

4. КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

4.1. Понятие управления в системе

Управление – выработка и осуществление *целенаправленных управляющих воздействий* на объект (систему), что включает сбор, передачу и обработку необходимой информации, принятие и реализацию соответствующих решений¹.

Основная цель управления заключается в том, чтобы обеспечить наибольшую эффективность использования ресурсов при решении поставленной задачи на каждом этапе жизненного цикла системы. Конкретные цели управления меняются в зависимости от типа систем и степени их сложности.

Функция управления включает измерение выходных параметров системы, сравнение результатов измерения с некоторыми заданными эталонами и последующее воздействие на вход системы (регулирование, корректировка входа) с целью восстановления заданного режима работы.

Обратная связь

Систему, в которой реализуются функции управления, обычно называют системой управления и выделяют в ней две подсистемы: управляющую и управляемую:

- *управляющая система* – осуществляет функции управления;
- *управляемая система* – является объектом управления.

Между управляющей и управляемой системами необходимо наличие каналов связи. По каналу связи передается информация о состоянии управляемой системы (о текущих значениях существенных переменных объекта управления); по каналу связи противоположного направления передается управляющая информация (управляющие воздействия). Чем многообразнее входные сигналы системы, число различных состояний системы, тем многообразнее, как правило, выходные сигналы, сложнее система.

Система с управлением может иметь также каналы связи с окружающей средой. В простейших случаях среда может выступать как источник различных помех и искажений в системе, в этом случае в задачу управляющей системы входит фильтрация помех (рис. 4.1).

¹ Лопатников, Л. И. Экономико-математический словарь / Л. И. Лопатников. – М.: Дело, 2003 // Материалы Интернет-портала: <http://slovari.yandex.ru>

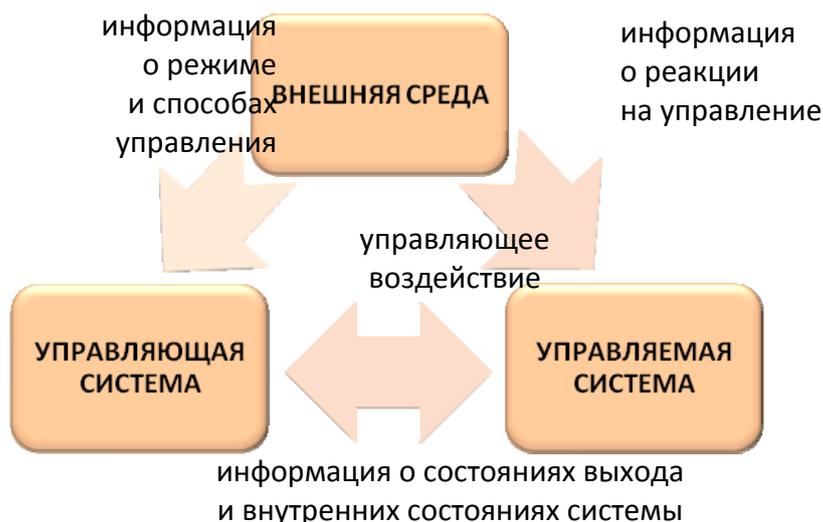


Рис. 4.1. Схема управления в кибернетической системе

Способность системы воспринимать и использовать информацию о результатах своего функционирования называют обратной связью. Переработка информации, идущей по каналам обратной связи, в сигналы, корректирующие деятельность системы, называют регулированием. Между терминами «управление» и «регулирование» существует различие: если считать, что управление обозначает воздействие на результаты работы системы для достижения намеченной цели, то регулирование обозначает тип управления, основанный на методе выравнивания отклонений от нормы (заданной величины). Устройства, служащие для этой цели, носят название регуляторов. Частный случай простой системы автоматического регулирования приведен на рис. 4.2.



Рис. 4.2.

Обратная связь в системе бывает двух видов: *отрицательная* и *положительная*.

При отрицательной обратной связи выходной сигнал частично «гасится» на входе системы так, что их отношение составляет величину, меньшую единице. В этом случае обратная связь уменьшает величину выходного сигнала при увеличении сигнала на входе, т.е. является механизмом автокоррекции системы. Отрицательная обратная связь необходима для обеспечения устойчивости процесса регулирования.

