

**МИНИСТЕРСТВО ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И СВЯЗИ РФ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА**

Е.В. ЧУРНОСОВ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

Учебное пособие

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2008**

УДК 005

ББК 32.817

Чурносов Е.В. Системный анализ и принятие решений: Учеб. пособие / СПбГУТ. СПб, 2008.

Утверждено редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия (2008, п.).

Рассмотрены основные понятия и методы системного анализа применительно к решению широкого круга задач. Представлен алгоритм системного анализа, охватывающий все главные этапы исследования и оптимизации сложных объектов различной природы, начиная от постановки проблемы, формулирования целей, задач до принятия решений по результатам анализа.

Приведены примеры постановки и решения конкретных задач на основе методологии системного анализа.

Предназначено для студентов спец. 220301 и магистров направления 22020068 в качестве учебного пособия по дисциплинам: “Моделирование систем”, “Системный анализ”, а также по другим смежным дисциплинам. Кроме того, пособие может быть полезно для студентов и аспирантов, обучающихся по другим направлениям и интересующихся методологией исследования сложных объектов.

Ответственный редактор *Е.В.Чурносов*

Рецензент *Э.Б.Песиков*

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им проф. М.А.Бонч-Бруевича, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Задачи системного анализа	6
2. Основные определения понятия “система”, свойства систем.....	8
3. Методы описания систем.....	11
4. Алгоритм системного анализа.....	22
5. Моделирование систем.....	29
6. Выбор, принятие решений.....	37
7. Системная постановка эксперимента.....	48
8. Системные аспекты управления.....	56
9. Системное представление процессов диагностики и лечения.....	62
10. Приложение 1. Расчет системы массового обслуживания.....	67
11. Приложение 2. Решение транспортной задачи.....	69
12. Приложение 3. Оценка и нормирование воздействия мобильного телефона на организм человека.....	71
13. Приложение 4. Рекомендуемые планы многофакторного эксперимента.....	76
Заключение.....	77
Литература.....	78

ВВЕДЕНИЕ

В процессе повседневной деятельности, в научных исследованиях и технических разработках часто необходимо решать задачи по принятию решений с учетом множества воздействующих на исследуемый объект факторов, параметров и переменных, характеризующих его состояние, которые могут быть связаны разнообразными причинно-следственными связями. Очевидно, что с целью исследования таких сложных объектов познания и принятия объективных решений в процессе управления ими необходимо располагать адекватной теорией с соответствующими методами и средствами для решения конкретных задач, т.е. необходима методология исследования сложных объектов. Теоретическая основа такой методологии была сформулирована еще в тридцатых годах прошлого века и активно развивалась в течение нескольких десятилетий после войны. Это теория систем. Иногда ее называют общей теорией систем или теорией сложных систем.

Центром внимания теории систем является термин “система”. Существует множество определений понятия система. Одним из наиболее общих из них является следующее определение: система – это совокупность элементов и отношений между ними, образующая единое целое. Таким образом, в отличие от ранее доминирующего подхода, искусственно разделяющего целое на части без учета сложных взаимоотношений между ними, теория систем рассматривает целостный объект во всем многообразии его составных частей и их взаимосвязей. Были разработаны принципы и общие подходы к исследованию систем.

Основные принципы теории систем легли в основу системного анализа. *Системный анализ* – это прикладная научная дисциплина, занимающаяся проблемами исследования систем и принятия решений по результатам этого исследования. Системный анализ может касаться различных этапов постановки и решения самых разнообразных задач по исследованию и оптимизации систем. К таким задачам можно отнести, например, разработку и оптимизацию технологического процесса, формирование оптимальной структур-

но-функциональной организации фирмы, обслуживающей заявки клиентов, оптимизацию многоканальной системы связи, прием и обработку различных сигналов и т.п. Была разработана методология системного анализа, включающая в себя принципы, методы и средства для исследования систем и реализации выбора в виде формализованных процедур.

В настоящее время ни одна серьезная проблема не может быть решена без комплексного участия специалистов различных научных направлений. Системный анализ позволяет существенно облегчить взаимное понимание этих специалистов, говорящих на различных профессиональных языках и соответственно по-разному мыслящих. В результате можно сделать вывод, что системный анализ – это междисциплинарное научное направление.

Поэтому сейчас важно дать студентам знания о методологии системного анализа применительно к решению широкого круга задач, охватывающих не только узкоспециализированные направления в рамках изучаемых ими дисциплин, но и смежные области науки и техники.

Основная цель настоящего пособия – в доступной форме ознакомить студентов с основными принципами и методами системного анализа сложных объектов различной природы на всех этапах их исследования, начиная от постановки проблемы, формулирования целей, задач до принятия решений по результатам анализа.

В конечном итоге студенты должны овладеть навыками системного мышления, которые должны быть положены в основу их будущей деятельности в самых разнообразных направлениях.

В пособии приведен ряд примеров системной постановки задач, а в приложении представлены конкретные решения нескольких задач с использованием методологии системного анализа.

Значительное место в пособии уделено системной постановке экспериментов с целью формирования математико-статистических моделей систем и последующего их использования для решения исследовательских и оптимизационных задач.

1. Задачи системного анализа.

Состояние и поведение любого объекта может определяться многими факторами, связанными как с внутренней его структурой, так и с внешними воздействиями. Поэтому для решения различных задач по проектированию, изучению объекта и управлению им, начиная с постановки проблемы и формулирования цели, необходимо учитывать его сложность, комплексность, многокритериальность. К настоящему времени сформировалось научное направление - “теория систем”, в рамках которого создана теоретическая основа для исследования сложных объектов, базирующаяся на понятии “система”. Существует много определений понятия “система”. Наиболее общее из них: система - совокупность элементов и отношений между ними, образующая единое целое.

Развитие теории систем в прикладном направлении привело к формированию методологии системного анализа. Эта методология ориентирована на решение конкретных практических задач в области исследования и проектирования сложных систем с использованием комплекса аналитических и модельных методов. Объектами исследования могут быть самые разнообразные системы, например, технические, технологические, биологические, биотехнические, экологические, социологические, экономические и др..

Примеры постановки задач с системных позиций и идентификации объектов исследования как систем.

Пример 1: проектирование многоканальной системы обслуживания заявок. В качестве такой системы можно рассматривать, например, многоканальную линию связи, систему приема и обработки корреспонденции, процесс обслуживания пациентов в поликлинике, клиентов в парикмахерской и т.п. Исходные данные: интенсивность потока заявок и среднее время обслуживания одной заявки. Необходимо вычислить количество каналов обслуживания (рабочих мест) и время их работы, обеспечивающие минимизацию очереди (в идеале 0 человек) и заданную среднюю загрузку каналов не ниже определенного уровня. Возможен другой вариант постановки задачи: обеспе-

читать максимальную среднюю загрузку каналов при заданном пределе величины очереди. Это оптимизационные задачи. На рис.1.1. представлена блок-схема системы.

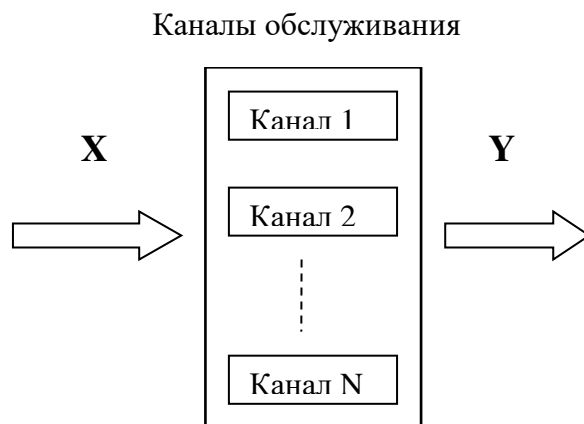


Рис.1.1. Блок-схема многоканальной системы обслуживания.

Усл. обозн.: X – поток заявок, Y – поток обслуженных заявок.

Пример 2. Оптимизация работы оператора в условиях комбинированного воздействия факторов среды. На рис.2.1. схематически представлена исследуемая система.

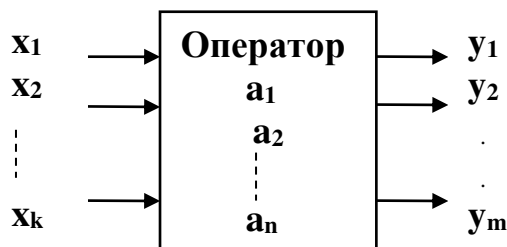


Рис.2.1. Блок-схема исследуемой системы.

В системе объединены следующие характеристики: факторы, создающие помехи (x_1, x_2, \dots, x_k), параметры, характеризующие оператора (a_1, a_2, \dots, a_n), и результирующие характеристики работы (y_1, y_2, \dots, y_m).

Необходимо решить, как минимум, две задачи: во-первых, исследовать комбинированное влияние исследуемых факторов на результирующие характеристики (количество ошибок в течение заданного срока, максимальную длительность бесперебойной работы и т.п.). При этом необходимо учитывать индивидуальные параметры, характеризующие оператора, его особенности.

И, во-вторых, важно определить границы области нормы в пространстве воздействующих факторов, т.е. нормировать факторное пространство.

Пример 3. Оптимизация технологического процесса. Процесс можно представить в виде простой схемы (рис.3.1:



Рис.3.1. Схема системы в виде «черного ящика».

Система рассматривается как «черный ящик», так как обозначены только ее вход и выход, а информация о внутренних механизмах и процессах отсутствует или не учитывается. Вход системы – совокупность факторов (x_1, x_2, \dots, x_k), которые определяют процесс на всех его основных этапах. К таким факторам можно отнести, например, характеристики исходного материала, который должен быть подвержен обработке и преобразованиям, величины настроечных параметров оборудования, параметры воздействия на обрабатываемые объекты (информационного, механического, термического, химического и т.п.). К выходным характеристикам (y_1, y_2, \dots, y_m) относятся, например: количество выходного продукта в единицу времени, оценка брака, объем преобразованной информации, затраты электроэнергии и т.п.

Необходимо добиться максимума величины одной из выходных характеристик (целевой функции) при заданных ограничениях, которые накладываются на величины других характеристик.

2. Основные определения понятия «система», свойства систем.

Существует много определений понятия «система». Ниже приведены три из них, широко охватывающие основные свойства систем.

Общее определение. Система – это совокупность элементов и отношений между ними, образующие единое целое. Элемент – это составная часть системы, вглубь которой на заданном уровне анализ не распространяется.

Информационное определение системы. Система – это объект, обладающий хотя бы одним входом, одним выходом и характеризующийся законом поведения, связывающим вход и выход.

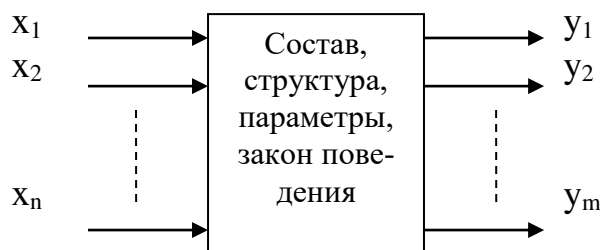


Рис.2.1. Схематическое представление информационного определения понятия “система”.

Как следует из рис.2.1., система характеризуется составом, структурой, параметрами и законом поведения.

Состав и структура – это множество элементов системы и все возможные отношения между ними. Параметры – это величины, которые можно считать постоянными на заданном промежутке анализа системы, например, возраст человека, пропускная способность канала связи, объем двигателя (u_1, u_2, \dots, u_k).

Закон поведения можно представить как функциональную зависимость выхода от входа и параметров системы:

$$y_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_k),$$

где y_1, \dots, y_m – выходные переменные.

Теоретико-множественное определение понятия система. Система – это класс множеств $S = \{M_S, L_S, K_S\}$, содержащая минимум три подкласса множеств (Рис.2.2.), где:

M_S – подкласс множеств элементов рассматриваемой системы (S);

L_S – подкласс множеств, образующийся в результате деления элементов системы S на подэлементы (подсистемы);

K_S – подкласс множеств, в которых рассматриваемая система сама выступает в качестве элемента (подсистемы).

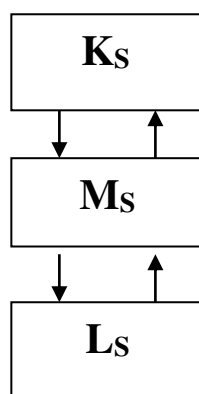


Рис.2.2. Схематическое представление многоуровневой организации системы.

Данное определение системы отображает иерархичность организации природы, где рассматриваемая система S может включать в себя множество взаимосвязанных между собой уровней. Например, организм человека можно исследовать на молекулярном, клеточном, органном и организменном уровнях.

Любую систему можно представить в виде блок-схемы или графа, отображающую ее структуру, т.е. совокупность ее элементов и их взаимодействий.

Блок-схема – это графическая регистрация устройства системы, где отдельные элементы изображены в виде прямоугольников, а связи между ними – стрелками. Внутри блока может быть буквенное обозначение названия, формулы, параметры и так далее.

В этом случае блок-схема может называться функцией.

Граф – это графическое представление структуры системы, где каждый элемент отображен точкой, а связи линиями и стрелками, соединяющие эти точки.

Основные свойства систем:

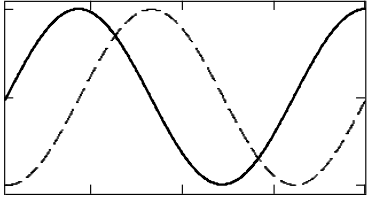
Целостность (единство). Означает, что система отделена от внешней среды, а среда может оказывать на нее воздействие через входы и воспринимать отклик (реакцию) на эти воздействия через выходы системы.

Структурированность. Означает, что система разделена внутри на подсистемы, связанные и взаимодействующие между собой также, как рассматриваемая система взаимодействует с внешней средой. При этом возможна различная структуризация системы, например, многоуровневость, иерархичность и т.д..

Целенаправленность означает задание некоторой цели, в соответствии с которой работает система. Достижение этой цели свидетельствует о правильной работе системы.

Таблица 2.1.

Примеры систем

Система	Вход	Выход	Цель
Средства технической диагностики	Воздействие на систему	Параметры реакции	Оценка состояния соответствия подсистем
Экосистема «зайцы-волки»	Пища для зайцев	Численность волков и зайцев	Поддержание состояния динамического равновесия 
Технологический процесс	Исходные материалы, параметры процесса.	Производительность системы, качество продукции и т.д.	Производство продукта, выполнение определенной процедуры, услуги
Терморегуляция тела человека	Измерение t^0 среды	$t^0 = \pm 36,6 \text{ } ^\circ\text{C}$	Поддержание температуры на одинаковом уровне
Бюрократ	Бумага	Бумага	Деньги

3. Методы описания систем.

Существуют 4 основные описания системы: функциональное, морфологическое, информационное, генетико-прогностическое

Функциональное описание системы.

Включает описание функций, процессов, переменных и параметров, которые определяют законы функционирования и эффективность системы.

Позволяет связывать воздействие на систему с её реакцией, поведением, воздействием на другие системы.

Эффективность функционирования системы – это степень соизмерения результата функционирования с затратами, то есть какой ценой достигается поставленная цель. Эффективность определяется параметрами качества, обычно совокупностью нескольких параметров. К таким параметрам можно отнести, например, для оператора - скорость реакции, концентрация внимания, устойчивость в работе; для систем связи - пропускную способность, помехоустойчивость; для вычислительных систем - быстродействие, память.

Примеры оценки эффективности: отношение точности прибора к цене, отношение мощности двигателя автомобиля к расходу бензина.

Если система начинает противодействовать неблагоприятному воздействию среды или другой системы, то её эффективность начинает уменьшаться. Это закономерность выражается принципом Ле-Шателье: поддержание стабилизирующего процесса в условиях внешних воздействий требует некоторого уменьшения эффективности системы.

Существуют определенные пределы изменения параметров и переменных системы, вне которых система разрушается. Можно ввести понятие запаса прочности, т.е. резервных возможностей системы относительно достижения этих пределов. Понятие запаса прочности на уровне системы существенно отличается от такового на уровне отдельных элементов.

Функциональное описание системы S_Φ формально можно представить как кортеж (последовательность объектов, функций) из 8 символов:

$$S_\Phi = \{X^+, X^-, Y, A, T, G, R, F\},$$

где: X^+ - множество входных воздействий (входов) в систему ($x^+ \in X^+$)

X^- - множество выходов в системе ($x^- \in X^-$);

Y - множество переменных, характеризующих свойства системы и изменяющиеся во времени;

A - множество параметров, характеризующих свойства системы, постоянных в течение времени её рассмотрения и влияющие на выход системы (a) ($a \in A$);

T - множество значений параметров процесса в системе (например, характеристики динамики: период колебаний, частота). Однако чаще всего выбирается параметр времени (t): ($t \in T$);

G, R, F – правила формирования функции

G - правило определения величин переменных состояния Y в зависимости от входа (X^+), параметров (A) и параметров процесса (T):

$$Y = G(X^+, A, T);$$

R – правило определения выходных величин (X^-) в зависимости от входа (X^+), параметров A , переменных состояний Y и параметров процесса (T):

$$X^- = R(X^+, Y, A, T);$$

F – правило определения выходных характеристик системы (X^-) в зависимости от входа (X^+), параметров A и параметров процесса (T):

$$X^- = F(X^+, A, T).$$

Если исключить из функции параметр времени, то модель будет статической. Если выходов много, то строится система функций, система уравнений.

Пример функционального описания системы: моделирование технологического процесса (рис.3.):

Вход: X^+ : x_1 – настроечный параметр, определяющий чувствительность фотодатчика при считывании информации об объекте; x_2 – настроечный параметр, определяющий время экспозиции объекта.

Выход: X^- - оценка производительности системы (F). Это количество обработанных объектов в заданный период анализа.

Параметр системы (a): степень изношенности системы.

