

Системный анализ и теория систем

Лекция №4



КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ

- 4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПО ПРОИСХОЖДЕНИЮ
- 4.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПО ОБЪЕКТИВНОСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ
- 4.3. ДЕЙСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ
- 4.4. ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
- 4.5. КЛАССИФИКАЦИЯ ПО РАЗМЕРНОСТИ
- 4.6. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ПО ОДНОРОДНОСТИ И РАЗНООБРАЗИЮ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
- 4.7. ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ
- 4.8. ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ.
- 4.9. КАУЗАЛЬНЫЕ И ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Системный анализ и теория систем



- **Классификация систем**



- Многообразие систем довольно велико, и существенную помощь при их изучении оказывает *классификация*.

- *Классификация - это разделение совокупности объектов на классы по некоторым наиболее существенным признакам.*

- Важно понять, что классификация – это только модель реальности [12], поэтому к ней надо так и относиться, не требуя от неё абсолютной полноты. Ещё необходимо подчеркнуть относительность любых классификаций.

- Сама классификация выступает в качестве инструмента системного анализа. С её помощью структурируется объект (проблема) исследования, а построенная классификация является моделью этого объекта.

- Полной классификации систем в настоящее время нет, более того, не выработаны окончательно её принципы. Разные авторы предлагают разные принципы классификации, а сходным по сути – дают разные названия [5, 12, 21, 22, и др.].

Системный анализ и теория систем



4.1. Классификация по происхождению

-
- В зависимости от происхождения системы делятся на *естественные* и *искусственные* (создаваемые, антропогенные).
- *Естественные системы* – это системы, объективно существующие в действительности, в живой и неживой природе и обществе.
- Эти системы возникли в природе без участия человека.
- **Примеры:** атом, молекула, клетка, организм, популяция, общество, Вселенная и т. п.
- *Искусственные системы* – это системы, созданные человеком.
- **Примеры:**
- Холодильник, самолёт, предприятие, фирма, город, государство, партия, общественная организация и т. п.
- Одной из первых искусственных систем можно считать систему торговли [13].
- Кроме того, можно говорить о третьем классе систем – *смешанных системах*, куда относятся эргономические (машина — человек-оператор), автоматизированные, биотехнические, организационные и другие системы [12].

Системный анализ и теория систем



- **4.2. Классификация по объективности существования**
-
- Все системы можно разбить на две большие группы: *реальные (материальные или физические)* и *абстрактные (символические) системы*.
- **Реальные системы** состоят из изделий, оборудования, машин и вообще из естественных и искусственных объектов.
- **Абстрактные системы**, по сути, являются моделями реальных объектов - это языки, системы счисления, идеи, планы, гипотезы и понятия, алгоритмы и компьютерные программы, математические модели, системы наук.
- Иногда выделяют **идеальные** или **концептуальные системы** – системы, которые выражают принципиальную идею или образцовую действительность – образцовый вариант имеющейся или проектируемой системы.
- Также можно выделить **виртуальные системы** – не существующие в действительности модельные или мыслительные представления реальных объектов, явлений, процессов (могут быть как идеальными, так и реальными системами).

Системный анализ и теория систем



- **4.3. Действующие системы**
- Выделим из всего многообразия создаваемых систем **действующие системы** [5]. Такие системы способны совершать операции, работы, процедуры, обеспечивать заданное течение технологических процессов, действуя по программам, задаваемым человеком. В действующих системах можно выделить следующие системы: 1) технические, 2) эргатические, 3) технологические, 4) экономические, 5) социальные, б) организационные и 7) управления.
- 1. Технические системы представляют собой материальные системы, которые решают задачи по программам, составленным человеком; сам человек при этом не является элементом таких систем [5].
- **Техническая система** - это совокупность взаимосвязанных физических элементов.
- В качестве связей в таких системах выступают физические взаимодействия (механические, электромагнитные, гравитационные и др.).
- **Примеры:** автомобиль, холодильник, компьютер.
- 2. Эргатические системы. Если в системе присутствует человек, выполняющий определенные функции субъекта, то говорят о эргатической системе.
- **Эргатическая система** - это система, составным элементом которой является человек-оператор [28].