Примером обратной связи в технических системах может служить система автоматического регулирования температуры воздуха в помещении: термометр-датчик измеряет температуру воздуха T , управляющая система сравнивает эту температуру с заданной величиной T_0 и формирует управляющее воздействие $-k[T - T_0]$ на задвижку, регулирующую приток тёплой воды в батареи центрального отопления. Знак минус при коэффициенте k означает, что регулирование происходит по закону отрицательной обратной связи, а именно: при увеличении температуры T выше установленного порога T_0 приток тепла уменьшается, при её падении ниже порога – возрастает.

Устойчивость системы означает, что при отклонении от положения равновесия ($T = T_0$) как в одну, так и в другую сторону система стремится автоматически восстановить это равновесие. При простейшем предположении о линейном характере зависимости между управляющим воздействием и скоростью притока тепла в помещении работа такого регулятора описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dT}{dt} = -k[T - T_0].$$

Контрольные вопросы

1. Что понимается под управлением в кибернетической системе?
2. Что такое обратная связь в системе?
3. Чем характеризуется положительная обратная связь в системе?
4. Какова роль отрицательной обратной связи в поддержании равновесия в системе?
5. Что понимается под гомеостазом и гомеокинетическим плато системы?

4.2. КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД: ПРИНЦИПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Кибернетическое исследование основывается на определенных принципах. Часть из них является следствием общей методологии научного познания, часть – результатом анализа закономерностей поведения кибернетических систем.

Принцип разнообразия

Данный принцип основывается на законе разнообразия, сформулированном и математически доказанном У. Эшби в 1959 г., который гласит: при создании проблеморазрешающей системы необходимо, чтобы эта система имела большее разнообразие, чем разнообразие решаемой проблемы, или была способна создать такое разнообразие.

Иначе говоря, система должна обладать возможностью изменять своё состояние в ответ на возможное возмущение; разнообразие возмущений требует соответствующего ему разнообразия возможных состояний. Иначе система не сможет отвечать задачам управления, выдвигаемым внешней средой, и будет малоэффективной².

Процесс управления сводится к уменьшению разнообразия состояний управляемой системы, к уменьшению её неопределенности. В соответствии с этим законом, с увеличением сложности управляемой системы сложность управляемого блока также должна повышаться.

² Эшби, У.Р. // Материалы интернет-сайта:
<http://www.physics.unialtai.ru/community/wiki/JeshbiUil'jamRoss>

Принцип эмерджентности

При объединении элементов в систему возникают специфические – эмерджентные (системные) свойства, не присущие ни одному из элементов. Иными словами, свойства целого невозможно свести к сумме свойств его частей.

Этот принцип также был предложен У. Эшби и сформулирован в следующем виде: чем больше система и чем больше различия в размерах между частью и целым, тем выше вероятность того, что свойства целого могут сильно отличаться от свойств частей.

Приведем пример для иллюстрации принципа эмерджентности. Водород и кислород, соединяясь в определенном соотношении, образуют воду, жидкость, совершенно не похожую по своим свойствам на исходные газы.

Различают *эмерджентные* и *совокупные свойства*. Последние представляют собой сумму свойств компонентов. Совокупные свойства, в отличие от эмерджентных, не включают новых или уникальных особенностей, возникающих при функционировании системы как целого. Эмерджентные свойства возникают в результате взаимодействия компонентов, их интеграции, обуславливающей появление уникальных новых свойств.

Этот принцип указывает на возможность несовпадения частных целей отдельных элементов системы с общей целью системы, а отсюда – на необходимость, для достижения глобальных результатов, принимать решения и вести разработки по совершенствованию системы и её частей на основе не только анализа, но и синтеза.

Принцип внешнего дополнения

Третий принцип был впервые сформулирован С. Биром. Он гласит: любая система управления нуждается в «черном ящике» – определенных резервах, с помощью которых компенсируются неучтенные воздействия внешней и внутренней среды.

Принцип обратной связи

Этот принцип является одним из важнейших общих понятий кибернетики. Он используется в системах управления самой различной физической природы (технических, биологических, экономических, социальных), в которых сами отклонения системы от определенного состояния служат для формирования управляющих воздействий.

Без наличия обратной связи, сигнализирующей о достигнутом результате функционирования системы, невозможна организация эффективного управления.

С кибернетической точки зрения обратная связь – процесс информационный. Воздействие входного сигнала на объект, переработка его в выходной сигнал и обратное действие выхода через канал обратной связи

на входную величину – все это процессы передачи и переработки информации.