Переменные(Y): y_1 - объем потребляемой энергии, y_2 – количество сбоев в работе системы в заданный промежуток времени.

Параметры процесса(T) – время (t), а также заданные интервалы анализа процесса.:

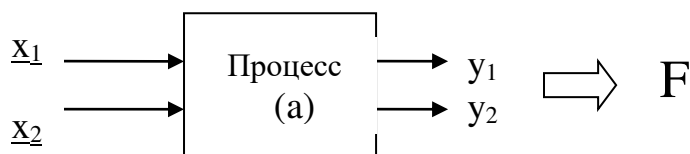


Рис.3.1. Схематическое представление исследуемой системы.

В результате математической обработки результатов спланированного эксперимента с системой строится модель, количественно описывающая зависимость ее производительности от комбинированного воздействия настроечных параметров (входа) системы.

$$F = f(x_1, x_2).$$

Эту модель можно представить в виде полиномиальной зависимости выхода от входа при зафиксированном значении величины a :

$$F = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2. \quad (3.1)$$

Коэффициенты модели являются оценками силы и направления влияния каждого из исследуемых факторов (b_i), их комбинации (b_{12}) и квадратичных влияний (b_{ii}). В дальнейшем эта модель может быть использована для оптимизации настройки системы, а, значит, и технологического процесса.

Морфологическое описание системы.

Позволяет судить о составе элементов связях между ними и структуре системы в целом:

$$S_M = \{P, V, C, K\},$$

где: P – множество элементов, их состав и свойства; V – множество связей между элементами; C – структура, определяющая множество элементов и отношений между ними; K – конфигурация, т.е. пространственное расположение элементов, их геометрические свойства.

Состав и свойства элементов (P). Элемент – это простейшая, неделимая часть системы. Это подсистема, внутри которой морфологическое описание не проникает, т.е. неделимая частица для соответствующего уровня рассмот-

рения системы. Например, в системе управления предприятием элементами можно считать подразделения аппарата управления. Если же опуститься до уровня управления одним подразделением, то в качестве элементов системы можно рассматривать каждого сотрудника или операцию, которую он выполняет.

По содержанию элементы делятся на: информационные, энергетические, вещественные и смешанные.

Информационные элементы предназначены для приема, запоминания и преобразования информации. К ним можно отнести, например, устройства памяти в компьютере, символы в информационном сообщении, чувствительные элементы в различных датчиках.

Энергетические элементы предназначены для генерации, приема, преобразования и передачи энергии. Примерами могут быть лампочка, электрический трансформатор или преобразователи пищи в тепловую энергию в организме.

Вещественные элементы можно видеть, они обладают массой (клетки крови, детали технического устройства).

Смешанные элементы могут обладать одновременно свойствами нескольких из перечисленных элементов. Например, рецепторы организма, являясь вещественными элементами, выполняют информационные функции при приеме и преобразовании определенной информации.

Элементный состав может быть: гомогенным, содержащим однотипные элементы, гетерогенным, включающим в себя разнотипные элементы, и смешанным.

Связи элементов (V). По содержанию связи бывают информационные, энергетические, вещественные и смешанные. По направлению связи могут быть прямыми, обратными и нейтральными. Прямые связи предназначены для передачи вещества, энергии, информации или их комбинаций от одного элемента к другому в соответствии с выполняемыми функциями. Обратные связи, в основном, выполняют функцию управления процессами. Бывают по-

ложительные и отрицательные обратные связи. Первые из них чаще всего обеспечивают стабилизацию процесса, поддержание его на заданном уровне. Примерами могут быть система управления температурой тела и автопилот.

Положительные обратные связи также играют важную роль в системах управления. Например, такая обратная связь обеспечивает переход различных подсистем из одного состояния в другое.

Нейтральные связи могут иметь место в интеллектуальных, самоорганизующихся системах. Так, в организме человека они являются исходным ресурсом для формирования как положительных, так и отрицательных обратных связей.

Структура (С). Структура - это множество элементов и всех возможных отношений между ними. Примерами структур могут быть: структура извилин мозга, структура студентов на курсе, структура государственного устройства, структура кристаллической решетки вещества, структура технологической линии, структура микросхемы и др. Кристаллическая решетка алмаза - структура неживой природы; пчелиные соты, полосы зебры - структуры живой природы; озеро - структура экологической природы; партия (общественная, политическая) - структура социальной природы; Вселенная - структура как живой, так и неживой природы.

Основные типы структур: линейные, иерархические, многосвязные, смешанные структуры.

Линейная структура:

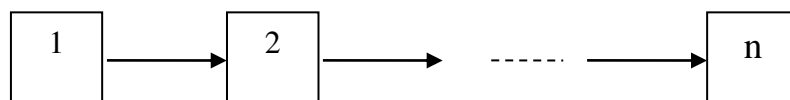


Рис. 3.2.. Структура линейного типа.

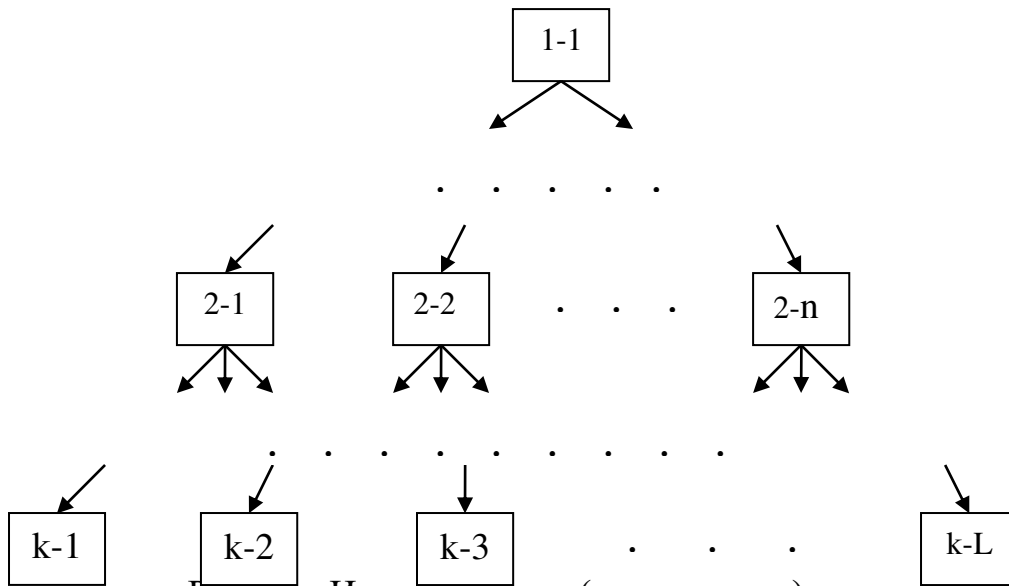


Рис.3.3.. Иерархическая (древовидная) структура.

Усл. обозн.: первая цифра – номер уровня, а вторая - номер элемента на этом уровне.

В иерархических структурах различают управляющие и подчиненные подсистемы, при этом каждая система является либо управляющей либо подчиненной по отношению друг к другу. Любая подчиненная подсистема непосредственно взаимодействует только с одной управляющей системой

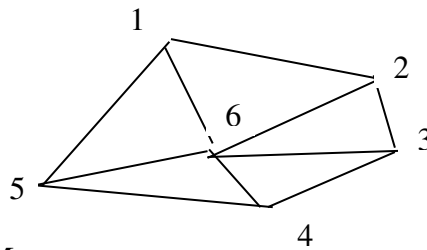


Рис.3.4.. Многосвязная структура из шести элементов.

В многосвязной структуре управляющие функции распределены между всеми элементами или группами элементов. Здесь функционирует лидирующая подсистема, являющаяся управляющей по отношению к наибольшей части подсистем.

Смешанные структуры объединяют рассмотренные типы структур.

Устойчивость межэлементных отношений.

По степени устойчивости межэлементных отношений можно выделить три основные группы структур: детерминированные, вероятностные и хао-

тичные. В детерминированных структурах отношения между элементами неизменны, стабильны либо изменяются по некоторому определенному закону.

В вероятностных структурах взаимоотношения между элементами определяются вероятностными, стохастическими законами.

В хаотических структурах система связей между элементами непредсказуема.

Конфигурация системы (К) – это пространственное расположение элементов, их геометрические свойства. Виды основных конфигураций:

- Точечная. Размеры по трем осям координат одного порядка и имеют минимальные размеры по отношению к системе.
- Линейная. Вытянута в линию. Ее размер в одном направлении больше, чем в двух других направлениях.
- Плоскостная. Развернута по двум координатам.
- Объемная. Равномерно развернута во всех трех координатах. В нее могут входить точечные элементы.
- Смешанная, например, молекула ДНК, которая имеет объемно спиральную структуру, совмещая линейную и объемную конфигурации.

Информационное описание системы.

Характеризует систему с информационных позиций, т.е. определяет уровень организованности или дезорганизованности системы.

Основные характеристики:

Энтропия (H) – мера беспорядка, степень хаоса:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i, \quad (3.2)$$

где: n – количество событий или состояний которые принимает система;
 p_i – вероятность i – го события или состояния.

Если события равновероятные, то энтропия максимальна: $H = \log n$.

Информация (I)– мера упорядоченности. За единицу информации принимается бит, т.е. неопределенность случайного объекта с двумя равновероятными состояниями ($n=2$) с основанием логарифма, равного двум:

$$H = -\sum_{i=1}^2 1/2 \log_2 1/2 = -1/2 \log_2 1/2 - 1/2 \log_2 1/2 = 1 \text{ бит.}$$

Пример1: бросание шестигранного кубика. Чем больше неопределенность объекта (события), тем больше информации получено при наступлении события, тем больше устранено неопределенности. Первый вариант- все грани разные и выпадение той или иной грани равновероятно:

$$p_i = 1/6; \quad I = -\sum_{i=1}^6 1/6 \log_2 1/6 = 2,58 \text{ бит, или } I = \log_2 6 = 2,58 \text{ бит.}$$

Второй вариант: присвоим четырем граням цифру “1” а двум граням - цифру “2”:

$$I = -4/6 \log_2 4/6 - 2/6 \log_2 2/6 = 0,91 \text{ бит.}$$

Во втором варианте степень неопределенности меньше, чем в первом. Поэтому количество информации меньше.

Пример2: ремонтное обслуживание прибора из двух блоков. Система может находиться в одном из четырех состояний: S_0 – оба блока функционируют нормально; S_1 – неисправен первый блок; S_2 – неисправен второй блок; S_3 – вышли из строя оба блока (Рис.7). Если вероятность наступления любого из перечисленных состояний равновероятна: $P_0 = P_1 = P_2 = P_3 = 0,25$ (старый прибор), то энтропия системы максимальна: $H = \log_2 4 = 2$ бит.

Если же прибор новый, то величина энтропии меньше. В таком случае можно принять следующие вероятности наступления состояний: $P_0 = 0,7$;

$P_1 = P_2 = 0,12$; $P_3 = 0,06$. При этом:

$$H = -0,7 \log_2 0,7 - 2 \cdot 0,12 \log_2 0,12 - 0,06 \log_2 0,06 = 1,33 \text{ бит.}$$

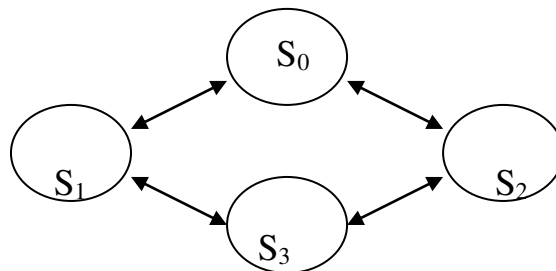


Рис.3.5.. Схема системы.

Определение степени сложности и организации системы

Организация системы (R):

$$R = 1 - H / H_m, \quad (3.3)$$

где: H – оценка энтропии; H_m – максимально возможное значение энтропии: $H_m = \log n$.

Оценка организации системы (R) изменяется от 0 до 1. Если $H = H_m$, то организация системы равна 0. Например, для представленной выше системы из двух блоков в первом случае ($P_0 = P_1 = P_2 = P_3 = 0,25$) величина организации системы равна нулю: $R = 1 - 2/2 = 0$. Во втором же случае для новой системы ($P_0 = 0,7; P_1 = P_2 = 0,12; P_3 = 0,06$): $R = 1 - 1,33/2 = 0,345$.

Передача информации. Скорость передачи информации по каналу связи (V) определяется количеством бит информации, передаваемой в единицу времени: $V = I/T$ (бит/ ед.времени).

Пропускная способность канала (C) – это максимальное количество информации (I_{max}), передаваемое по каналу в единицу времени (T): $C = I_{max}/T$.

Емкость канала – это минимально необходимая пропускная способность для передачи сигнала без искажений.

Пример расчета емкости канала связи для передачи электрокардиосигнала (ЭКС).

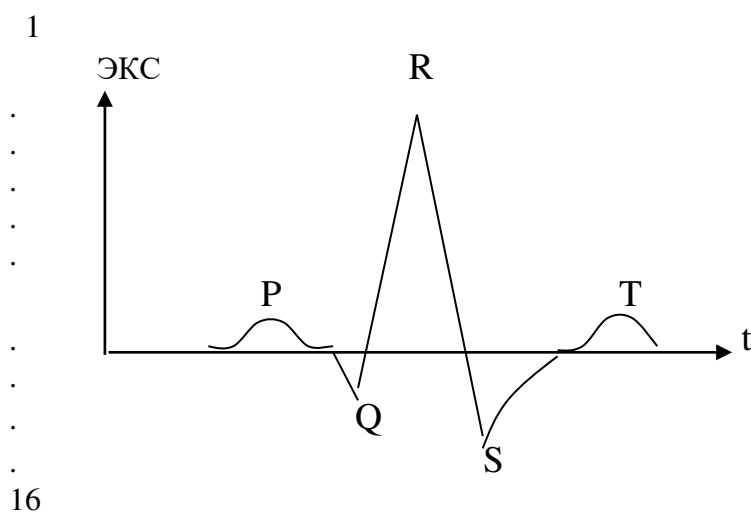


Рис.3.6.. Изображение одного цикла ЭКС

Необходимо определить два параметра: количество отсчетов по амплитуде (дискретизацию по вертикали - n) и число отсчетов в единицу времени - секунду (дискретизацию по времени).

Если принять, что предельные амплитудные соотношения элементов ЭКС составляют 1: 8 (зубцы Р и R), а для различения зубца Р необходимо минимум 2 отсчета по амплитуде, то целесообразно выбрать минимальное число дискретных уровней сигнала $n=16$. В результате измерение каждого уровня сигнала дает количество информации: $I=\log_2 16$.

Для определения количества отсчетов в секунду необходимо знать минимальную продолжительность элементов ЭКС. Если принять минимальную длительность зубца QRS, равную 0,05 сек., и определить число отсчетов во времени для индикации зубца QRS равным 5 (1 выбор в 0,01сек), то скорость передачи будет составлять 100 отсчетов в секунду.

В результате минимально допустимая пропускная способность канала (С) должна быть:

$$C=100 \log_2 16= 400 \text{ бит/сек..}$$

Понятие ценности информации. Оценка количества информации еще не определяет ее ценность. Оценка ценности должна отражать важность, достаточность информации. С целью оценки ценности информации необходимо найти разность между энтропией, характеризующей информацию априорную, т.е. до события, и энтропией апостериорной, соответствующей информации, полученной после события.

Например, в результате первичного осмотра врач предполагает, что равновероятно возможно одно из двух заболеваний ($p_1=p_2=0,5$). Значит, количество энтропии, характеризующей априорную информацию (H_1) равно:

$$H_1 =\log_2 2=1 \text{ бит.}$$

После получения анализов (второй визит) оказывается, что наиболее вероятно первое заболевание: $p_1=0,7$; $p_2=0,3$. Количество энтропии (H_2) равно:

$$H_2 = -0,7\log_2 0,7 - 0,3 \log_2 0,3 = 0,87\text{бит..}$$

Здесь количество энтропии уменьшилось ($H_2 < H_1$), т.е. ситуация стала более определенной. В результате ценность полученной информации (I) составляет:

$$I = H_1 - H_2 = 1 - 0,87 = 0,13 \text{ бит.}$$

Аналогичная ситуация может иметь место в задачах очистки принимаемого сигнала от помех или его расшифровки.

Генетико-прогностическое описание системы.

Характеризует процесс зарождения системы, эволюцию ее развития, прогноз дальнейшего существования, распада, деградации системы. Этот процесс характерен не только для живой природы. Практически каждая система может иметь определенный жизненный цикл. Например, политическая партия, трудовой коллектив, объединенный единой целью, техническая система, если ее рассматривать в эволюции, т.е. от момента создания и до периода старения как физического, так и морального.

С позиции генетико-прогностического описания можно подойти к оценке, например, технического уровня системы, анализируя в сравнительном аспекте соответствие технического уровня каждой ее подсистемы определенному этапу эволюционного развития таких подсистем. В то же время, в процессе создания новой техники важно проанализировать основные тенденции исторического развития аналогов разрабатываемой системы и ее отдельных элементов.

4. Алгоритм системного анализа

В целом процедуру системного анализа можно представить в виде последовательности следующих этапов:

- постановка проблемы и проблематики;
- выявление целей;
- формирование критериев;
- генерирование альтернатив;
- идентификация системы;
- моделирование;
- исследование системы (объекта);

- выбор (принятие решений);
- внедрение.

Алгоритм можно разделить на 2 части: проблемный цикл формирования конкретной системы, которая в дальнейшем и будет объектом исследования и собственно исследование системы, т.е. решение поставленных задач.

Постановка проблемы и проблематики.

Проблема – это вопрос, задача, требующая разрешения, исследования.