Системный анализ и теория систем



- Частным случаем эргатической системы будет человеко-машинная система - система, в которой человек-оператор или группа операторов взаимодействует с техническим устройством в процессе производства материальных ценностей, управления, обработки информации и т.д. [21].
- **Примеры:**
- Шофер за рулем автомобиля.
- Рабочий, вытачивающий деталь на токарном станке.
- 3. Технологические системы. Существуют два класса определения понятия "технология":
 - как некой абстрактной совокупности операции;
 - как некой совокупности операций с соответствующими аппаратно-техническими устройствами или инструментами.
- Отсюда, по аналогии со структурой (см. разд. 4.5.1), можно говорить о *формальной* и *материальной* технологической системе.
- **Технологическая система (формальная)** – это совокупность операций (процессов) в достижении некоторых целей (решений некоторых задач).
- Структура такой системы определяется набором методов, методик, рецептов, регламентов, правил и норм.

Системный анализ и теория систем



- *Элементами* формальной технологической системы будут операции (действия) или процессы. Ранее *процесс* был определен как последовательная смена состояний, здесь же мы будем рассматривать другое понимание процесса: как последовательной смены операций.
- *Процесс* – это последовательная смена операций (действий направленных на изменение состояния объекта).
- Связями в технологической системе поступают свойства обрабатываемых объектов или сигналы, передаваемые от операции к операции.
- *Технологическая система (материальная)* – это совокупность реальных приборов, устройств, инструментов и материалов (техническое, обеспечение системы), реализующих операции (процессное обеспечение системы) и предопределяющих их качество и длительность.
- **Пример.** Формальная технологическая система производства борща - рецепт. Материальная технологическая система производства борща – совокупность ножей, кастрюль, кухонных приборов, реализующих рецепт. В абстрактной технологии мы говорим о том, что надо отварить мясо, но не оговариваем ни тип кастрюли, ни вид плиты (газовая или электрическая). В материальной технологии техническое обеспечение приготовления борща будет определять его качество и длительность тех или иных операций.

Системный анализ и теория систем



- Технологическая система более гибкая, чем техническая: минимальными преобразованиями ее можно переориентировать на производство других объектов, либо на получение других свойств последних.
- **Примеры.** Технологические системы: производство бумаги, изготовление автомобиля, оформление командировки, получение денег в банкомате.
- 4. Экономическая система – что система отношений (процессов), складывающихся в экономике. Развернём что определение.
- *Экономическая система – это совокупность экономических отношений, возникающих в процессе производства, распределения, обмена и потребления экономических продуктов и регламентируемых совокупностью соответствующих принципов, правил и законодательных норм.*
- 5. **Социальная система.** Поскольку мы рассматриваем только создаваемые системы, то социальную систему будем рассматривать в следующем разрезе:
- *Социальная система - это совокупность мероприятий, направленных на социальное развитие жизни людей.*

Системный анализ и теория систем



- К таким мероприятиям относятся: улучшение социально-экономических и производственных условий труда, усиление его творческого характера, улучшение жизни работников, улучшение жилищных условий и т. п.
- **6. Организационная система.** Взаимодействие вышеназванных систем обеспечивает организационная система (система организационного управления [21]).
- **Организационная система** – это совокупность элементов, обеспечивающих координацию действий, нормальное функционирование и развитие основных функциональных элементов объекта [5].
- Элементы такой системы представляют собой органы управления,, обладающие правом принимать управленческие решения – это руководители, подразделения или даже отдельные организации (например, министерства).
- Связи в организационной системе имеют информационную основу и определяются должностными инструкциями и другими нормативными документами, в которых прописаны права, обязанности ответственность органа управления.
- **7. Система управления.** Управление рассматривается как действия или функция, обеспечивающие реализацию заданных целей.