Принцип обратной связи подчеркивает, что управление системой невозможно без наличия как прямой, так и обратной связи между объектом и субъектом управления, образующими замкнутый контур.

Принцип декомпозиции и иерархии управления

Этот принцип предполагает, что управляемый объект всегда можно рассматривать как состоящий из относительно независимых друг от друга подсистем (частей) (У. Эшби, Г. Клаусс).

Расчленение объекта на независимые уровни или элементы дает возможность представить общее решение задачи как ряд последовательных звеньев (операций).

Наиболее часто декомпозиция проводится путём построения дерева целей и дерева функций. Основной проблемой при этом является соблюдение двух противоречивых принципов:

- полноты – проблема должна быть рассмотрена максимально всесторонне и подробно;
- простоты – всё дерево должно быть максимально компактным «вширь» и «вглубь».

Компромисс достигается с помощью четырёх основополагающих понятий:

- существенности – анализируются только компоненты, существенные по отношению к целям анализа;
- элементарности – доведение декомпозиции до простого, понятного, реализуемого результата;
- постепенной детализации;
- интегративности – возможность введения новых элементов в основания и продолжение декомпозиции по ним на разных ветвях дерева.

В результате декомпозиции система может быть представлена в виде иерархии.

Иерархия (от греч. *hierarchia* – священная власть) – способ построения, организации сложных систем, при котором части (элементы) системы распределены по уровням, и вся система становится многоуровневой, обладающей в то же время свойством целостности³.

Для оценки любой системы достаточно анализировать три уровня:

- глобальный уровень самой системы (её место в иерархии более высших систем);
- уровень ее элементов исполнения (их место в иерархии самой системы);
- уровень элементов ее управления (элементов блока управления самой системы).

³ Современный экономический словарь, 2005 // Материалы Интернет-сайта: www.slovarnik.ru/html-economica/i/ierarhi8.html

Понятие об иерархической лестнице является очень мощным инструментом системного анализа. Окружающая среда и любой живой организм состоит из огромного числа различных элементов, находящихся в различных отношениях. Невозможно анализировать всё громадное количество информации, характеризующее бесконечное число различных элементов. Понятие иерархии систем резко сужает число элементов, подлежащих анализу. Без неё мы должны учитывать все уровни окружающего мира, начиная от элементарных частиц и кончая глобальными системами, такими как организм, биосфера, планета и т.д.

На рис. 4.3 приведена структурная схема типового химического комбината: на верхнем уровне иерархии система автоматизированного управления химкомбинатом в целом «АСУП»; ниже располагаются автоматизированные системы управления отдельными производствами «АСУПр»; еще ниже системы управления отдельными агрегатами «АСУТП», и наконец, автоматические системы регулирования отдельными технологическими переменными «АСР».

Цель функционирования АСУП-это выработка и дальнейшее поддержание такой стратегии работы предприятия, которая является наилучшей в смысле экономических критериев.

АСУПр предназначены для управления конкретными производствами предприятия в соответствии с целями и критериями, спущенными сверху от АСУП.