Первый шаг в системном анализе связан с формулированием проблемы. Обычно на этом этапе системного анализа уже существует проблема, ее формулировка. Но это лишь первое нулевое приближение постановки проблемы. Так например, инициализатор системного анализа – *заказчик* – уже сформулировал проблему на своем языке, со своих позиций, но необходимо учитывать не только его точку зрения, но и позиции других сторон. Таким образом происходит расширение проблемы до проблематики.

Проблематика – это совокупность взаимосвязанных проблем (система проблем).

В процессе расширения проблемы до проблематики необходимо учесть видение проблемы со стороны всех заинтересованных лиц, а также и тех, кто не заинтересован в ее решении. Например, сюда можно включить: клиента, который ставит проблему, заказывает и оплачивает ее решение, лиц, принимающих решения, от полномочия которых зависит решение проблемы, исполнителей, участников, чьи действия потребуются для решения проблемы, а также на которых могут сказаться последствия решения проблемы, системного аналитика.

При формировании проблематики необходимо определить и преодолеть, как минимум, 3 препятствия:

- различия в критериях оценки факторов и отсутствие общего языка общения в процессе постановки проблемы среди участников;
- недостаточная структуризация исходной информации, недостаток исходных данных и априорных знаний об объекте исследования;

- наличие помех – случайных или умышленных.

Пример постановки проблемы: низкая эффективность медицинского обслуживания населения. Это глобальная проблема. Необходимо определить проблематику, т.е. систему проблем, организованных по иерархическому признаку.

Проблемы первого уровня: недостаточное количество медицинских центров, дефицит койко-мест, проблема кадров, слабое обеспечение машинами скорой помощи и др. Проблема финансирования, касается всех уровней проблематики. Каждая из этих проблем является головной для проблем 2-го уровня: недостаток современной медицинской техники (МТ), проблемы ее эксплуатации, недостаточная квалификация персонала для работы с новой техникой и др.

Проблемы третьего уровня (на примере развития проблемы эксплуатации МТ): плохо организованная структура парка МТ (прибор должен использоваться адекватно и оптимально), плохая организация ремонта, проблема кадров технического обслуживания и т.д.

Аналогично можно строить систему проблем повышения эффективности почтового, транспортного, коммунального, социального и других видов обслуживания населения.

Выявление целей.

На данном этапе системного анализа необходимо определить, что надо сделать для снятия проблем в отличие от последующих этапов системного анализа, объясняющих, как это надо сделать.

Главная трудность выявления цели состоит в том, что цель является как бы антиподом проблемы. Формулируя проблему, мы говорим, что нам не нравится. Говоря же о цели, мы пытаемся сформулировать, что же мы хотим.

Цели можно представлять в виде системы, организованной по аналогии с системой проблем, т.к. для решения каждой проблемы нужно ставить свою цель. Имеется глобальная цель, а затем существует иерархия локальных целей.

Например, глобальная цель для предыдущего примера – улучшение медицинского обслуживания населения. Локальные цели: капитальное строительство, увеличение парка машин скорой помощи, модернизация оборудования, внедрение новых методик обследования и лечения, приобретение соответствующего оборудования и МТ. Таким образом, для каждой проблемы ставится конкретная цель: что нужно сделать.

Формирование критериев.

Критерий – это мера близости к достижению цели. Цель в процессе ее достижения характеризуется критериями. Цели могут быть однокритериальными и многокритериальными.

Пример однокритериальной цели: повышение производительности технологической линии. Критерий – количество выпускаемой продукции в единицу времени. Пример многокритериальной цели: повышение эффективности работы измерительной системы. Критерии: чувствительность и помехозащищенность.

Генерирование альтернатив.

Альтернатива – это вариант, одна из двух или более возможностей достижения цели. На множестве альтернатив осуществляется выбор, принятие решения. Любая разработка новой системы предполагает генерирование альтернатив, вариантов разработки, начиная от глобальной идеи и заканчивая выбором отдельных элементов системы. Генерирование альтернатив – это творческий процесс выдвижения идей о возможных способах достижения цели.

Способы генерирования альтернатив:

- поиск альтернатив в патентной и журнальной литературе;
- привлечение нескольких квалифицированных экспертов;
- увеличение числа альтернатив за счет их комбинирования;
- модификация имеющейся альтернативы;
- включение альтернатив противоположных предложенным (от противного);

- интервьюирование заинтересованных лиц и анкетные вопросы;
- включение альтернатив, кажущихся глупыми на первый взгляд.

Методы генерирования альтернатив.

Мозговой штурм: собирается группа лиц, отобранных для генерации альтернатив. Главный принцип отбора - разнообразие индивидуальностей. Приветствуются любые идеи, возникшие как индивидуально, так и по ассоциации с выслушанными идеями других лиц. Категорически запрещается любая критика; каждый по очереди зачитывает свою идею, а остальные слушают и записывают на карточки новые мысли, возникшие под влиянием услышанного. Затем все карточки собираются, сортируются (обычно другой группой экспертов). Возможно увеличение числа “глупых идей”, они приветствуются, но впоследствии их можно легко исключить.

Например, во время войны стояла проблема противодействия минам и торпедам противника на море. Для ее решения был проведен “мозговой штурм”. Цель: предложить способы, методы защиты от мин и торпед. В числе различных альтернатив была предложена “глупая идея”: как только будет обнаружена мина, вся команда встанет к борту и дунет на нее. Это вроде бы несерьезное предложение было положено в основу разработки мощных насосов, которые создавали потоки воды, отталкивая опасные объекты (ассоциативное решение).

Синектика . Предназначена для генерирования альтернатив путем ассоциативного мышления, поиска аналогий поставленной задаче. С этой целью формируется группа из 5-7 чел., отобранная по признакам гибкости мышления, практического опыта, психологической совместимости, общительности, подвижности. Используются четыре вида подобия: прямое, косвенное, условное, фантастическое. Так, например, можно представить, что дорога существует только непосредственно под колесами автомашины, а вокруг облака, космос. Такая аналогия могла бы быть (а возможно, и была) предпосылкой для создания гусениц. Существует научное направление – бионика,

основанное на использовании структурных и функциональных особенностей биологических объектов в разработке технических систем.

Разработка сценариев. Сценарий – гипотетическое, альтернативное описание того, что может произойти в будущем. Искомое решение должно определить реальное будущее течение событий. Одним из основных методов разработки сценариев является моделирование событий. При этом важно иметь, как минимум, два сценария развития событий: наилучший (верхний) и наихудший (нижний). Выбирая альтернативу необходимо учитывать ее перспективы: соответствует ли она будущим возможным событиям. Так, например, в процессе разработки новой техники важно учесть различные варианты дальнейшего развития ее аналогов и тех требований, которые будут предъявляться к этой технике в будущем.

Морфологический анализ. Метод состоит в выделении всех независимых переменных проектируемой или исследуемой системы, перечислении всех возможных значений этих переменных и генерировании альтернатив путем перебора всех возможных сочетаний этих значений.

Пример из области разработки системы телевизионной связи. В табл.4.1 приведены основные переменные, определяющие телевизионный прием. Эта таблица порождает 384 различных возможных вариантов телевизионного приема ($8 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2$). Современному вещанию соответствуют, несколько альтернатив, например: 1.4 - 2.1- 3.1(2) - 4.2(3) -5.1 -6.1. Имеется повод для размышления.

Деловые игры – это имитационное моделирование реальных ситуаций, в процессе которого участники игры ведут себя так, будто они в реальности выполняют порученную им роль. Например: штабные игры, маневры, работа на тренажерах. Важную роль в деловых играх играют контрольно–арбитражные группы, регистрирующие ход игры, управляющие моделью, обобщающие результаты игры.

Величины независимых переменных телевизионного приема

Независимая переменная	Значения переменной
1) цвет изображения	1) черно-белый 2) одноцветный 3) двухцветный 4) трехцветное . . . 8) семицветный
2) размерность изображения	1) плоское 2) объемное
3) градации яркости	1) непрерывная (аналоговая) 2) дискретная
4) звуковое сопровождение	1) без звука 2) монозвук 3) стереозвук
5) передача запахов	1) без передачи запахов 2) с сопровождением запахов
6) обратная связь	1) без обратной связи 2) с обратной связью

Идентификация системы включает в себя:

- определение границы того, что считается системой. С этой целью необходимо определить вход и выход системы. Например, входом может быть воздействие на систему комплекса факторов: внешних (энергетических, вещественных, информационных) и внутренних, определяющих ее состояние;

- определение структуры системы, выявление основных ее частей (модулей), установление их роли и места в системе. Системы могут быть без обозначения внутренней структуры. Определяются только вход и выход (принцип черного ящика). С другой стороны, существуют системы, в которых обо-

значены элементы до мельчайших подробностей, когда необходимо представить механизмы процесса, явления;

- определение причинно-следственных связей и типов этих связей. Вводятся параметры системы, переменные, а в подсистеме управления - управляющие факторы. Даются основные их характеристики (непрерывные, дискретные, случайные, детерминированные).

В процессе идентификации системы могут использоваться все рассмотренные ранее методы описания систем.

5. Моделирование систем.

При исследовании систем существуют значительные ограничения в проведении экспериментов с ней. Обычно по разным причинам (сложность, громоздкость, опасность для жизни и т. д.) приходится рассматривать не саму систему, а формальное описание тех ее особенностей, которые существенны для достижения цели исследования.

Модель – это объект (материальный, математическая зависимость, программа для ЭВМ, представление о моделируемом объекте), находящийся в отношении подобия к моделируемому объекту.

Моделирование – это исследование объектов познания на их моделях.

Можно выделить три основных вида моделей:

- *натурные* (физические) модели. К ним можно отнести макеты систем, масштабированные модели (увеличенные или уменьшенные копии объектов);

- *вербальные* (интуитивные) модели. Это словесные, описательные модели, основанные на интуитивном представлении об объекте исследования, не поддающиеся точному количественному описанию;

- *знаковые модели*. Основаны на знаковых преобразованиях: схемы, графики, чертежи, формулы, листинги программ. К этим моделям относятся математические модели – системы математических отношений, описывающих изучаемый процесс, объект, явление.

Особое место в классификации моделей занимают *имитационные модели* которые можно отнести к знаковым моделям, хотя они могут включать в себя и элементы физического моделирования. Существует много определений имитационной модели. Обобщая эти определения, можно заключить следующее: Имитационная модель предназначена для имитации поведения реальной системы в численных экспериментах на компьютере. Чаще всего такая модель представляет собой программу для компьютера, которая может реализовать различные логические построения, характеризующие поведение моделируемой системы. В модель могут быть включены определенные функциональные соотношения и генераторы случайных чисел, имитирующие разнообразные вероятностные события. Эти модели позволяют с высокой разрешающей способностью и степенью детализации моделировать поведение сложных многопараметрических систем.

Основные задачи моделирования:

- компактная и формализованная запись представлений о наблюдаемых явлениях и процессах, характеризующая функционирование исследуемой системы. В результате становится возможным на одном формальном языке описывать сложные объекты исследования в различных научных дисциплинах, т.е. обмен знаниями между разными отраслями науки и техники;
- проверка старых гипотез и выдвижение новых;
- исследование поведения системы в экстремальных условиях, т. е. изучение объекта при таких условиях, при которых проведение эксперимента с ним неприемлемо;
- управление исследуемым объектом, оптимизация его структуры, функции;
- прогнозирование процесса;
- систематизация и сопоставление исследуемых объектов.

Можно выделить четыре направления моделирования, представляющих наибольший интерес для исследования и оптимизации систем в рамках настоящего пособия: моделирование на основе интерполяции эксперимен-

тальных данных, моделирование на основе дифференциальных уравнений, вероятностное и имитационное моделирование.

Моделирование систем на основе экстраполяции экспериментальных данных. Необходимым условием построения модели является получение сведений о системе на основе проведения наблюдений или экспериментов с моделируемым объектом. Эксперименты могут быть “активными” и “пассивными”. Активный эксперимент предполагает проведение многофакторного эксперимента, спланированного в соответствии с методологией математического планирования эксперимента (МПЭ), элементы которой представлены в разделе ”системное проведение эксперимента”. В результате на основе полученных результатов методом наименьших квадратов строится количественная зависимость выходной характеристики системы (y) от комбинированного влияния исследуемых факторов (x_1, x_2, \dots, x_k):

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{ii=1}^k b_{ii} x_i^2$$

Коэффициенты этой модели являются оценками соответствующих влияний: линейного – b_i , квадратичного – b_{ii} и эффектов взаимодействия – b_{ij} . Такая модель является средством для исследования и оптимизации системы, например, технологического процесса. Поставлена задача – добиться максимальной производительности (y_{\max}) при заданных диапазонах изменения величин параметров ($x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$). С этой целью планируется эксперимент в пределах диапазонов изменения параметров. По результатам этого эксперимента строится модель: $y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$, как показано выше. Далее с помощью методов математического программирования вычисляется такое сочетание величин параметров (факторов), которое обеспечит максимальную величину y (y_{\max}). В соответствии с этим настраиваются величины параметров технологического процесса.

“Пассивный” эксперимент ставится бессистемно, величины параметров выбираются исходя из опыта или интуиции исследователя, а во многих случаях случайно. Поэтому построенная по результатам такого эксперимента

модель не дает объективной оценки процесса и не может быть использована в качестве средства для исследования и оптимизации системы.

Моделирование на основе дифференциальных уравнений. Такие модели могут весьма эффективно использоваться для изучения и оценки функционирования механизмов различных процессов и явлений. Очень часто в них в качестве аргумента (независимой переменной) рассматривается время. Для моделирования системы целесообразно использовать систему дифференциальных уравнений. Например в фармакокинетике для оценки динамики распределения концентрации введенного лекарства в различных частях организма простейшем случае используется система из двух уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= -k_1 * y_1, \\ \frac{dy_2}{dt} &= k_1 * y_1 - k_2 * y_2, \end{aligned} \quad (5.1)$$

где: y_1 - концентрация препарата в месте его инъекции (укола), y_2 - концентрация препарата в крови, k_1 - коэффициент всасывания (в кровь). Это величина, обратная периоду полувыведения препарата из места инъекции в кровь, k_2 - коэффициент выведения препарата из организма – это величина, обратная величине полувыведения препарата из организма. Оба эти коэффициента обычно известны. В результате строятся две кривые:

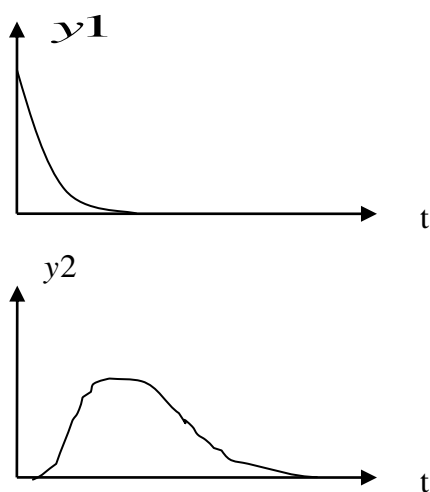


Рис.5.1. Динамика концентрации препарата в месте инъекции (y_1) и в крови (y_2).

Применение таких моделей позволяет в любой момент времени после инъекции оценить концентрацию препарата в различных частях организма, что очень важно для вычисления момента повторной инъекции.

Вероятностные модели. В таких моделях переменные являются случайными числами. При этом задание входного воздействия неоднозначно определяет выход. В качестве простейшей модели можно рассматривать закон распределения переменной, например, распределение числа отказов аппаратуры определенного класса. Эти функции строятся по экспериментальным данным. Существуют стандартные функции распределения, определяющие, например, законы нормального, пуассоновского, биномиального и других распределений.

Например, для моделирования редких случаев отказа или сбоя в работе системы часто используется распределение Пуассона. На рис.5.2. представлена модель надежности работы исследуемой системы в виде такого распределения. В качестве моделируемой системы можно рассматривать, например, стандартный класс технических систем производственного назначения или механизм работы сердца у определенной группы населения; m – количество

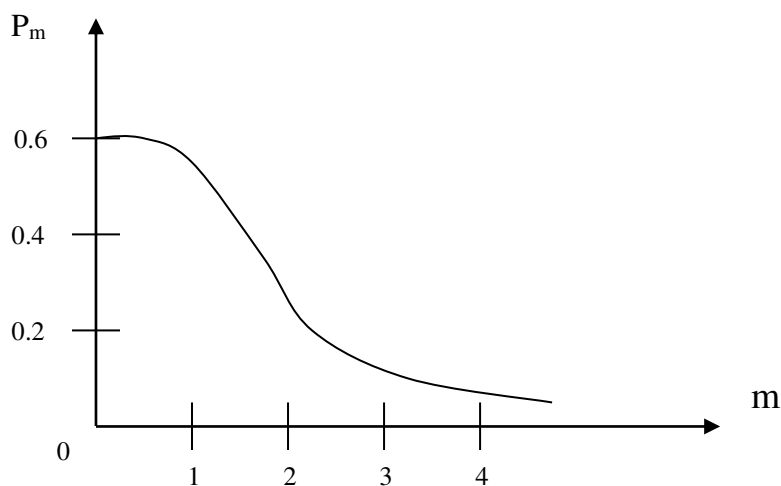


Рис.5.2. Модель вероятности редких событий

сбоев в работе системы в заданный промежуток времени. Так, для сердца этот параметр означает количество экстрасистол за 10 минут у практически здорового человека среди заданной группы людей.

Величина P_m является оценкой вероятности сбоя среди заданной группы людей. На рис.5.2. видно, что 60% обследованных сбоев не имеют ($m=0$), у 20% из них возможны 2 сбоя, а у 10% - 3 сбоя и т.д.

Аналогично можно получать информацию о возможном количестве сбоев в работе любого заданного класса систем.

Такие распределения могут быть использованы при моделировании случайных событий и процессов в компьютерных (имитационных) моделях, которые будут рассмотрены в следующем разделе. С этой целью используется *метод Монте-Карло*.