Системный анализ и теория систем



- Систему, в которой реализуется функция управления, называют **системой управления** [21].
- Система управления содержит два главных элемента: *управляемую подсистему* (объект управления) и *управляющую подсистему* (осуществляющую функцию управления).
- Применительно к техническим системам управляющую подсистему называют *системой регулирования*, а к социально-экономическим — *системой организационного управления*.
- Разновидностью системы управления является *эргатическая система* - человеко-машинная система управления.
- **Пример.**
- Рассмотрим работу некоторого магазина и попытаемся выделить в его работе вышеназванные системы.
- В магазине имеется *система управления*, состоящая из субъекта управления - руководства и объекта управления — всех остальных систем магазина.
- Управление реализуется *системой организационного управления* — *организационной системой*, состоящей из директора, его заместителей, начальников отделов и секций, связанных определенными отношениями подчиненности.
- В магазине функционирует *экономическая система*, включающая в себя такие экономические отношения, как производство (услуг и, возможно, товаров обмен (денег на товары и услуги), распределение (прибыли).

Системный анализ и теория систем



- Имеется социальная система, сформулированная в коллективном и/или трудовых договорах.
- Экономические отношения обмена реализуются в виде некоторых *технологических систем* (технология продажи товара, технология возврата денег).
- Технологические системы в свою очередь, строятся на базе технических систем (кассовые аппараты, сканеры штрих-кода, компьютеры, калькуляторы) Кассир, работающий на кассовом аппарате, представляет собой *эргатическую систему*.
- **4.4. Централизованные и децентрализованные системы**
- *Централизованной системой* называется система, в которой некоторый элемент играет главную, доминирующую роль в функционировании системы.
- Такой главный элемент называется *ведущей частью* системы или её *центром*. При этом **небольшие изменения ведущей части вызывают значительные изменения всей системы**: как желательные, так и нежелательные.
- К недостаткам централизованной системы можно отнести низкую скорость адаптации (приспособления к изменяющимся условиям окружающей среды), а также сложность управления из-за огромного потока информации подлежащей переработке в центральной части систем [1].

Системный анализ и теория систем



- **Децентрализованная система** – это система, в которой нет главного элемента.
- Важнейшие подсистемы в такой системе имеют приблизительно одинаковую ценность и построены не вокруг центральной подсистемы, а соединены между собой последовательно или параллельно.
- **Примеры.**
- Армейские структуры представляют собой ярко выраженные централизованные системы.
- Интернет является практически идеальной децентрализованной системой.
-
- **4.5. Классификация по размерности.**
-
- Системы подразделяются на одномерные и многомерные.
- Система, имеющая один вход и один выход, называется **одномерной**. Если входов или выходов больше одного – **многомерной**.
- Нужно понимать условность одномерности системы — в реальности любой объект имеет бесчисленное число входов и выходов.

Системный анализ и теория систем



- **4.6. Классификация систем по однородности и разнообразию структурных элементов**
-
- Системы бывают *гомогенные*, или однородные, и *гетерогенные*, или разнородные, а также смешанного типа.
- В **гомогенных** системах структурные элементы системы однородны, т. е. обладают одинаковыми свойствами. В связи с этим в гомогенных системах элементы взаимозаменяемы.
- **Пример.** Гомогенная компьютерная система в организации состоит из однотипных компьютеров с установленными на них одинаковыми операционными системами и прикладными программами. Это позволяет заменить вышедший из строя компьютер любым другим без дополнительной настройки и переучивания конечного пользователя.
- Понятие «гомогенная система» широко используется при описании свойств газов, жидкостей или популяций организмов.
- **Гетерогенные** системы состоят из разнородных элементов, не обладающих свойством взаимозаменяемости.
- **Примеры.**
 1. Гетерогенная сеть – информационная сеть, в которой работают протоколы сетевого уровня различных фирм-производителей [21]. Гетерогенная вычислительная сеть состоит из фрагментов разной топологии и разнотипных технических средств.

Системный анализ и теория систем



2. Если университет в обычном понимании является гомогенным образованием, т. е. реализует подготовку по высшему и послевузовскому образованию (которые близки как по учебным программам, так и по методам их преподавания), то университетский комплекс представляется собой гетерогенную систему, в которой проводится подготовка по программам начального, среднего, высшего послевузовского образования [11].