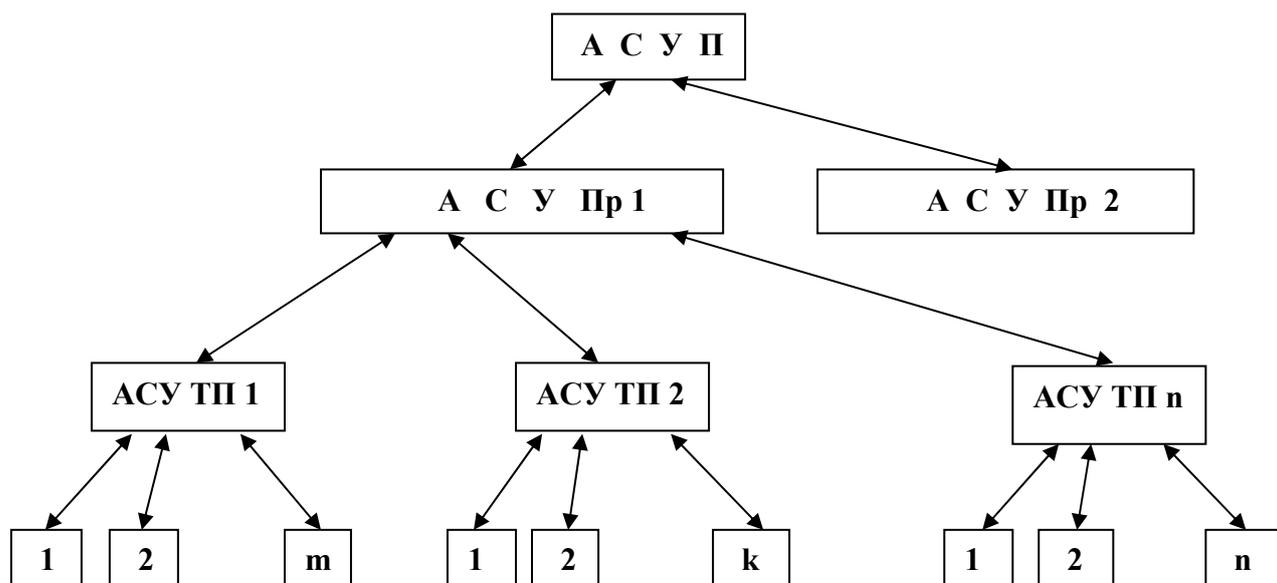


Рис. 4.3. Иерархическая структура химического предприятия

Задачами АСУ ТП является реализация алгоритмов управления отдельными технологическими процессами с целью оптимального достижения тех целей, которые указаны конкретной АСУ ТП со стороны АСУПр.

И наконец, системы автоматического регулирования АСР предназначены для поддержания конкретных технологических переменных в необходимых диапазонах, задаваемых им в каждый момент времени со стороны АСУ ТП с целью оптимизации режима работы технологического агрегата в целом.

4.3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В КИБЕРНЕТИКЕ

Основными общенаучными подходами к исследованию, используемыми в кибернетике являются аналитический и системный.

Аналитический подход предполагает разделение предмета исследования на части, изучение которых позволяет понять свойства целого объекта.

Системный подход предполагает исследование объекта во взаимосвязи всех его элементов. Предполагается, что поведение каждого элемента влияет на поведение целого, и свойства элемента, рассматриваемого в системе, отличаются от его же свойств при рассмотрении его изолированно.

Для описания кибернетических систем – основного объекта исследования кибернетики, используется три основных метода.

Метод математического анализа исследует объект, используя тот или иной математический аппарат (например, теорию вероятностей, теорию функций, математическую логику и др.). Представление о структуре и поведении объекта делается путем логических выводов (математических доказательств).

Экспериментальный метод предполагает проведение различных экспериментов либо с самим объектом, либо с его реальной физической моделью. В случае уникальности исследуемого объекта и невозможности существенного влияния на него (как, например, в случае Солнечной системы или процесса биологической эволюции) активный эксперимент переходит в пассивное наблюдение.

Разработка и широкое использование метода математического и компьютерного моделирования – одно важнейших достижений кибернетики. Суть этого метода заключается в том, что эксперименты производятся не с реальным физическим объектом, а с его описанием – моделью. Поведение объекта исследования сопоставляется с поведением модели, исследуемой математическими методами и экспериментально – с помощью компьютерной имитации. Эксперименты такого рода дают широкие возможности для исследователя за счет огромного быстродействия современных ЭВМ, что позволяет обрабатывать большие массивы информации и моделировать процессы в заданном временном темпе, возможности варьировать начальные данные, параметры и функциональные зависимости в модели.

Кибернетика широко использует методы системного анализа.

Системный анализ – это научный метод познания, представляющий собой последовательность действий по установлению структурных связей между переменными или элементами исследуемой системы⁴.

Процесс передачи информации исследуется различными методами, которые разрабатываются в рамках специальных теорий. Основными

⁴ Википедия – свободная энциклопедия // Материалы интернет-сайта: <http://ru.wikipedia.org/wiki>

теориями (они фактически абсолютно самостоятельны и независимы) современной кибернетики считаются: теория информации, теория алгоритмов, теория автоматов и исследование операций. Список теорий, используемых кибернетикой, постоянно расширяется (так, в настоящее время большое развитие получили теория распознавания образов, теория принятия решений, синергетика и др.)

Теория информации

В данной теории математическими методами исследуются процессы хранения, преобразования и передачи информации.

Основы теории информации разработаны К. Шенноном и опубликованы в 1948 г.

Возникшая из задач теории связи, эта теория иногда рассматривается как математическая теория систем передачи информации. Теория информации устанавливает основные границы возможностей систем передачи информации, задает исходные принципы их разработки и практического воплощения.