Метод Монте-Карло – это численный метод решения различных задач при помощи моделирования случайной величины. Иногда этот метод называют методом статистических испытаний. Моделирование случайной величины осуществляется с использованием различных генераторов и таблиц случайных чисел.

Одним из наиболее мощных направлений применения вероятностных моделей является *моделирование систем массового обслуживания*.

Объектом исследования обычно является система обслуживания заявок. Вход системы – поток заявок. Оценивается интенсивность потока заявок, т.е. их количество в единицу времени (λ). Выход системы – это количество обслуженных заявок в единицу времени (μ): $\mu = 1/m_t$, где m_t – среднее время обслуживания одной заявки.

Система может находиться в $n+1$ состояниях: 0, 1, 2, ..., n. Каждое состояние системы определяется количеством занятых каналов обслуживания. Нулевое состояние означает, что все каналы свободны. Например, количество занятых приемщиков корреспонденции может быть 0 (все свободны), 1, 2, ..., n, где n – количество рабочих мест. Аналогично можно рассматривать в качестве состояния количество занятых каналов связи на переговорном пункте, число занятых парикмахеров в парикмахерской и т.д.

В процессе моделирования необходимо вычислить: вероятность загрузки каждого рабочего места (канала) - p_i , стационарность процесса, среднюю дли-

ну очереди, если процесс стационарный. В противном случае очередь будет расти бесконечно. Необходимое условие стационарности процесса:

$$P = \lambda / n\mu \leq 1.$$

Можно определить также следующие параметры:

1. Вероятность отказа ($p_{\text{отк}} = p_n$), т.е. когда все каналы заняты.
2. Вероятность того, что заявка будет обслужена (относительная пропускная способность): ($Q = 1 - p_{\text{отк}}$).
3. Абсолютную пропускную способность (A), т.е. количество заявок, обслуженных системой в единицу времени: $A = \lambda Q$;
4. Среднее число одновременно занятых каналов (K): $K = A / \mu$.

Задача оптимизации системы: определить количество каналов (рабочих мест), обеспечивающее стационарность процесса, минимизировать очередь и максимально загрузить рабочие места. Существуют специализированные пакеты программ для моделирования систем массового обслуживания, например, программа GPSS. Для вычисления основных параметров системы можно также воспользоваться формулами Эрланга (приложение 1). В этом же приложении представлен простой пример расчета одноканальной системы массового обслуживания без очереди.

Имитационное моделирование. Предназначено для имитации поведения реальной системы в компьютерных экспериментах с моделью. Обычно модель представляет собой компьютерную программу, в которую заложены логика поведения и причинно-следственные связи, характерные для моделируемой системы. Примеры имитационных моделей: компьютерные игры, тренажеры.

На рис.5.3. представлен один из вариантов формирования структуры имитационной модели в виде системы вложенных друг в друга циклов (здесь их три): наружный средний и внутренний.

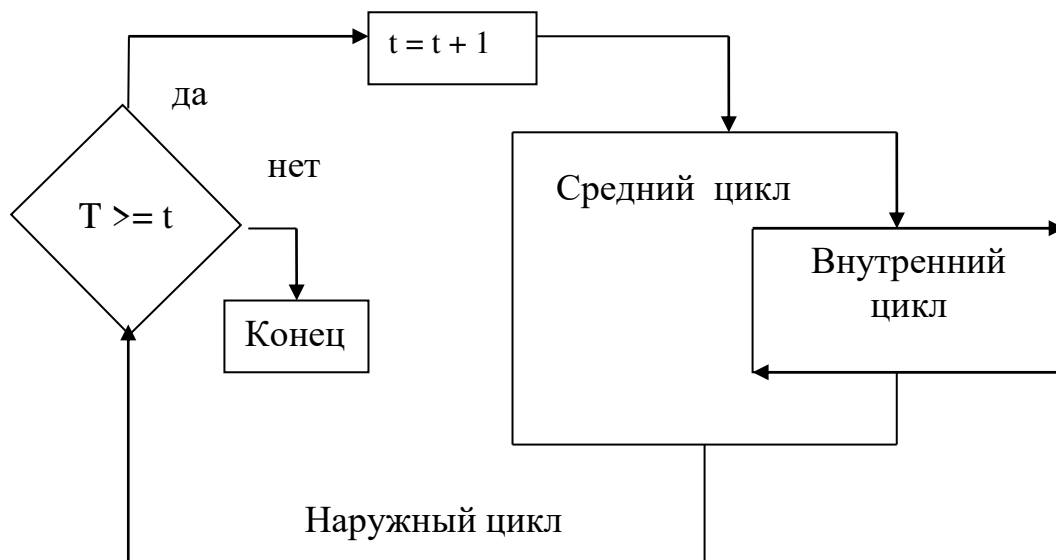


Рис.5.3 .Структура имитационной модели

На уровне внешнего цикла задается динамика процесса в виде последовательности временных интервалов с определенным шагом и количеством (Т). Величина t является счетчиком времени, т.е. определяет количество пройденных к настоящему моменту заданных интервалов времени. Промежуточный цикл необходим для выявления и последовательного перебора элементов системы с заданными свойствами, например, элементов технической системы с повышенным риском выхода из строя, больных людей и т. п. В третьем цикле на основе заданных причинно-следственных связей осуществляется перестройка структуры системы в связи с состоянием каждого из выделенных во втором цикле элементов. Например, воспроизводится вся цепочка возможных сбоев в функционировании системы как следствие высокого риска отказа выделенного элемента (пример 1). Или моделируется заражение новых людей в результате контакта с выделенным во втором цикле больным на текущий момент времени (пример2). В конечном итоге после завершения всего заданного временного цикла моделирования дается оценка возможного поведения системы в соответствии с заданными на входе исходными данными, а именно: моделируется процесс выхода системы из строя в зависимости от заданной надежности, качества различных ее элементов (первый пример) или имитируется динамика заболеваемости в исследуемой группе людей (второй пример).

6. Выбор, принятия решений

Выбор является действием, придающим всей деятельности целенаправленность. В зависимости от поставленной цели в процессе проведения системного анализа необходимо осуществлять выбор альтернатив, т.е. принимать решения.

Принятие решения – это действие над множеством альтернатив, в результате которого получается подмножество выбранных альтернатив. Чаще всего выбирается одна альтернатива.

Для сравнения альтернатив используется критерий предпочтения. Критерий предпочтения – это способ минимизации множества альтернатив с целью выбора наиболее предпочтительных из них.

Примеры задач выбора: выбор аппаратуры, адекватной решению поставленных задач и соответствующей материальным возможностям организации, выбор метода решения задачи, конкурсный отбор проектов, задачи профессионального отбора, постановка диагноза, выбор варианта лечения и т.д.

Для выбора альтернатив необходимо, во-первых, описать свойства альтернатив и, во-вторых, выбрать метод выбора. Свойства альтернатив могут описываться детерминированными числами, случайными числами или вообще не иметь числовых характеристик, например, оценка удобства эксплуатации прибора и его эстетического вида. Ниже приведены основные алгоритмы выбора, применительно к каждому из перечисленных трех вариантов описания свойств альтернатив.

Свойство каждой альтернативы описывается детерминированными числами. Такие объективные численные характеристики называются критериями. Чаще всего приходится иметь дело с несколькими критериями, т.е. многокритериальными задачами выбора. Критериальные оценки могут быть также в виде баллов. На рис.6.1. представлено двухмерное критериальное пространство:

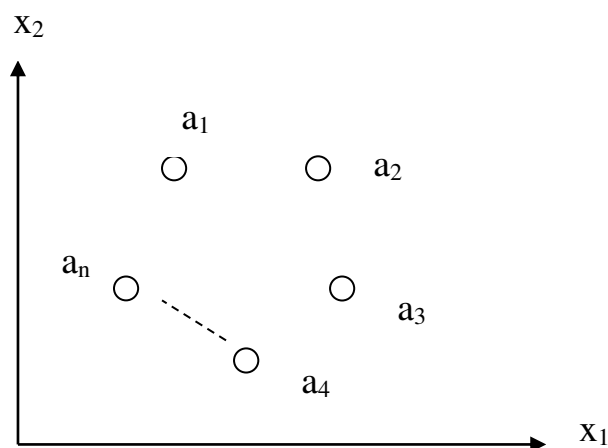


Рис.6.1. Графическое представление детерминированных критериальных оценок альтернатив.

Здесь рассматриваются два критерия оценки: x_1 и x_2 , а исследуемые объекты - альтернативы выбора представлены в виде кружков (a_i).

Будем считать, что чем больше значение критерия (x_i), тем предпочтительнее альтернатива. Возможны 4 варианта выбора: линейная свертка критериев с весами, оптимизационные методы, метод локальной области и метод поиска не улучшаемых альтернатив.

Линейная свертка критериев с весами. Для каждой альтернативы (a_i) вычисляется функция вида:

$$f_i = \sum_{j=1}^m k_j x_j, \quad (6.1.)$$

где: k_j – весовые коэффициенты, указывающие на значимость соответствующих критериев (x_j), m – количество критериев. Эти коэффициенты вычисляются на основе метода экспертных оценок. В итоге выбирается та альтернатива, у которой значение этой функции максимально. Величины критериев в этой функции должны быть нормированными, чтобы избавиться от их размерности. Например, таким образом могут решаться задачи сравнительной оценки нескольких приборов одного назначения по совокупности различных характеристик: точности измерения, весу, стоимости и т.д.

Оптимизационные методы. Выбирается критерий, который должен стремиться к максимуму (минимуму):

$$x_i \rightarrow \max.$$

На остальные критерии накладываются ограничения как односторонние ($x_j \geq x_j \min$), так и двухсторонние ($x_j \min \leq x_j \leq x_j \max$). Например, заданы четыре альтернативы: a_1, a_2, a_3, a_4 в двумерном пространстве критериев x_1 и x_2 . Исходные условия задачи: $x_2 \rightarrow \max$; $x_1 \leq q$.

Графически решение задачи можно представить следующим образом:

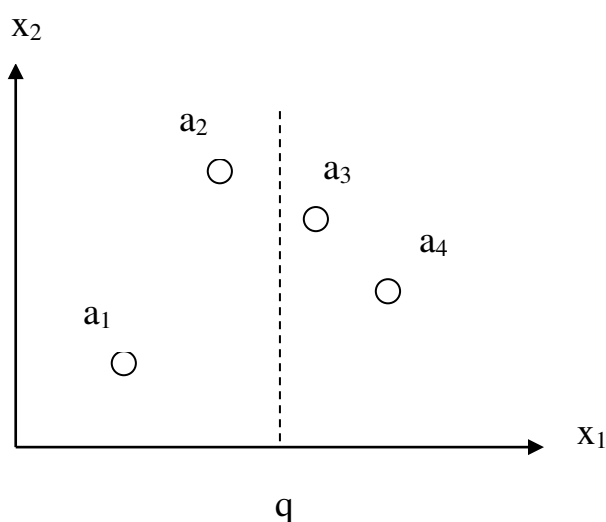


Рис.6.2. Графическое представление альтернатив.

Пунктиром на рисунке обозначен верхний предел допустимых значений сравниваемых альтернатив по критерию x_1 . Выбирается альтернатива, которая одновременно соответствует исходным условиям, т.е. альтернатива a_2 .

Метод локальной области альтернатив. Задаются границы области, в пределах которых должен быть осуществлен выбор альтернативы. Границы могут быть как односторонние, так и двухсторонние: $x_i \leq x_{i \max}$; $x_i \geq x_{i \min}$; $x_{i \min} \leq x_i \leq x_{i \max}$

Поиск не улучшаемых альтернатив. Альтернатива называется не улучшаемой, если из соответствующей ей точки провести лучи, параллельные осям координат (гиперплоскости для $n > 2$) и ни одна из точек, соответствующих другим альтернативам, не попадет в область, ограниченную этими лучами

или плоскостями. Так, на рис.6.3. не улучшаемая альтернатива одна – a_5 . В область, образуемую линиями (лучами), исходящими из соответствующей ей точки, не попадает ни одна из точек, соответствующих остальным альтернативам. По обоим критериям эта альтернатива лучше остальных:

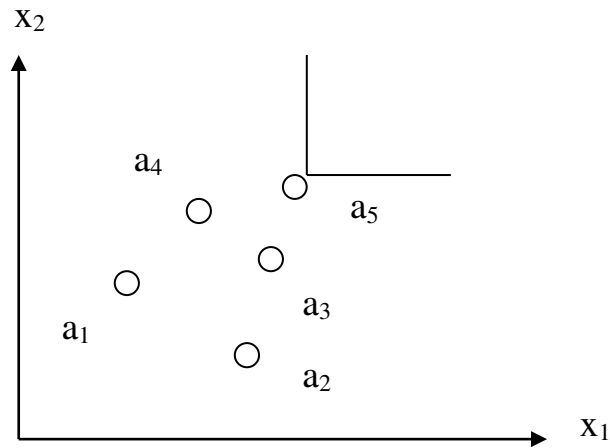


Рис.6.3. Графическое представление не улучшаемой альтернативы.

Может существовать множество не улучшаемых альтернатив. Такое множество называется множеством Парето. На рис.6.4. альтернативы a_4 , a_5 , a_6 составляют множество Парето.

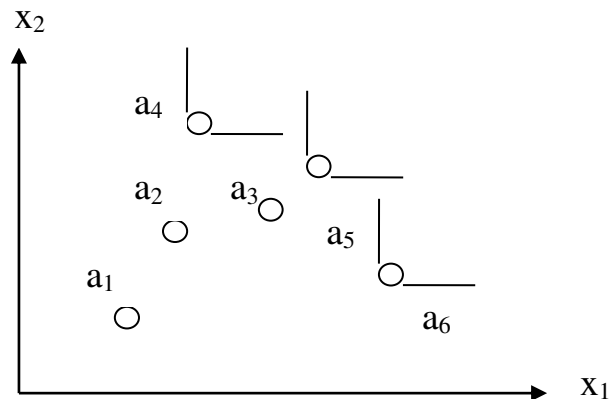


Рис.6.4. Графическое представление множества Парето.

Среди альтернатив, образующих множество Парето, невозможно выбрать одну из них. При этом возможны два варианта выбора. Первый вариант предполагает рассматривать множество Парето как лидирующую группу альтернатив по отношению ко всем остальным альтернативам, которые должны быть ранжированы по близости к этой группе. Например, в приведенном на рис.9 примере оценки альтернатив можно ранжировать следующим образом: $a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3 \rightarrow$ множество Парето (a_4, a_5, a_6).

Второй вариант выбора состоит в применении одного из трех рассмотренных выше методов выбора. Однако в таком случае нужно вводить дополнительные условия, которые позволили бы выделить одну из альтернатив, например, ввести весовые коэффициенты, определяющие важность критериев.

Критерии альтернатив не имеют числовых оценок.

К таким критериям можно отнести, например, оценку удобства пользования системой, ее эстетики, или степень личных симпатий к конкурсанту в процессе конкурсного отбора.

С целью выбора используется язык бинарных отношений. Это значит, что альтернативы по каждому свойству сравниваются попарно. Например, необходимо сравнить четыре альтернативы: a_1, a_2, a_3, a_4 по двум критериям (свойствам). С этой целью перебираются пары альтернатив, в каждой из которых на первом месте стоит более предпочтительная альтернатива. Если ситуация простая и нет противоречий, то выбирается наилучшая из всех альтернатива. Для такого случая пары альтернатив для каждого критерия могут располагаться следующим образом. По первому критерию: a_1a_3, a_3a_2, a_2a_4 ; по второму критерию: a_1a_4, a_4a_3, a_3a_2 . В обоих случаях на первом месте находится альтернатива a_1 . Она и выбирается.

В случае, если парное сравнение не может четко привести к выбору одной альтернативы, т.е. имеются противоречия, то альтернативы для каждого из критериев могут располагаться следующим образом. По первому критерию (свойству): a_1a_4, a_4a_3, a_3a_2 ; по второму критерию: a_4a_3, a_3a_2, a_2a_1 . Возникло

противоречие: по первому критерию лучшая альтернатива a_1 , а по второму - a_4 .

Для разрешения такого противоречия строится матрица предпочтений (табл.6.1.). В колонках матрицы для каждой альтернативы указывается место, которое она занимает по соответствующему критерию.

Таблица 6.1.

Матрица предпочтений

Альтернативы	К р и т е р и и (свойства)	
	Первый	Второй
a_1	1	4
a_2	4	3
a_3	3	2
a_4	2	1

Далее для каждой альтернативы определяется сумма мест по всем критериям. Выбирается та альтернатива, у которой сумма мест минимальная. Остальные альтернативы ранжируются в порядке возрастания суммы мест. Так, среди сравниваемых альтернатив выбирается четвертая альтернатива (a_4), так как сумма мест для нее минимальна и равна трем.

Можно также построить граф предпочтений. С этой целью каждая альтернатива представляется точкой. Эти точки соединяются стрелками в направлении лучшей альтернативы. Такой подход целесообразно использовать в случае, когда альтернативы сравниваются не по свойствам, а непосредственно, по личному, субъективному восприятию эксперта. Например:

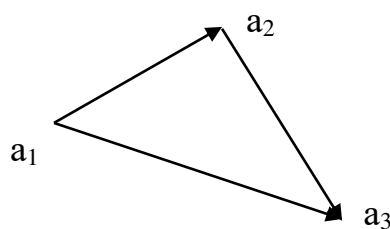


Рис.6.5. Граф предпочтений.

В данном случае выбирается альтернатива a_3 .

Если в выборе участвуют несколько экспертов, то могут быть использованы методы экспертных оценок и элементарной статистики.

Выбор в условиях статистической неопределённости.