● 4.7. Линейные и нелинейные системы

- Система называется **линейной**, если она описывается линейными уравнениями (алгебраическими, дифференциальными, интегральными и т. п.), в противном случае - **нелинейной**.
- Для линейных систем справедлив принцип суперпозиции: **реакция системы на любую комбинацию внешних воздействий равна сумме реакций на каждое из этих воздействий, поданных на систему порознь.** Предположим, что после изменения входной переменной на величину Δx выходная переменная изменяется на Δy . Если система линейна, то после двух независимых изменений входной переменной на Δx_1 и Δx_2 , таких, что $\Delta x_1 + \Delta x_2 = \Delta x$, суммарное изменение выходной переменной также будет равно Δy .

Системный анализ и теория систем



- Большинство сложных систем являются нелинейными. В связи с этим для упрощения анализа систем довольно часто применяют процедуру *линеаризации*, при которой нелинейную систему описывают приближенно линейными уравнениями в некоторой (рабочей области изменения входных переменных). Однако не всякую нелинейную систему можно линеаризировать, в частности, нельзя линеаризировать дискретные системы.
-
- **4.8. Дискретные системы.**
-
- Среди нелинейных систем выделяют класс *дискретных систем*.
- *Дискретная система* - это система, содержащая хотя бы один элемент дискретного действия.
- *Дискретный элемент* - это элемент, выходная величина которого изменяется дискретно, т. е. скачками, даже при плавном изменении входных величин.
- Все остальные системы относятся к системам *непрерывного действия*.
- Система *непрерывного действия* (*непрерывная система*) состоит только из элементов непрерывного действия, т. е. элементов, выходы которых изменяются плавно при плавном изменении входных величин.

Системный анализ и теория систем



● 4.9. Каузальные и целенаправленные системы

- В зависимости от способности системы ставить себе цель различают *каузальные и целенаправленные (целеустремленные, активные) системы*.
- К каузальным системам относится широкий класс неживых систем:
- **Каузальные системы** - это системы, которым цель внутренне не присуща.
- Если такая система и имеет целевую функцию (например, автопилот), то эта функция задана извне пользователем.
- **Целенаправленные системы** - это системы, способные к выбору своего поведения в зависимости от внутренне присущей цели [8].
- В целенаправленных системах цель формируется внутри системы.

- **Пример.** Система "самолет-пилоты" способна поставить себе цель и отклониться от маршрута.
- Элемент целенаправленности всегда присутствует в системе, включающей в себя людей (или еще шире живые существа). Вопрос чаще всего состоит в степени влияния этой целенаправленности на функционирование объекта. Если мы имеем дело с ручным производством, то влияние так называемого человеческого фактора очень большое. человек, группа людей или весь коллектив способны поставить цель своей деятельности, отличную от цели компании.

Системный анализ и теория систем



- Активные системы, к которым, в первую очередь, относятся организационные, социальные и экономические, в зарубежной литературе называются «мягкими» системами. Они способны сознательно предоставлять недостоверную информацию и сознательно не выполнять планы, задания, если им это выгодно. Важным свойством таких систем является дальновидность, обеспечивающая способность системы прогнозировать будущие последствия принимаемых решений. Это, в частности, затрудняет применение обратной связи для управления системой.
- Кроме того, иногда на практике системы условно делят на системы, стремящиеся к цели – **целеориентированные**, и на системы, которые ориентированы, в первую очередь, не на цели, а на определенные ценности – **ценностноориентированные**.

Системный анализ и теория систем



● 4.10. Большие и сложные системы

-
- Достаточно часто термины «*большая система*» и «*сложная система*» используются как синонимы [21]. В то же время существует точка зрения, что большие и сложные системы — это разные классы систем. При этом некоторые авторы связывают понятие «*большая*» с величиной системы, количеством элементов (часто относительно однородных), а понятие «*сложная*» — со сложностью отношений, алгоритмов или сложностью поведения [14]. Существуют более убедительные обоснования различия понятий «*большая система*» и «*сложная*» «*система*».



● 4.10.1. Большие системы

- Понятие «*большая система*» стало употребляться после появления книги Р.Х. Гуда и Р.З. Макола [7]. Этот термин широко использовался в период становления системных исследований для того, чтобы подчеркнуть принципиальные особенности объектов и проблем, требующих применения системного подхода [21].

