особенности функционирования элементов иерархической системы управления указывают на то, что, работая в реальном масштабе времени, они должны вырабатывать координирующие воздействия с разной периодичностью в зависимости от нахождения на том или ином

уровне иерархии. Это одна из самых существенных особенностей иерархических систем, отличающая их от традиционных систем регулирования, которая позволяет соединить в одной системе два, на первый взгляд, взаимоисключающих свойства: дискретности и непрерывности, объединяя в единой структуре классические модели реального масштаба времени с обратной связью и модели статической оптимизации линейного и динамического программирования.

Необходимо указать ещё на одну очень существенную особенность многоуровневых иерархических систем. Если в одноконтурных или многоконтурных, но одноуровневых системах вопрос выбора критериальной функции связан только со способом её технологического обоснования, то для многоуровневых систем необходим выбор функции оценки для каждого уровня иерархии, причём смысл и содержание этих оценок, как правило, не совпадают между собой на различных уровнях.

Можно выделить несколько типов иерархических структур. Наиболее простыми являются одноуровневые и одноцелевые системы (рис. 2 а), когда цель определяется для всей системы, а переменные выбираются так, чтобы обеспечить её достижение. Необходимо подчеркнуть концептуальную простоту таких систем. Более сложными являются одноуровневые многоцелевые системы (рис. 2 б), в которых каждая локальная подсистема функционирует на основе своего локального критерия (критерии могут быть и одного вида). Однако существует уровень согласования отдельных целей между собой на основе заданного правила или алгоритма.

Класс многоуровневых многоцелевых систем (рис. 2 в) характеризуется наличием иерархически взаимосвязанных критериев. Существование глобального критерия – принципиальная отличительная особенность таких систем.

Построение многоуровневых иерархических систем управления связано с представлением отдельного объекта технологической цепи в виде элемента функциональной иерархии и выбором функции оценки  $J$ , отражающей математический результат действия процесса локальной системы управления. Необходимо адекватно отразить в ней или ряде принятых в теории управления стандартных качественных показателей, технологические характеристики процесса, зафиксированные в технических условиях.

Поиск предпочтительных управлений из множества  $M$  должен опираться на закон необходимого разнообразия, по которому, если управляющее устройство действует на объект для достижения какой-либо цели, то степень, до которой оно может уменьшить влияние возмущений, однозначно зависит от комбинаторного разнообразия его элементов. Успешное управление возможно лишь в том случае, если управляющее устройство имеет разнообразие того же порядка, что и объект. Можно упорядочить системы с различными вариантами управления в виде непрерывного ряда моделей, в основе которого лежит определённая закономерность, например, зависимость качественных характеристик системы от раз-

нообразия управляющих воздействий и их эффективности для достижения заданной цели. Полученные таким образом модели оказываются как бы вложенными друг в друга, образуя иерархию усложняющихся структур. Дальнейшее улучшение качественных показателей моделей непрерывного ряда достигается на следующем уровне обучения функциональной иерархии через сужение множества неопределённостей уровня выбора. Уровень самоорганизации предполагает изменение стратегии обучения. Решение задачи на указанных двух уровнях достигается, как правило, изменением структурных или конструктивных параметров объекта.

Однако существует предел улучшения выполнения основной функции локального управления. Дальнейшее совершенствование системы достигается переходом к её новой организации с новым уровнем сложности путём увеличения количества функциональных связей в более развитой структуре. Несколько локальных однотипных подсистем, образующих новую структуру, должны быть организованы в соответствии с принципами функциональной иерархии. Спо-