Альтернативы – случайные числа. Они характеризуются не точками в пространстве критериев, а областями с заданными границами, которые определяются законами распределения, как показано на рис.6.6. В рамках этих об-

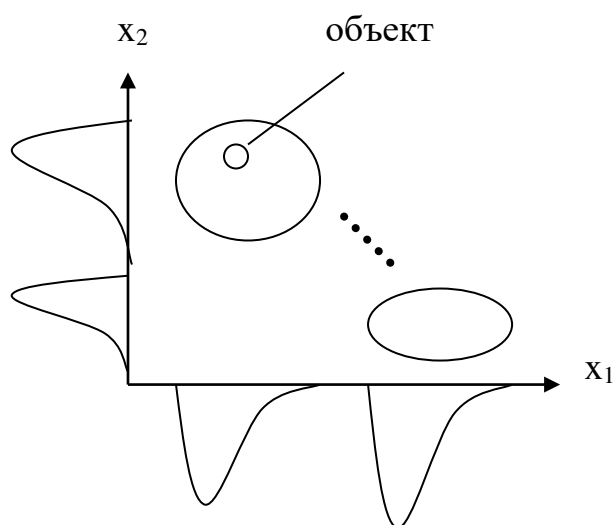


Рис.6.6. Графическое представление альтернатив в условиях статистической неопределенности

ластей определяются конкретные объекты. Если объект попадает в определенную область, то система находится в соответствующем этой области состоянии. В качестве таких альтернатив могут рассматриваться, например, состояния организма (норма-патология) или технической системы (исправна – неисправна).

Задача обычно состоит в выборе одной из возможных альтернатив, например, определении, в каком состоянии находится система.

На рис.6. схематически показана процедура принятия решения в условиях статистической неопределенности.

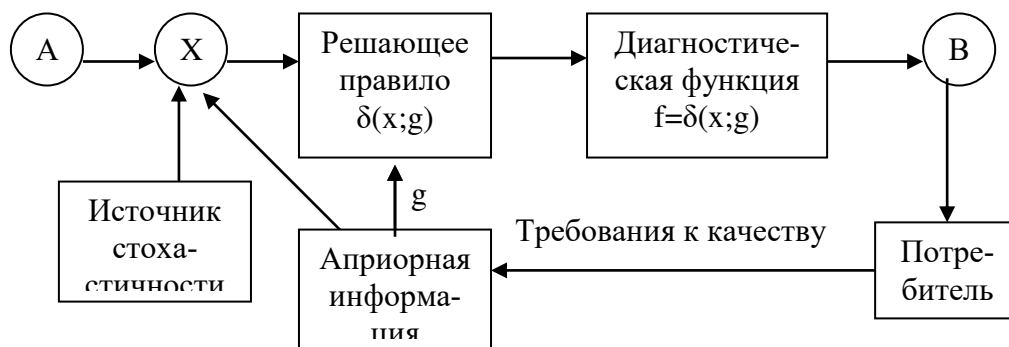


Рис.6.7. Схема принятия статистического решения.

В соответствии со схемой, принятие решения осуществляется следующим образом. Задается множество альтернатив - A (областей в пространстве критериев) - $a_i \in A$. Далее формируется пространство наблюдений - X , т.е. множество наблюдений или экспериментальных данных, представленных в виде протоколов опытов, где x_{ij} - одиночное наблюдение i -го объекта по j -му критерию. При этом: $x_{ij} \in X$. На основе полученных экспериментальных данных строится решающее правило - $\delta(x, g)$, где g - априорная информация об объекте. Часто это бывает гиперплоскость, позволяющая по совокупности критериев разделить выделенные области пространства (альтернативы). И, наконец, базируясь на решающем правиле, формируется диагностическая функция $f = \delta(x, g)$. В случае подстановки в неё критериев неизвестного объекта она позволяет отнести его к одной из альтернатив, т.е. осуществить выбор, например, стоит приобретать соответствующее оборудование или нет, здоров человек или болен. Пространство решений (B) - это множество результатов выбора.

Пример принятия статистического решения. Необходимо построить диагностическую (решающую) функцию для диагностики 2-х состояний системы, например, для пациента: здоровый - больной. Здесь очевидно присутствие двух альтернатив (A): a_1 - здоров, a_2 - болен.

Пространство наблюдений (X): обучающие выборки больных и здоровых. С этой целью на основе наблюдений за пациентами с уже известными диагнозами (обучающая выборка) строится матрица вида:

$$\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix},$$

где: x_{ij} – величина, характеризующая состояние i -го пациента по j -му параметру; $i=1, 2, \dots, n$; $j=1, 2, \dots, m$.

В результате каждая строка матрицы соответствует определенному пациенту, а каждая колонка – одной из m наблюдаемых характеристик состояния пациентов (критериев).

Априорная информация (g): пациенты от первого до k -го здоровые (a_1), а пациенты от $k+1$ -го до n -го – больные (a_2).

Решающее правило $\delta(x, g)$ – гиперплоскость, разделяющее m -мерное критериальное пространство на две области (альтернативы): здоровые – больные. Общий вид уравнения гиперплоскости:

$$\sum_{i=1}^m b_i \cdot x_i - b_0 = 0.$$

Общий вид диагностической функции (f):

$$f = \sum_{i=1}^m b_i \cdot x_i - b_0.$$

x_i – параметры, переменные неизвестного индивидуума. После их подстановки в диагностическую функцию можно получить либо положительное число (здоровый) либо отрицательное число (больной). В зависимости от настройки системы знаки могут быть обратные: “+” – больной, а “-” – здоровый.

Постановка задачи оптимизации системы.

Принятие решений в системном анализе неразрывно связано с задачами оптимизации. Задача оптимизации в общем виде ставится следующим образом. Среди выходных характеристик системы выбирается одна, величина которой должна быть либо минимизирована, либо максимизирована (y_i), например, оценка производительности технологической линии. На основе методов моделирования должна быть сформирована функциональная зависимость величины этой характеристики от исследуемых независимых переменных. Такая функция называется целевой функцией (F):

$$F = y_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_k) \rightarrow y_{\max(\min)},$$

где x_1, x_2, \dots, x_k – независимые переменные, например, величины настроечных характеристик оборудования, входные переменные, характеризующие объемы и качество исходных ресурсов для функционирования системы.

Однако могут существовать ограничения, накладываемые на другие функции ($y_1, y_2, \dots, y_{i-1}, y_{i+1}, \dots, y_m$). Например, потребление энергии, количество брака и отказов в работе системы не должны превышать заданного уровня. Сюда же можно отнести и ограничения по различным ресурсам, необходимым для обеспечения выхода соответствующей продукции (денежным, материальным, человеческим и другим). Ограничения могут быть выражены в виде системы неравенств, а также уравнений:

$$y_j = f_j(x_1, x_2, \dots, x_k) \leq y_{j \max}.$$

Независимые переменные в этих неравенствах могут быть теми же, что и для целевой функции.

И, наконец, необходимо ввести также граничные условия для независимых переменных: $x_1 \geq 0$; $-1 \leq x_2 \leq 1$ и т.д.

Итак, целевая функция, ограничения и граничные условия являются исходными условиями при постановке задачи оптимизации. В конечном итоге необходимо определить область допустимых решений и в пределах этой области найти решение, которое обеспечит достижение максимума или минимума целевой функции.

Среди задач оптимизации можно выделить две основные группы: линейные и нелинейные. В задачах линейной оптимизации целевая функция и ограничения должны быть линейными, т.е. не должны присутствовать переменные со степенью более первой и их произведения. Задачи нелинейной оптимизации удовлетворяют хотя бы одному из этих свойств.

Для решения задач оптимизации применяются методы математического программирования: линейного и нелинейного.

Оптимизация может проводиться параллельно по нескольким целевым функциям – многокритериальная оптимизация. Однако идеального решения при таком подходе быть не может, так как при одном решении в одной точке экстремумы нескольких функций, как правило, не достигаются.

В приложении 1 приведен пример решения линейной задачи оптимизации на примере транспортной задачи.

Понятия композиции и декомпозиции.

Декомпозиция – это разбиение целого на части. Композиция – это объединение частей в целое, не теряя свойств частей. Иногда композицию называют агрегированием.

Методы декомпозиции и композиции используются на всех этапах системного анализа. Оба этих метода осуществляются в комплексе. Например, разделение оценки альтернативы на критерии – это процедура декомпозиции, а выбор альтернативы – это композиция. Так, в диагностике состояния системы построение диагностической функции и постановка диагноза на основе оценки множества критериев состояния является примером композиции, а анализ отдельных критериев состояния системы представляет собой процедуру декомпозиции. Примером может быть системный анализ электрокардиосигнала (ЭКГ). Анализ отдельных фаз этого сигнала, каждая из которых отражает различные стороны деятельности миокарда – это декомпозиция, а окончательный диагноз ставится по совокупности этих оценок, т.е. в результате композиции (синтеза).

Процессы композиции и декомпозиции при анализе системы предполагают поочередное движение в восходящем и нисходящем направлениях иерархической структуры системы, т.е. от частного к общему (композиция) и, наоборот, от общего к частному (анализ).

Часто декомпозицию связывают с анализом отдельных элементов системы.

7. Системная постановка эксперимента

Как следует из определения объекта исследования как системы, он должен иметь вход, выход, определенный элементный состав (подсистемы) и структуру. Вход может быть представлен комплексом воздействующих факторов, а выход – одной или несколькими результирующими характеристиками функционирования системы. Состояния и особенности различных подсистем могут быть описаны комплексом переменных и параметров. На рис. 7.1. схематически представлен объект исследования.

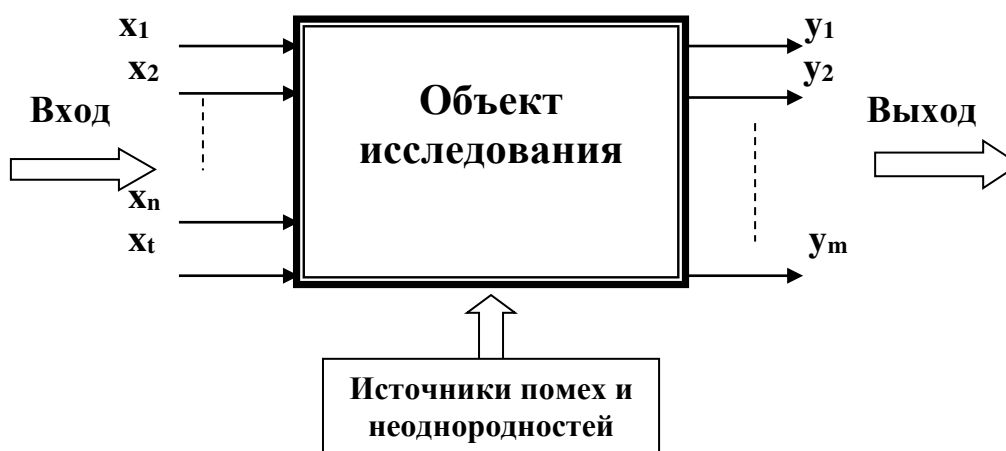


Рис.7.1. Объект исследования.

Воздействующие факторы бывают: внешние и внутренние, управляемые и неуправляемые, учтенные и неучтенные, количественные и качественные. На рис.7.1. воздействующие факторы разделены на две группы: определяющие вход системы (x_1, x_2, \dots, x_n) и помехи, создающие неоднородность выходных оценок функционирования системы. К первой группе факторов можно отнести, например, управляющие факторы технологического процесса, регулировочные параметры оборудования, тип датчика-преобразователя и т.п.

Вторая группа воздействующих факторов может включать в себя неуправляемые воздействия, которые могут быть учтенные и неучтенные. Например, случайные изменения электропитания системы, индивидуальный разброс параметров обрабатываемых объектов или характеристик операторов, работающих с системой. Такие факторы создают стохастичность в оценках результатов эксперимента.

Общая реакция системы оценивается по множеству показателей состояния различных подсистем (y_1, y_2, \dots, y_m) .

Системный подход к проведению эксперимента требует одновременного учета величин всех упомянутых факторов, переменных, параметров, включая сюда возможные воздействия со стороны неучтенных факторов. С целью выполнения этих требований весьма эффективно может быть использована методология математического планирования эксперимента (МПЭ). Эта методология обеспечивает оптимальную стратегию проведения экспериментального исследования системы в соответствии с рассчитанным планом многофакторного эксперимента, позволяющим построить математико-статистические модели с заданными свойствами. Эти модели являются основным средством для решения поставленных задач. Для математических методов планирования эксперимента характерно одновременное варьирование всеми входными факторами. Традиционные же методы, которые иногда еще применяются и в настоящее время, предполагают последовательное исследование влияния одного фактора при зафиксированных значениях других факторов. Такой “одномерный” подход не может обеспечить объективную оценку и оптимизацию комплексного влияния исследуемых факторов и требует больших затрат времени и материальных ресурсов.

Методология МПЭ предполагает последовательное проведение следующих процедур: постановка задачи и идентификация исследуемой системы, постановка многофакторного эксперимента, формирование по результатам эксперимента полиномиальной модели, использование модели как средства,

“инструмента” для решения поставленной задачи, принятие решения на основе модели и оформление полученного материала.

Задачи исследования должны соответствовать возможностям методологии, а именно: а) исследовать влияние всех выбранных воздействующих факторов как по отдельности, так и в комплексе с учетом эффектов их взаимодействий в условиях наличия источников помех и неоднородностей; б) оптимизировать указанное воздействие, т.е. определить такие сочетания величин входных факторов, которые обеспечили бы получение заданных величин выходных характеристик.

Пример постановки задачи: оценить реакцию оператора на точечную вспышку, случайно появляющуюся в различных местах поля дисплея в зависимости от комбинированного воздействия трех факторов-помех. например, физической нагрузки (x_1), выпитого кофе (x_2) и алкоголя. (x_3).

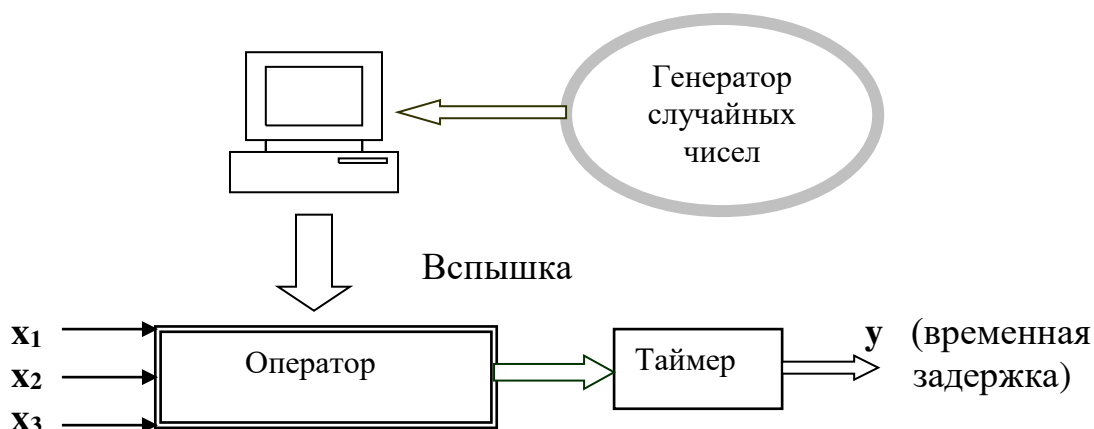


Рис.7.2. Блок-схема исследуемой системы.

Выход системы – величина временной задержки реакции оператора (y) в миллисекундах. При появлении вспышки оператор должен нажать кнопку таймера. Задачи исследования: 1) исследовать в объеме комбинированное воздействие изучаемых факторов с учетом одиночного влияния каждого из них, а также эффектов их взаимодействия; 2) определить оптимальные условия работы оператора, т.е. найти границы нормы в пространстве исследуемых факторов.

Этап постановки эксперимента складывается, как минимум, из трех процедур: задания диапазонов изменения воздействующих факторов, планирования многофакторного эксперимента и его проведения.

С целью построения плана эксперимента величины факторов фиксируются на нескольких уровнях в пределах выбранных диапазонов их варьирования. Так, для линейных планов, предназначенных для построения линейных моделей, достаточно двух зафиксированных уровней: минимального ($x_{i \min}$) и максимального ($x_{i \max}$). Для планов второго порядка, обеспечивающих построение квадратичных моделей, значения факторов должны фиксироваться на 3-5 уровнях. В самом простом и наиболее распространенном случае величины факторов фиксируются на трех уровнях: минимальном, среднем и максимальном. Каждому уровню присваиваются следующие значения: -1 для x_{\min} , 0 для x – среднего и $+1$ для x_{\max} . Цель такого нормирования – избавиться от размерности величин факторов, что будет важно при анализе моделей. Далее необходимо спланировать многофакторный эксперимент в заданном факторном пространстве.

Факторное пространство – это многомерное пространство, по координатным осям которого отложены значения воздействующих факторов. Каждое измерение или опыт можно представить как вектор или точку в этом пространстве.