Одна из важных теорем теории информации содержит доказательство того, что если энтропия источника меньше пропускной способности канала, то на его выходе исходное сообщение может быть воспроизведено со сколь угодно малой ошибкой; если же энтропия источника превышает его пропускную способность, то ошибку сделать малой невозможно.

Теория алгоритмов

С помощью теории алгоритмов исследуется широкий класс задач, связанный с определением разрешимости, оценкой сложности алгоритмов, классификацией алгоритмов в соответствии с классами сложности, разработкой критериев сравнительной оценки качества алгоритмов и т.п.

Развитие теории алгоритмов началось с доказательства К. Геделем теорем о неполноте формальных систем, включающих арифметику. Возникшее в связи с этими теоремами предположение о невозможности алгоритмического разрешения многих математических проблем вызвало необходимость стандартизации понятия алгоритма. Первые стандартизованные варианты этого понятия были разработаны в 30-х гг. XX в. в работах А. Тьюринга, А. Черча и Э. Поста.

Алгоритм (от арабского имени хорезмийского математика XII в. Аль-Хорезми) строится на основании изучения и по возможности точного описания последовательности действий, приводящих к решению задачи.

Алгоритмы характеризуются следующими основными чертами:

- определенность предписания (выполняемой задачи);
- расчлененность предписания на отдельные строго последовательные действия (шаги), в результате чего требуемое состояние управляемого устройства наступает строго и последовательно после определенной команды;

- направленность на определенный результат, который заранее установлен как цель;
- строгая детерминированность управляемого данным алгоритмом процесса (и возможная в силу этого автоматизация действий).

Исследование операций

Эта теория рассматривает вопросы разработки и применения методов нахождения оптимальных решений на основе математического и статистического моделирования и эвристических подходов в различных областях человеческой деятельности.

Основной *постулат исследования операций* состоит в следующем: оптимальным решением (управлением) является такой набор значений переменных, при котором достигается оптимальное (максимальное или минимальное) значение критерия эффективности (целевой функции) операции и соблюдаются заданные ограничения.

Среди важнейших классов задач, рассматриваемых в данной теории, можно назвать задачи управления запасами, распределения ресурсов и задачи назначения, задачи массового обслуживания, задачи поиска и др. Среди применяемых методов – математическое программирование (линейное, нелинейное и т. п.), дифференциальные и разностные уравнения, методы теории графов, марковские процессы, теория игр, теория (статистических) решений, теория распознавания образов и ряд других.

Задачи распределения ресурсов

Распределительные задачи возникают в случае, когда имеющихся в наличии ресурсов не хватает для выполнения каждой из намеченных работ и необходимо наилучшим образом распределить ресурсы по работам в соответствии с выбранным критерием оптимальности.

Задачи сетевого планирования

Возникают при необходимости рассчитать оптимальный график выполнения подзадач (работ) общей задачи (проекта) и оперативно контролировать и корректировать ход выполнения проекта. Используемые математические методы позволяют определить моменты начала и окончания каждой работы, минимизировать общее расчетное время выполнения проекта, выявить критические работы.

Задачи выбора маршрута.

Задача состоит в определении наиболее экономичного маршрута по критерию времени, расстояния или стоимости проезда. На существующие маршруты могут быть наложены ограничения, например, запрет на возврат к уже пройденному пути, требование обхода всех пунктов, причем в каждом из них можно побывать только один раз (задача коммивояжера) и др.

Задачи массового обслуживания

Задачи массового обслуживания направлены на создание систем обслуживания очередей требований. Типичные примеры таких ситуаций –

очереди пассажиров к билетным кассам, очереди абонентов, ожидающих вызова на междугородной АТС, очереди самолетов, ожидающих взлета или посадки.

Задачи массового обслуживания позволяют определить, какое количество приборов обслуживания необходимо, чтобы минимизировать суммарные ожидаемые потери от несвоевременного обслуживания и простоев оборудования.

Контрольные вопросы

1. Что называется «принципом разнообразия» в кибернетических исследованиях?
2. Что представляет собой принцип эмерджентности?
3. Что понимается под принципом обратной связи в кибернетических исследованиях?
4. Раскройте содержание принципов внешнего дополнения и «черного ящика».
5. Дайте характеристику принципам декомпозиции и иерархичности.