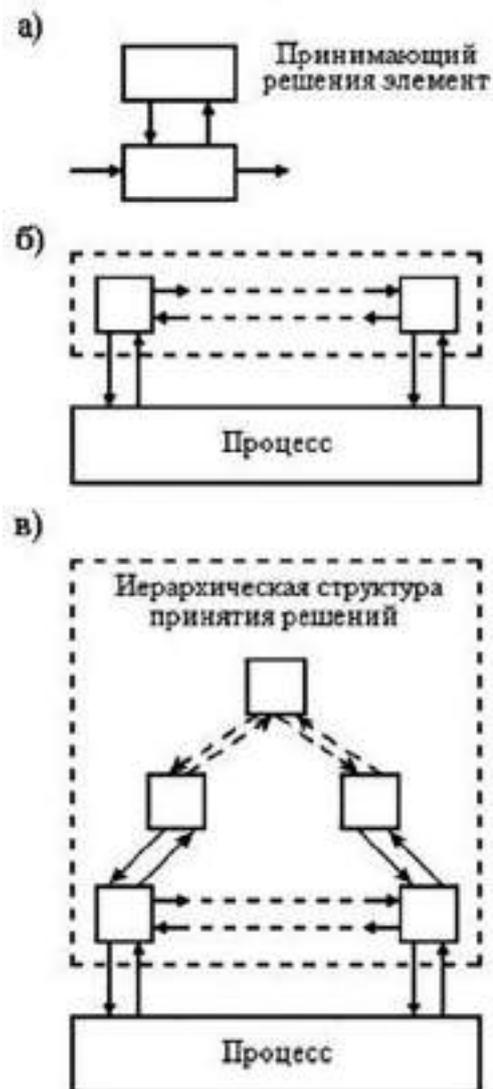


Рис. 2. Типы иерархических структур

соб действия на уровне выбора видоизменяется и сводится к изменению уставок локальных подсистем. Функция оценки, фиксируя качество технологической цепочки из нескольких локальных подсистем со своими критериальными функциями, меняет в сравнении с ними своё содержание. Изменением уставок отдельных подсистем сужается область неопределённости случайных изменений неуправляемых переменных, а значение функции оценки приближается к оптимальному. Алгоритмизация процесса оптимизации расширяет возможности самоорганизации системы за счёт перебора алгоритмов и отыскания из них наилучшего.

Группа однотипных подсистем может быть дополнена в технологической цепочке устройствами, которые замыкают на себя их материальные потоки. Модели каждого из этих устройств рассматриваются как элементы функциональной иерархии, а полученная с их включением структура самоорганизуется на основе критерия более высокого уровня.

Процесс усложнения управляемой системы может быть продолжен и ограничивается только числом объектов управления и функциями оценки, представляя собой непрерывный ряд вложенных друг в друга иерархических структур со своими критериальными функциями. Повышая сложность системы управления и вводя функции оценки более высокого уровня, необходимо проверять их непротиворечивость критериям подсистем нижнего уровня. В противном случае следует пересмотреть их содержание.

Таким образом, построение многоуровневой иерархической системы подчинено жёсткой логической по-

следовательности. На каждом шаге решается конкретная техническая задача по выбору и оптимизации элементов системы в соответствии с выбранными локальными или глобальным критерием всей системы. Содержание критериев управления меняется по мере движения к верхним уровням иерархии, что позволяет достигать оптимального значения глобального критерия всей системы взаимокompенсаций отклонений в значениях критериев локальных подсистем. Усложнение системы подчинено закону необходимого разнообразия.

Каждый уровень представления системы как элемента функциональной иерархии порождает непрерывный ряд моделей, упорядоченных по степени достижения заданных качественных характеристик.

Внутренне взаимодействие элементов структуры подчинено правилам иерархического соподчинения.

#### *Литература*

1. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Макол. – М.: Мир, 1973. – 342 с.
2. Моисеев, Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 488 с.

#### *Literatura*

1. Mesarovich M. Teoriya ierarhicheskikh mnogourovnevnykh sistem / M. Mesarovich, D. Makol. – М.: Mir, 1973. – 342 s.
2. Moiseev N.N. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza / N. N. Moiseev. – М.: Nauka, 1981. – 488 s.

**Кальгин Александр Анатольевич**, 1946 г.р. (Москва). Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН. Заместитель директора по научной работе Научно-технической ассоциации «Академия коммунального хозяйства» (Москва, Волоколамское шоссе, 116). Сфера научных интересов: технология производства железобетонных изделий и автоматизация технологических процессов. Автор 115 научных публикаций. Тел.: +7 (985) 576-54-06. E-mail: Alexander.kalgin@mail.ru.

**Kalgin Alexander Anatolievich**, born in 1946 (Moscow). Doctor of technical sciences, professor, corresponding member of the RAACS. Deputy director for science at the scientific and technical association Academy of Public Utilities (Moscow, Volokolamskoe Highway, 116). Sphere of scientific interests: technology of production of reinforced concrete products and automation of technological processes. The author of 115 publications. Tel.: +7 (985) 576-54-06. E-mail: Alexander.kalgin@mail.ru.