В результате план эксперимента можно представить как совокупность точек, определенным образом расположенных в факторном пространстве, как показано на рис.7.3. для двухфакторного и трехфакторного планов:

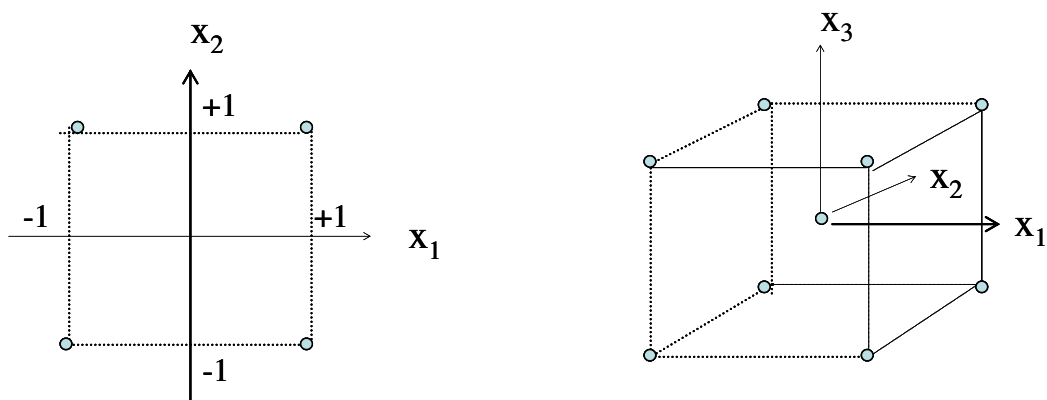


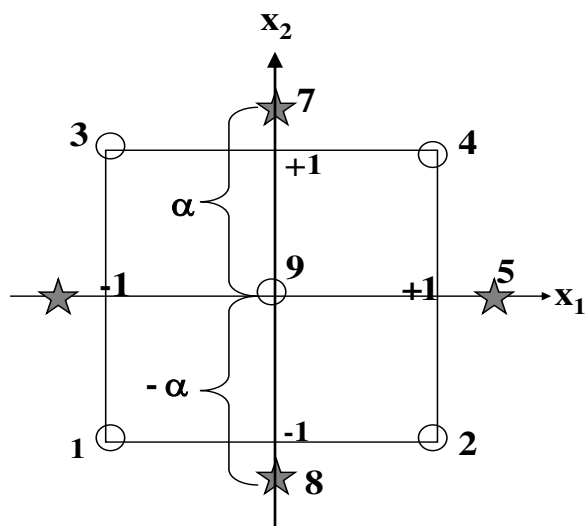
Рис.7.3. Геометрическое представление линейных планов эксперимента: двухфакторного (слева) и трехфакторного (справа).

Ниже на рис.7.4. эти планы представлены в виде матриц. Существуют каталоги планов для решения разнообразных задач.

План из двух факторов				План из трех факторов				
N exp	x_1	x_2	y	N	x_1	x_2	x_3	y
1	-	-	y_1	1	-	-	+	y_1
2	-	+	y_2	2	-	-	-	y_2
3	+	-	y_3	3	-	+	+	y_3
4	+	+	y_4	4	-	+	-	y_4
5	+	-	y_5	5	+	-	+	y_5
6	+	-	y_6	6	+	-	-	y_6
7	+	+	y_7	7	+	+	+	y_7
8	+	+	y_8	8	+	+	-	y_8

Рис.7.4. Планы-матрицы для проведения линейных экспериментов для двух и трех факторов. Плюс – это максимум, а минус – минимум.

Для планов 2-го порядка, предназначенных для построения нелинейных (квадратичных) моделей, используются дополнительные точки-опыты, как показано на рис.7.5. Здесь к опытам, расположенным в углах фигуры, добавляются “звездные точки” (звездочки). Расстояние от центра плана до точки-звездочки (α) называется “звездным плечом”. В правой части рисунка представлен план в матричном представлении. Выбор величины звездного плеча существенно сказывается на свойствах моделей, построенных по результатам такого эксперимента.



N exp	x_1	x_2
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+
5	α	0
6	$-\alpha$	0
7	0	α
8	0	$-\alpha$
9	0	0

Рис.7.5. Схема построение двухфакторного плана 2-го порядка.

В простейшем случае величина α равна единице. В результате величины факторов фиксируются на трех уровнях: минимальном (-1), среднем (0) и максимальном (+1). Такие планы широко распространены при планировании экспериментов. На рис.7.6. представлены геометрические интерпретации этих планов для двух и трех факторов.

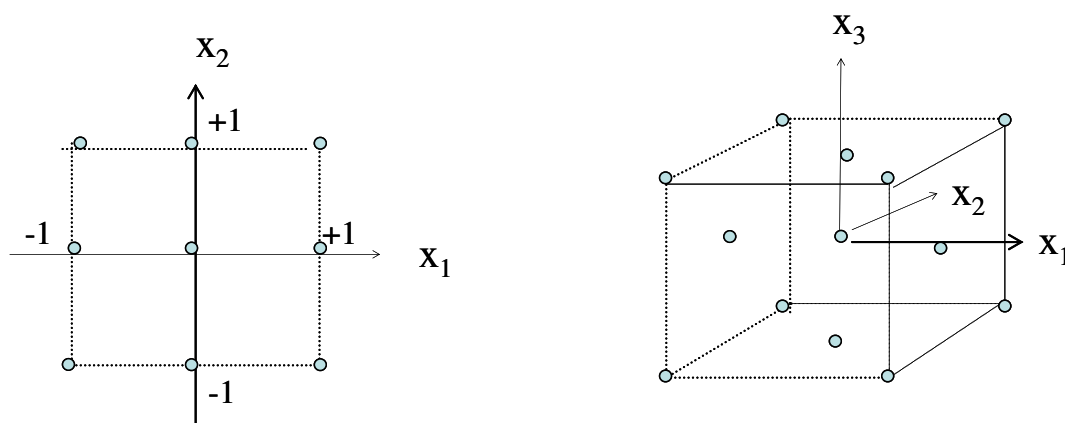


Рис.7.6. Геометрическое представление планов второго порядка для двух факторов (левый) и трех факторов (правый).

Каждому опыту здесь соответствует точка в факторном пространстве. Всего этих точек (опытов) для двухфакторного плана - 9, а для трехфакторного - 15. Причем эти точки распределяются следующим образом: по углам фигуры, на серединах ребер квадрата (левый план) или в центрах граней куба

(правый план) и в центре плана (центральная точка. В результате в эксперименте оптимальным образом охватывается вся область факторного пространства, что обеспечивает построение качественных полиномиальных моделей, позволяющих наиболее эффективно решить задачи исследования воздействия факторов и нормирования факторного пространства.

В приложении 4 представлены планы экспериментов с количеством факторов от двух до пяти. Сравнительный анализ матриц планов показывает общие закономерности их построения, а именно: во-первых, в каждой из них имеется “ядро”, которое состоит из комбинаций крайних значений факторов. При этом максимальные (1) и минимальные (-1) их значения чередуются сверху вниз через 1 (правый крайний столбец), затем для следующего влево столбца – через 2 для следующего – через 4 и т.д. Во-вторых, в строках последующей части плана обязательно должны быть сочетания максимального и минимального значений каждого фактора со средними значениями остальных факторов, например: 1 0 0, -1 0 0, 0 1 0, 0 -1 0 и т.д. И, наконец, в-третьих, должна быть центральная точка, в которой представлено сочетание всех средних значений факторов, например: 0 0 0 для трехфакторного плана или 0 0 0 0 для четырехфакторного. Пользуясь этими правилами можно спланировать эксперименты с большим количеством факторов.

Для большого количества исследуемых факторов (начиная с пяти) план можно сокращать, используя дробные факторные эксперименты, но для этого необходимо обратиться к специальной литературе по планированию эксперимента [2,3].

Моделирование комбинированного воздействия факторов.

По результатам проведения спланированного эксперимента (величин y_i), методом наименьших квадратов (аппарат множественной регрессии) строится полиномиальная модель вида:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{ii=1}^k b_{ii} x_i^2 \quad (7.1)$$

где b_0 – постоянная составляющая;

b_i – оценка независимого линейного воздействия каждого фактора;

b_{ij} - оценка эффектов взаимодействия исследуемых факторов попарно;

b_{ii} -оценка квадратичного эффекта каждого фактора, определяющая выраженность экстремума по i -му фактору.

Оценка влияния каждого фактора складывается из трех составных частей: линейного воздействия (b_i), эффектов взаимодействия с другими факторами (b_{ij}) и квадратичного эффекта (b_{ii}), который указывает на наличие экстремальных областей (для квадратичных моделей).

В соответствии с аппаратом множественной регрессии, оценивается адекватность модели и статистическая значимость всех ее коэффициентов. Если модель удовлетворяет статистическим критериям, то она становится средством, “инструментом” для решения поставленных задач. С этой целью, на начальном этапе этого процесса, необходимо проанализировать все коэффициенты модели и на основании этого анализа дать первичную оценку влияния всех исследуемых факторов, как в отдельности, так и в комплексе по всем трем составляющим: линейной, квадратичной и эффектам взаимодействия факторов. Этот анализ возможен только в том случае, если коэффициенты модели кодированы. Данное условие выполняется при приведении величин воздействующих факторов к единому диапазону от -1 до +1, о чем уже упоминалось выше.

Некоторые критерии анализа модели: 1) если знак перед коэффициентом b_{ij} отрицательный, то факторы x_i и x_j антагонистичны. В противном случае взаимоотношения между этими факторами синергичны; 2) если знак перед квадратичным коэффициентом (b_{ii}) отрицательный, то i -ый фактор имеет экстремум по максимуму, а если наоборот, знак положительный, то экстремум по минимуму.

Некоторые основные критерии оценки моделей в зависимости от свойств планов:

1. Ортогональность плана обеспечивает независимую оценку коэффициентов модели, а значит, оценку всех воздействий факторов (линейного, квадратичного и эффектов взаимодействия). В случае случайного, бессистемного выбора величин факторов оценки коэффициентов смешаны, что исключает их независимый друг от друга анализ.

2. D – оптимальность – обеспечение минимальной дисперсии коэффициентов моделей;

3. G – оптимальность – обеспечение минимальной дисперсии функции отклика (y).

Важно отметить, что все спланированные линейные планы (планы первого порядка) обеспечивают построение моделей, соответствующих всем перечисленным критериям. Для планов 2-го порядка выполнение указанных критериев зависит от свойств плана. Однако приведенные планы 2-го порядка с допустимыми погрешностями соответствуют этим критериям и их можно использовать при решении широкого круга задач по исследованию и оптимизации систем. Построенные модели могут далее анализироваться с использованием самых разнообразных количественных методов, например, методов линейного и нелинейного программирования, а также средств компьютерной графики.

Пример практического применения методологии МПЭ при решении задачи исследования влияния мобильного телефона на организм человека приведен в приложении 3.

8. Системные аспекты управления

Управление – это целенаправленное формирование процессов, определяющих поведение системы в рамках ее функционального, морфологического и информационного описания.

Закон управления – это зависимость управляющего действия от состояния управляемой системы. Выражается в алгебраической, лингвистической и логической форме.

Можно выделить управляющую и управляемую системы (подсистемы):

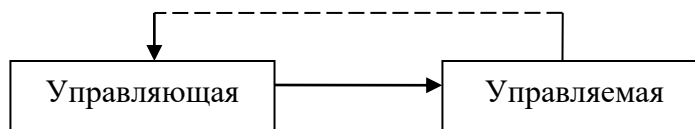


Рис.8.1. Взаимосвязь управляющей и управляемой подсистем.

Управление может быть внешнее и внутреннее. Внешнее управление осуществляется со стороны другой системы или среды, а внутреннее – со стороны одной из подсистем данной системы.

Формальное представление системы управления в случае ее функционального описания (картежная запись):

$$S_F = \{X^+, X^-, Y, A, T, E_Q, U, F^U\}, \quad (8.1)$$

где: X^+ - множество входных управляющих факторов; X^- - множество выходных характеристик системы, Y – множество переменных, отражающих состояние системы, ее подсистем; A – множество параметров системы, т.е. характеристик, которые не изменяются в исследуемый период управления; T – характеристики динамики процесса, чаще всего время (t); E_Q – цель, заданная в виде требований к выходу системы; U – характеристика управления: указывает на те факторы, объекты, которыми необходимо оперировать для достижения цели управления; F^U – правило (функция, оператор), определяющее процесс управления, например: $X^- = F(U, A, T)$.

Пример формального представления системы управления технологическим процессом. Цель управления (Q) - достижение и поддержание максимальной производительности процесса. Требования к выходу системы (E_Q) – поддержание максимального выхода продукции в единицу времени (R_{max}). При этом остальные учитываемые характеристики системы (y_1, \dots, y_n), например, ее энергоемкость, число отказов за определенный промежуток

времени, количество брака и т.п. должны ограничиваться определенными пределами. Управление (U) должно обеспечиваться факторами (x_1, x_2, \dots, x_m), рассматриваемыми как элементы входа системы (X^+). К ним могут относиться: объемы исходных продуктов, величины различных физических воздействий (температурных, механических и т.п.), величины настроечных параметров системы. Необходимо построить функцию, определяющую процесс управления (закон управления):

$$R = F(x_1, x_2, \dots, x_m).$$

При определенном сочетании воздействующих факторов (оптимальном) можно достигнуть максимума величины выхода системы (R_{\max}), который необходимо поддерживать в процессе работы системы.

Существуют различные способы управления системой. Основные из этих способов:

Разомкнутое или программное управление.

Управление осуществляется с помощью заданного алгоритма или программы (рис.8.2). На рисунке представлены: устройство, вырабатывающее

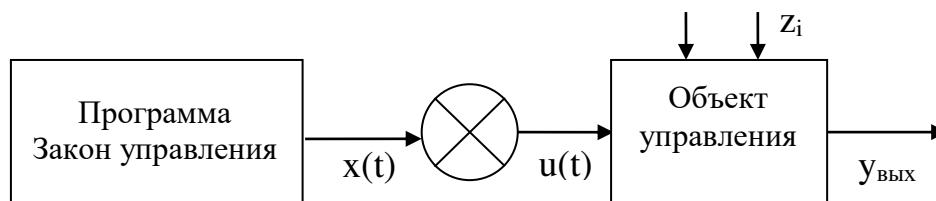


Рис.8.2. Схема программного управления

программу или закон функционирования $x(t)$, устройство управления (круг, разделенный на секторы), формирующее управляющие воздействия $u(t)$, объект управления, помехи z_i и выходной результат $u_{\text{вых}}$. Из рис.8.2. следует, что управление осуществляется по разомкнутой схеме. Примерами таких систем являются: станок с программным управлением, конвейер, работающий в соответствии с заданным программным режимом, технологический процесс.

Способ компенсации или управления по возмущению.

В систему управления вводится устройство, измеряющее помехи и вырабатывающее компенсирующие воздействия, которые корректируют закон управления. Такое устройство называется компенсирующим устройством (рис.8.3).

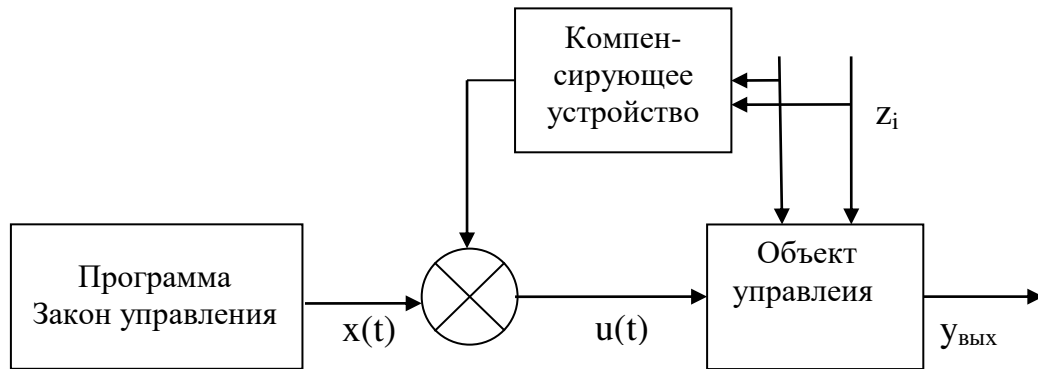


Рис.8.3. Схема управления по возмущению.

Этот способ управления называют также *управлением с упреждением*. Простейший пример – это устройства, обеспечивающие стабилизацию напряжения при колебаниях постоянного тока. При этом компенсирующее устройство настроено на параметры возможных колебаний тока. Другим примером является учет при планировании и организации производства влияния таких факторов, как износ оборудования, различия квалификации рабочих, обслуживающих технологическую линию, сбой в электроснабжении и т.п.

Управление по отклонению с использованием принципа обратной связи.

Основу способа управления составляет замкнутый контур обратной связи (рис.8.4.). Выходная величина $y_{\text{вых}}$ корректируется в результате вычисления отклонения Δu от требуемого результата $u_{\text{треб.}}$: $\Delta u = y_{\text{вых}} - u_{\text{треб.}}$

Обратная связь (ОС) может быть отрицательной и положительной.

Отрицательная ОС направлена на сохранение требуемого результата, как

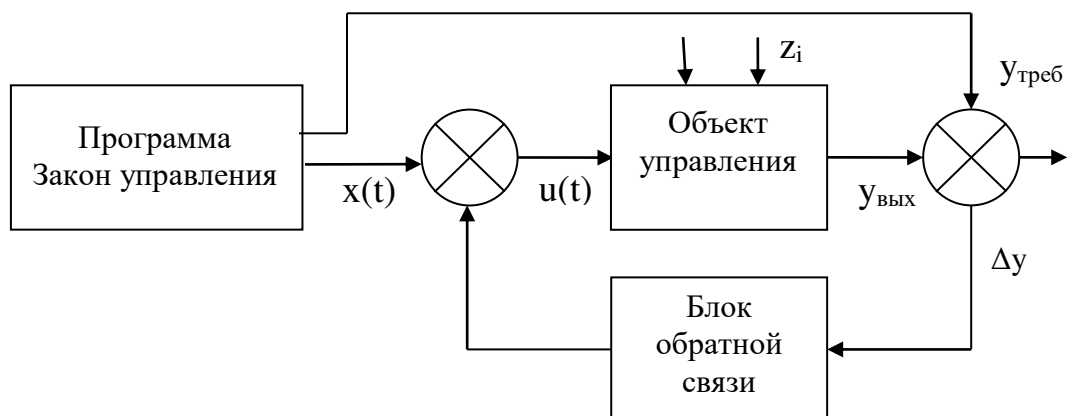


Рис.8.4. Схема системы управления *по отклонению*.

например, стабилизацию выходного напряжения. В живых системах благодаря отрицательной ОС обеспечивается выполнение важной функции – гомеостаза, т.е. поддержание характеристик различных подсистем организма на стабильном уровне, адекватном для нормального функционирования системы на всех уровнях ее организации.

Положительная ОС направлена на сохранение и усиление тенденций, происходящих при изменении выходной характеристики системы, что используется при разработке различных генераторов, а также при моделировании развивающихся систем. В живых системах включение положительной ОС играет решающую роль при смене состояний подсистем и всего организма в целом.

Как правило, в сложных саморегулирующихся, самоорганизующихся системах одновременно присутствуют и отрицательные и положительные ОС.

Совмещение управления с обратной связью и с упреждением.

С целью совершенствования способов управления используются различные их комбинации. Одна из самых распространенных таких комбинаций – это совмещение способов управления с обратной связью и с упреждением. Схема такой системы представлена на рис.8.5.

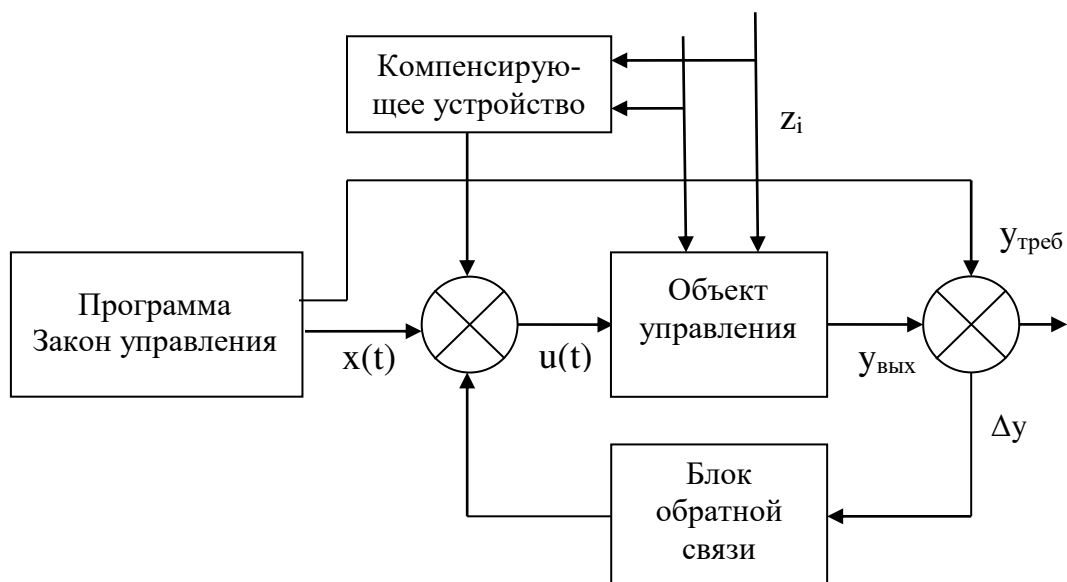


Рис.8 5. Схема системы управления, совмещающая способы управления с обратной связью и с упреждением.

Основные свойства сложных систем с позиции теории управления:

1. *Тезаурус* (сокровище с греческого) – это совокупность всей информации, которой должна обладать система, чтобы правильно сформировать командный сигнал. Тезаурус определяет следующие основные свойства системы:

- воспринимать и распознавать внешнее воздействие, формируя адекватный или неадекватный образ среды;
- обладать априорной информацией о среде;
- иметь информацию о себе самой, о своих свойствах и возможностях.

По мере увеличения сложности системы возникает тенденция к *самоотображению*. *Самоотображение* - это программа построения и существования системы, ее информационный дубликат. Так, например, система может иметь большое количество конструктивных элементов, но среди них нет такого элемента, который отражал бы систему как целое во всем многообразии ее морфологии и функций. В то же время простейший живой организм имеет такое самоотображение в виде молекулы ДНК.

Решение проблемы тезауруса имеет большое значение при создании систем искусственного интеллекта.

2. *Гомеостазис* – это способность системы обеспечить стабильность структуры и элементного состава, удержания существенных переменных в допустимых пределах вне зависимости от случайных факторов воздействия. Гомеостазис в значительной степени обеспечивается функционированием обратной связи.

3. *Адаптация* – это способность системы приспосабливаться к изменяющимся условиям среды, помехам, исходящим от среды и оказывающим влияние на систему. Например, изменение параметров автопилота при изменении динамических характеристик самолета (обледенение), корректировка закона функционирования производственной системы в случае изменения условий ее работы, изменение всех настроек системы управления организмом при переезде человека на север.

В развивающихся системах существуют различные формы адаптации: рост системы, обучение и самообучение, объединение систем в коллективы, распад системы и т.д..

Адаптация к среде, характеризующейся высокой неопределенностью, позволяет системе обеспечить достижение целей в условиях недостаточной априорной информации о среде. Если система не может приспосабливаться к изменениям окружающей среды, то она погибает.

4. *Самоорганизация* - способность системы сохранять характер взаимодействия с внешней средой и другими системами, несмотря на возможные серьезные изменения внутренних и внешних факторов. При этом реализуется свойство системы противостоять энтропийным процессам, адаптироваться к изменяющимся условиям среды, изменяя в случае необходимости свою структуру и сохраняя тем самым определенную устойчивость. Иногда такие системы называют *развивающимися*.

Примерами систем самоорганизации могут быть гибкие автоматизированные производства, сельскохозяйственные машины со сменными навесны-

ми и прицепными устройствами, резервные механизмы компенсации патологии в организме человека.

9. Системное представление процессов диагностики и лечения.

Идентификация системы.

В самом общем виде взаимоотношения между пациентом (П) и врачом (В) можно представить в виде замкнутой системы, цель функционирования которой состоит в нормализации состояния пациента (рис.9.1).

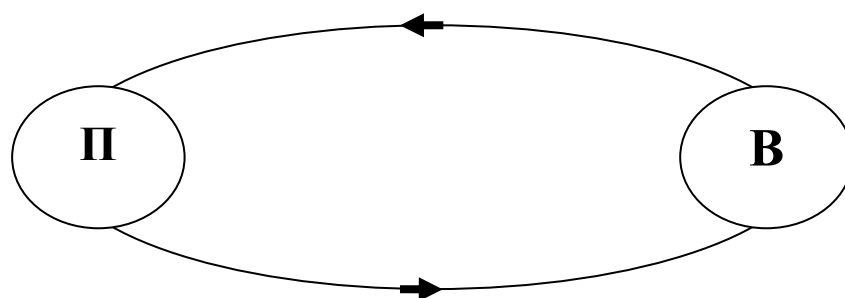


Рис.9.1. Замкнутая система взаимодействия врача (В) и пациента (П).

В процессе диагностики врачу необходимо регистрировать и одновременно учитывать множество параметров и переменных, отражающих состояние различных подсистем организма на различных уровнях, начиная с молекулярного и клеточного и заканчивая общими показателями на организменном уровне. Очевидно, что даже опытному врачу для выполнения этой работы необходимо использовать технические средства диагностики (ТСД), которые должны включать в себя аппараты и системы, обеспечивающие оперативную и объективную регистрацию биохимических, электрофизиологических, гематологических и других групп характеристик состояния организма. С целью постановки диагноза и выработки адекватных лечебных воздействий врачу необходимо анализировать весь объем получаемой информации. Поэтому в систему диагностики должны быть включены средства анализа получаемой информации (СА). Такие средства чаще всего включаются в информационно-аналитические базы данных и позволяют врачу работать с ними в диалоговом режиме. В современных средствах медицинской техники нередко имеются вмонтированные аналитические блоки.

На основе анализа полученной информации разрабатывается и осуществляется комплекс лечебных воздействий, включая сюда как традиционное принятие лекарств по определенной схеме, так и использование различных технических средств воздействия (ТСВ). К ТСВ можно отнести, например, физиотерапевтическую аппаратуру и аппарат “искусственная почка”.

На процесс лечения могут оказывать серьезное влияние факторы внешней среды. К ним можно отнести, например, атмосферное давление, влажность, температуру, магнитное состояние среды, а также время суток. Причем эти факторы могут воздействовать не только на пациента, но также и на врача.

Итак, процесс лечения больного является сложной, многоуровневой, динамической, открытой системой с обратной связью, схема которой представлена на рис.9.2.

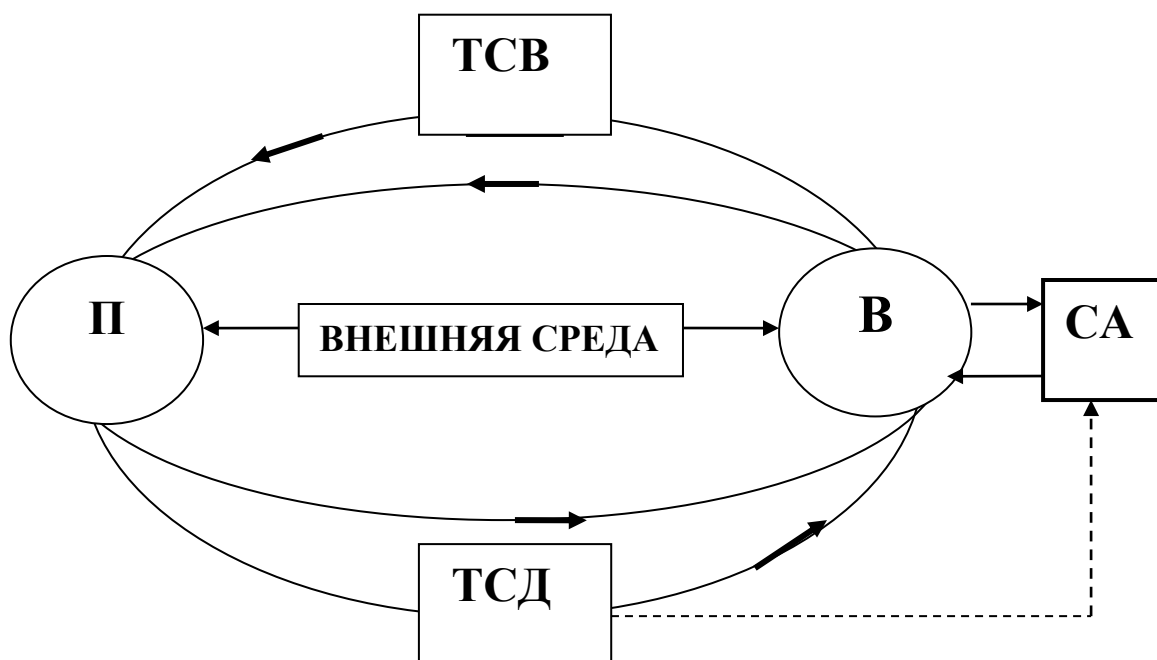


Рис.9.2. Система диагностики и лечения пациента (П) с использованием средств медицинской техники.

Условные обозначения даны в тексте.

Управление в системе.

Врач – это управляющая подсистема, а пациент – управляемая подсистема. Объектом управления в системе является пациент. Управление в данной системе – это целенаправленное воздействие на объект управления с целью вылечить его.

Формальное представление системы управления в случае ее функционального описания (картежная запись):

$$S_F = \{X^+, X^-, Y, A, T, E_Q, U, F^U\}, \quad (9.1)$$

где: X^+ - множество входных, воздействующих факторов, определяющих лечебное воздействие, например, мощность физиотерапевтического воздействия, продолжительность курса его действия и т.п.; X^- - множество выходов в системе, например, значения нормализуемых переменных, характеризующих патологический процесс; Y – множество переменных, отражающих состояние важнейших подсистем организма и изменяющихся во времени; A – множество параметров пациента, т.е. характеристик, которые не изменяются в процессе лечения, например, возраст, рост, пол и т.п.; T – характеристики динамики процесса, например, время (t); E_Q – цель, заданная в виде требований к выходам системы; U – характеристика управления, которая указывает на те факторы, объекты, которыми необходимо оперировать для достижения цели управления; F^U – правило (функция, оператор), определяющее процесс управления, например: $X^- = F(U, X^+, A, T)$.

Пример: система лечения гипертонии комплексом, состоящим из двух химиопрепаратов – гипотиазида и обзидана.

Вход системы: дозы препаратов – D_1 (гипотиазид) и D_2 (обзидан); выход системы – длительность лечения (τ); переменные (y_1, y_2, \dots, y_m): величины артериального давления (AD) и характеристик основных подсистем организма; параметры (a_1, a_2, \dots, a_n): возраст, тип нервной системы, анатомические особенности системы кровообращения и т.д.; параметр процесса – время (t).

Управление (U) осуществляется путем подбора величин факторов D_1 и D_2 обеспечивающих минимизацию выхода системы ($\tau \rightarrow \min$) в соответствии с правилом:

$$\tau = F(D_1, D_2, a_1, a_2, \dots, a_n), \quad (9.2)$$

При этом должны быть учтены ограничения, наложенные на переменные, характеризующие состояние различных подсистем организма.

На рис.9.3. представлена схема рассмотренной системы лечения:

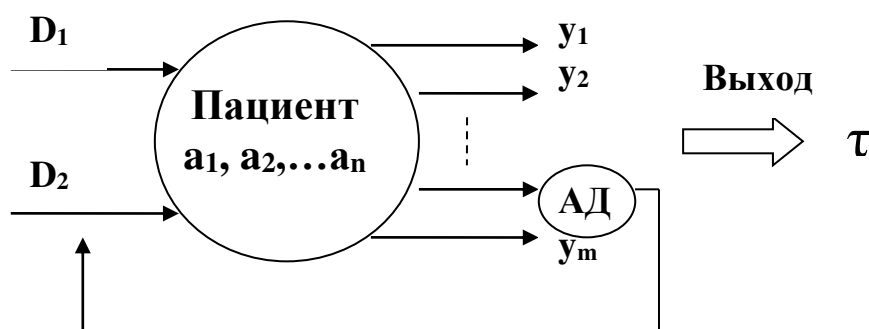


Рис.9.3. Схема системы лечения гипертонической болезни гипотиазидом и обзиданом.

В системах лечения могут быть представлены все основные способы (принципы) управления: программное, по возмущению, управление по отклонению, принципы адаптации и самоорганизации.

Программное управление реализуется в виде курса, программы применения различных лечебных воздействий. Например, назначаются дозы препаратов, моменты времени их введения, дополнительные процедуры.

Управление по возмущению применяется в случае возникновения ситуаций, когда состояние больного резко изменяется и по главным характеристикам выходит за допустимые для данного этапа лечения пределы. С целью предупреждения таких ситуаций должны быть приняты упреждающие меры.

Управление по отклонению (следящая система) применяется в случае отклонения динамики состояние от ее запрограммированной, ожидаемой

траектории. С этой целью осуществляется текущая коррекция схемы лечения.

Примером адаптации организма в процессе лечения может являться тренировочная терапия в процессе реабилитации. Например, постепенное повышение нагрузки на органы и системы организма на заключительном этапе их лечения.

Процессы самоорганизации осуществляются, в первую очередь, за счет самого организма. В процессе терапии важно запустить механизмы данных процессов. В этом состоит одна из главных задач, стоящих перед врачом. Известно, что мощным стимулом включения таких механизмов является доверие к врачу, его авторитет и доброжелательное отношение к больному. При выполнении этих условий эффективность процесса лечения может быть существенно увеличена. Примером самоорганизации системы лечения в целом может быть ее коренная, структурная перестройка в зависимости от динамики состояния больного.

Расчет системы массового обслуживания

Формулы Эрланга для вычисления вероятностей состояний.

1. Случай без очередей:

$$p_0 = \left(\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} \right)^{-1},$$

$$p_k = \frac{\frac{\rho^k}{k!}}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!}} = \frac{\rho^k}{k!} p_0,$$

где : p_0 – вероятность того, что все каналы свободны (нулевое состояние); p_k – вероятность того, что занято k каналов (k –ое состояние).

2. Случай с очередью:

$$p_0 = \left(\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} \right)^{-1},$$

$$p_k = \frac{\rho^k}{k!} p_0.$$

Обозначения те же, что и без очереди.

Выход системы:

$$m_s = \frac{\rho^{n+1} * p_0}{n * n! \left(1 - \frac{\rho}{n} \right)^2},$$

где m_s – средняя очередь.

Пример расчета параметров системы без очереди.

Объект исследования – система приема и выполнения заявок, например, на почте. Работает один приемщик – оператор. Он обслуживает в среднем 2000 заявок в год.; p_0 – вероятность того, что оператор свободен (состояние S_0); а p_1 – вероятность того, что он занят (состояние S_1). Оператор работает 6 ч в день всего 255 дней в году; время обслуживания одной заявки в среднем 12 мин. В результате интенсивность потока заявок (λ) равна:

$$\lambda = \frac{2000}{255 * 6 * 60} = 0,022 \text{ чел/мин},$$

а интенсивность потока обслуженных заявок (μ):

$$\mu = \frac{1}{12} = 0,083.$$

Соотношение этих величин (ρ): $\rho = \lambda/\mu = 0,022/0.083 = 0.265$.

Систему можно представить в виде блок- схемы:

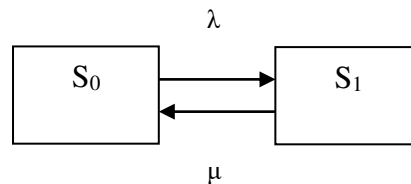


Рис.1. Блок-схема системы.

В соответствии с формулами Эрланга (без очереди) получены следующие результаты: $p_0 = (1 + \rho)^{-1} = (1+0,265)^{-1} = 0,791$,

$$p_1 = \rho p_0 = 0,265 * 0,791 = 0,209.$$

Эти данные свидетельствуют о том, что 79,1% времени система свободна, т.е. оператор не занят и всего 20,9% времени он занят работой. На основании этих параметров определены: вероятность отказа : $p_{отк} = p_1 = 0,209$, относительная пропускная способность, т.е. вероятность того, что заявка будет обслужена: $Q = 1 - p_{отк.} = 0,791$, абсолютная пропускная способность, т.е. количество заявок, обслуженных системой в единицу времени: $A = \lambda Q = 0,0174$ и среднее число одновременно занятых каналов: $K = A/\mu = 0,2$.

Решение транспортной задачи

Необходимо перевезти продукцию от поставщика (склады A_1 A_2) к потребителю в три точки: B_1 B_2 B_3 , как показано на схеме:

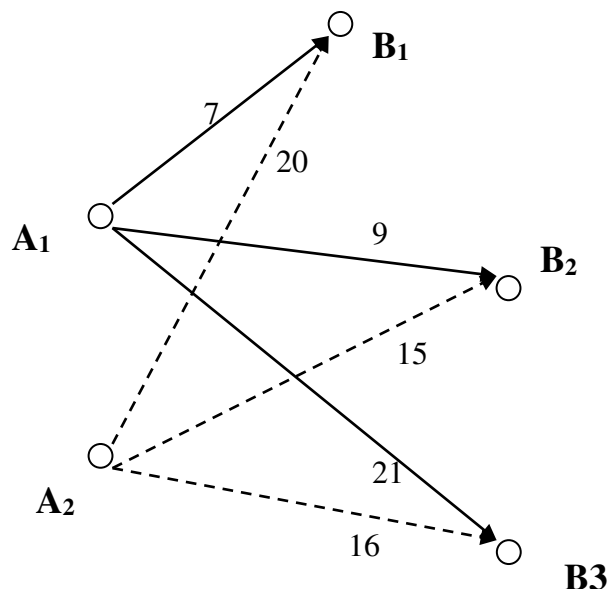


Рис..1. Схема доставки груза. Цифрами отмечены транспортные затраты на перевозку единицы груза

Таблица условий

Поставщик	Потребитель (заказчик)			Запасы
	B_1	B_2	B_3	
A_1	7 x_{11}	9 x_{12}	21 x_{13}	100
A_2	20 x_{21}	15 x_{22}	16 x_{23}	200
Заявки	80	130	90	300

Примечания: 1) x_{ij} - число единиц груза, которые i – й поставщик должен отправить j – му потребителю; 2) в углах ячеек представлены транспортные затраты на перевозку единицы груза в соответствующем направлении.

Задача: минимизировать суммарные транспортные расходы.

Модель системы:

Целевая функция (F):

$$F = 7x_{11} + 9x_{12} + 21x_{13} + 20x_{21} + 15x_{22} + 16x_{23} \rightarrow \min.$$

Ограничения:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} = 100,$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} = 200,$$

$$x_{11} + x_{21} = 80,$$

$$x_{12} + x_{22} = 130,$$

$$x_{13} + x_{23} = 90.$$

Граничные условия:

$$x_{ij} \geq 0, \text{ где } i = 1, 2; j = 1, \dots, 3.$$

Решение задачи.

Задача решена с помощью компьютерной программы линейного программирования (LINDO).

Результаты: минимальные суммарные транспортные расходы (F_{\min}) составляют 3830 денежных единиц. Такой результат может быть достигнут при перевозке груза в следующих пропорциях:

$$x_{11} = 80; \quad x_{21} = 0;$$

$$x_{12} = 20; \quad x_{22} = 110;$$

$$x_{13} = 0; \quad x_{23} = 90;$$

Оценка и нормирование воздействия мобильного
телефона на организм человека

Была поставлена задача: оценить комбинированное влияние на различные подсистемы организма продолжительности разговора (x_1) и интервала между двумя последовательными разговорами (x_2) по мобильному телефону. В конечном итоге необходимо было определить в двумерном пространстве исследуемых факторов границы нормы в соответствии с заданными критериями.

Использовалась методика акупунктурной диагностики. Измерялись электрические потенциалы (КСИ – потенциалы) соответствующих биологически активных точек. Эксперимент проводился следующим образом. До воздействия мобильного телефона снимались фоновые значения потенциала с соответствующих точек акупунктуры. Затем происходил разговор по мобильному телефону. С целью стабильности эксперимента разговор велся с оператором. Отсчет времени начинался непосредственно с момента начала гудков. Сразу после разговора производился съем потенциала с этих же биологически активных точек. Разговор повторялся 5 раз. Для обработки результатов и построения моделей брались средние значения отклонений от фоновых значений потенциала. В ходе эксперимента использовался мобильный телефон NOKIA6131.

Таблица 1.

Значения воздействующих факторов.

№ фактора	условные обозначения	наименование	величины			единицы измерения
			минимальная	средняя	максимальная	
1	X1	длительность	1(-1)	3(0)	5(+1)	минуты
2	X2	интервал	5(-1)	15(0)	25(1)	минуты

Были исследованы все основные подсистемы организма. Оказалось, что каждая из них в различной степени, но значимо реагировала на воздействие

исследуемых факторов. В качестве примера для настоящего пособия была выбрана подсистема “желудок”. Интерес к этой подсистеме вызван тем, что она теоретически не имеет прямого отношения к влиянию исследуемых факторов, но, как будет показано далее, по результатам моделирования почти по всем показателям статистически значимо откликается на действие мобильного телефона.

В соответствии с требованиями математической теории эксперимента был составлен двухфакторный план второго порядка, представленный в табл.2. Здесь же приведены результаты измерений отклонений потенциала соответствующей акупунктурной точки от его фоновых значений в милливольтгах.

Таблица 2.

План и результаты эксперимента

Номер опыта	Значения факторов				Результаты (y)
	Кодированные		Натуральные		
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂	
1	-1	-1	1	5	-10
2	-1	1	1	25	-1,7
3	1	-1	5	5	23,3
4	1	1	5	25	-6,9
5	1	0	5	15	9,6
6	-1	0	1	15	6
7	0	1	3	25	-4,3
8	0	-1	3	5	28,5
9	0	0	3	15	2,3

Примечание: с целью получения статистических оценок опыт в средней точке (N 9) был дублирован 10 раз. Результаты дублирования: 5;-0,5; 7; 4; 2; -2; 3; 1; 2,5; 1,5.

В результате обработки полученных данных методом множественной нелинейной регрессии были получены коэффициенты модели, являющиеся оценками соответствующих влияний факторов: линейного (b₁,b₂), квадратич-

ного (b_{11}, b_{22}) и эффекта взаимодействия (b_{12}). Значения коэффициентов представлены в таблице 3. Из таблицы следует, что все влияния факторов кроме последнего статистически значимы.

С целью наглядного представления результатов моделирования и определения границы области нормы на основе полученных коэффициентов построено графическое представление модели в виде линий равного уровня (рис.6).

Таблица 3

Коэффициенты модели

Условные обозначения	b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}
Величины коэфф.	9,6	5,3	-9	-9,7	-5,5	-1,2
Доверительная граница	4,4	2,4	2,4	3	4,2	4,2

Примечание: величина коэффициента статистически значима, если по абсолютной величине она больше или равна значению ее доверительной границы.

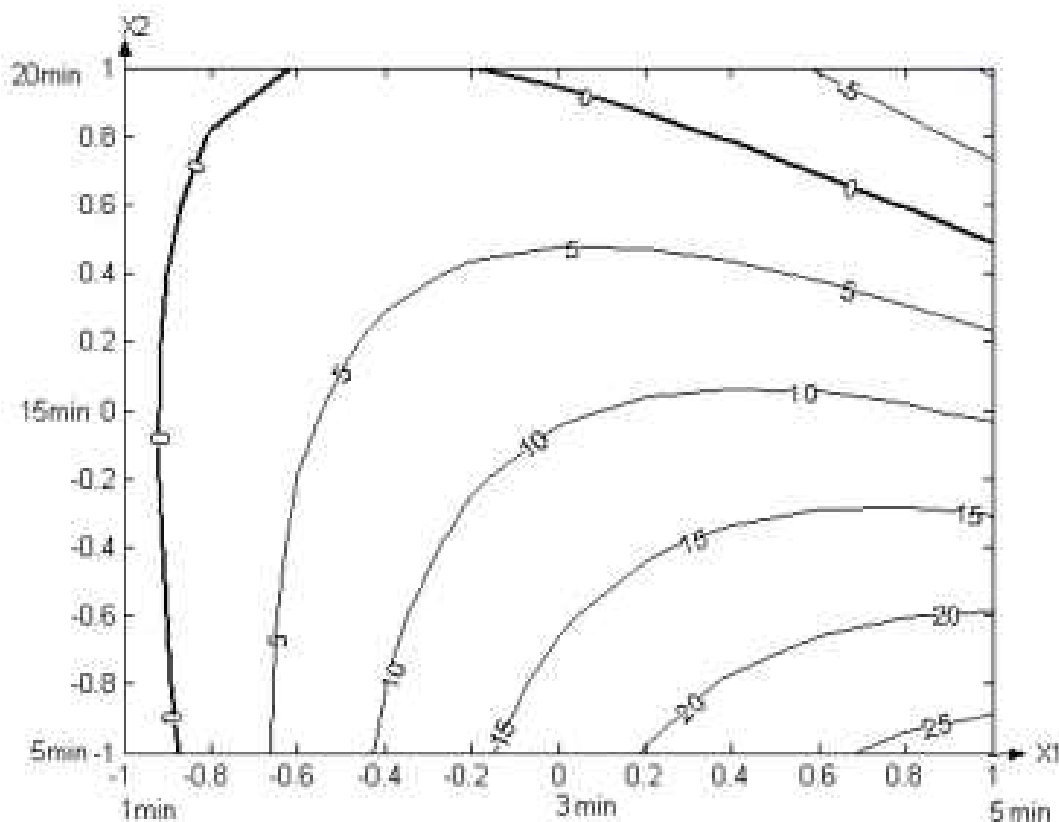


Рис.6. Система линий равного уровня описывающая зависимость состояния подсистемы “желудок” от комбинированного влияния параметров мобильного телефона: длительности (X_1 и интервала X_2 разговора).

Здесь в виде линий равного уровня графически представлена картина отклонений величины КСИ-потенциала (мв) от нормы. Жирной линией обозначено нулевое отклонение. Обращает на себя внимание тот факт, что при малой продолжительности разговора в пределах полутора – двух минут телефон не оказывает существенного влияния на состояние исследуемой подсистемы независимо от величины интервала между разговорами. Но, если длительность разговора увеличивается более полутора-двух минут, то оба исследуемых фактора существенно увеличивают отклонение КСИ-потенциала от нормы. В предельном случае – при продолжительности разговора пять минут и такой же величине интервала отклонение потенциала составляет более 25мв., что существенно выходит за границы нормы. С другой стороны, при увеличении величины интервала между разговорами свыше 17-18 мин. длительность разговора в исследованных пределах не играет роли. Отклонение потенциала от фона в таком случае не превышает 5 мв., что соответствует норме.

Для нормирования факторного пространства, т.е. определения границ области нормы необходимо задаться критерием оценки нормы. В данном эксперименте в качестве такого критерия выбрано максимально допустимое отклонение потенциала в пределах ± 5 мв.. В результате можно определить область нормы, которая с одной стороны ограничена осью ординат и верхней границей факторного пространства, а с другой стороны – линиями равного уровня, соответствующими отклонениям величины потенциала в ± 5 мв.

Общий вид модели в объеме в виде гиперплоскости представлен на рис.7. Здесь наглядно графически подтверждаются результаты проведенного анализа модели в виде линий равного уровня. Так, максимальное отклонение КСИ-потенциала имеет место при максимальной продолжительности телефонного разговора (x_1) и минимальном интервале между двумя последовательными разговорами (x_2) -правый угол на рис.7 и правый нижний угол на рис.6.

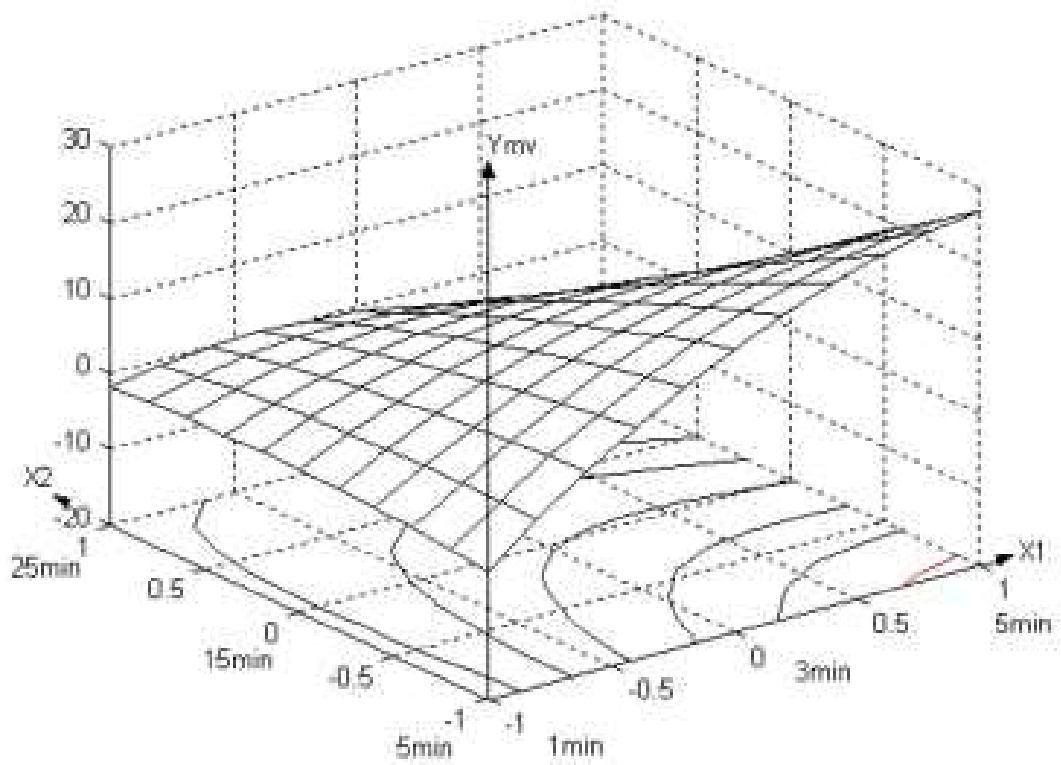


Рис.7. Графическое представление модели влияния факторов разговора по мобильному телефону на состояние желудка

Рекомендуемые планы многофакторных экспериментов

Номер опыта	Факторы													
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
2	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
3	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
4	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+
5	+	0	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
6	-	0	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+
7	0	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+
8	0	-	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-
9	0	0	+	0	0	+	-	-	-	-	+	-	-	-
10			-	0	0	+	-	-	+	-	+	-	+	+
11			0	+	0	+	-	+	-	-	+	-	+	+
12			0	-	0	+	-	+	+	-	+	-	+	-
13			0	0	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+
14			0	0	-	+	+	-	+	-	+	+	-	-
15			0	0	0	+	+	+	-	-	+	+	+	-
16						+	+	+	+	-	+	+	+	+
17						+	0	0	0	-	+	0	0	0
18						-	0	0	0	-	0	0	0	0
19						0	+	0	0	-	0	+	0	0
20						0	-	0	0	-	0	-	0	0
21						0	0	+	0	-	0	0	+	0
22						0	0	-	0	-	0	0	-	0
23						0	0	0	+	-	0	0	0	+
24						0	0	0	-	-	0	0	0	-
25						0	0	0	0	-	0	0	0	+
26										-	0	0	0	-
27										-	0	0	0	0

Примечания: 1) знаками “+”, “-“, “0” обозначены соответственно максимальные, минимальные и средние уровни факторов; 2) для 5-факторного плана представлен сокращенный (дробный) план, обеспечивающий удовлетворительные характеристики модели. 3) В каждом плане в верхней его части имеется линейная часть – “ядро”, в которое включены значения факторов только на двух уровнях: плюс и минус. Каждое такое “ядро” можно рассматривать как самостоятельный линейный план эксперимента.

Заключение

Системный анализ – это вполне сформировавшаяся к настоящему времени методология разработки, исследования и оптимизации сложных объектов. Широкое внедрение системного мышления в деятельность специалистов в самых разнообразных областях науки и техники является важной предпосылкой для существенных достижений в разработке новых технологий на стыке различных научных дисциплин, т.е. на уровне 21 века.

Методология системного анализа включает в себя принципы, методы и средства, обеспечивающие проведение исследований, начиная от постановки целей и задач, выработки критериев достижения этих целей, определения альтернатив и заканчивая принятием решений и оформлением результатов работы. В пособии представлен ряд примеров системной постановки цели и задач исследования сложных, многопараметрических объектов, а в приложении приведены решения некоторых задач применительно к изучению и оптимизации конкретных систем.

Значительное место в пособии уделено методам математического и имитационного моделирования, системной организации экспериментальных исследований и проблеме принятия решений.

Можно надеяться, что настоящее пособие в определенной степени будет служить руководством к действию при постановке и решении задач, связанных с изучением и оптимизацией сложных объектов с позиции системного анализа.

Литература

1. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи/ ред. Волкова В.Н., Воронков В.А., Денисов. – М. Радио и связь, 1983.
2. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Системотехника. - М., Радио и связь, 1985.
3. Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н. Введение в системный анализ: Учеб. пособие. Л.: ЛГУ. –1988.
4. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ: Учеб. пособ. М.: Высшая школа.-1989.
5. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение. - М.: Мир, 1990.
6. Чурносов Е.В., Илюшов Г.С. Моделирование биологических процессов и систем: Учеб. пособие. СПбГЭТУ, 1997.
7. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа: Учебник для студентов вузов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997.
8. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учебник. М., Высшая школа, 1998.
9. Системный анализ и принятие решений: словарь-справочник: Учеб. пособие для вузов/ ред. В.Н.Волкова, В.Н.Козлов. – М.: Высш. шк., 2004.