Системный анализ и теория систем



- В качестве признаков большой системы предлагалось использовать различные понятия:
 - понятие иерархической структуры, что, естественно, сужало класс структур, с помощью которых может отображаться система;
 - понятие «человеко-машинная» система (но тогда выпадали полностью автоматические комплексы);
 - наличие больших потоков информации;
 - или большого числа *алгоритмов* ее переработки
- У.Р. Эшби считал, что система является *большой* с точки зрения наблюдателя, возможности которого она превосходит в каком-то аспекте, важном для достижения цели [29]. При этом физические размеры объекта не являются критерием отнесения объекта к классу больших систем. Один и тот же материальный объект в зависимости от цели наблюдателя и средств, имеющихся в его распоряжении, можно отображать или не отображать *большой* системой. Ю.И. Черняк также в явном виде связывает понятие большой системы с понятием «наблюдатель»: для изучения большой системы, в отличие от сложной необходим "наблюдатель" (имеется в виду не число людей, принимающих участие в исследовании или проектировании системы, а относительная однородность их квалификации: например, инженер или экономист) [25].

Системный анализ и теория систем



- Он подчёркивает, что в случае большой системы объект может быть описан как бы на одном языке, т. е. с помощью единого метода моделирования, хотя и по частям, подсистемам. Еще Ю.И. Черняк предлагает называть большой системой «такую, которую невозможно исследовать иначе, как по подсистемам».
-
- **4.10.2. Классификация систем по сложности**
- Существует ряд подходов к разделению систем по сложности, и, к сожалению, нет единого определения этому понятию, нет и чёткой границы, отделяющей простые системы от сложных. Разными авторами предлагались различные классификации сложных систем.
- Например, признаком *простой системы* считают сравнительно небольшой объем информации, требуемый для её успешного управления. Системы, в которых не хватает информации для эффективного управления, считают *сложными*.

Системный анализ и теория систем



- Г.Н. Поваров [16] оценивает сложность систем в зависимости от числа элементов, входящих в систему:
 - малые системы ($10-10^3$ элементов);
 - сложные (10^4-10^6);
 - ультрасложные (10^7-10^{30} элементов);
 - суперсистемы ($10^{30}-10^{200}$ элементов).
- В частности, Ю.И. Черняк сложной называет систему, которая строится для решения многоцелевой, многоаспектной задачи [24] и отражает объект с разных сторон в нескольких моделях. Каждая из моделей имеет свой язык, а для согласования этих моделей нужен особый метаязык. При этом подчеркивалось наличие у такой системы сложной, составной цели или даже разных целей и притом одновременно многих структур (например, технологической, административной, коммуникационной, функциональной и т. д.).
- В.С. Флейшман за основу классификации принимает *сложность поведения* системы [26].
- Одна из интересных классификаций *по уровням сложности* предложена К. Боулдингом [4] (таблица 1). В этой классификации каждый последующий класс включает в себя предыдущий.
- Условно можно выделить два вида сложности: *структурную и функциональную*.

Системный анализ и теория систем



- **Структурная сложность.** Ст. Вир предлагает делить системы на простые, сложные и очень сложные [2].
- **Простые** – это наименее сложные системы.
- **Сложные** – это системы, отличающиеся разветвленной структурой и большим разнообразием, внутренних связей.
- **Очень сложная система** – это сложная система, которую подробно описать нельзя.
- Несомненно, что эти деления довольно условны и между ними трудно провести границу. (Здесь сразу вспоминается вопрос: с какого количества камней начинается куча?)

Системный анализ и теория систем



- Таблица №1 Классификация систем по уровню сложности К. Боулдинга

Тип системы	Уровень сложности	Примеры
Неживые системы	Статические структуры (остовы)	Кристаллы
	Простые динамические структуры с заданным законом поведения	Часовой механизм
	Кибернетические системы с управляемыми циклами обратной связи	Термостат
Живые системы	Открытые системы с самосохраняемой структурой (первая ступень, на которой возможно разделение на живое и неживое)	Клетки
	Живые организмы с низкой способностью воспринимать информацию	Растения
	Живые организмы с более развитой способностью воспринимать информацию, но не обладающие самосознанием	Животные
	Системы, характеризующиеся самосознанием, мышлением и нетривиальным поведением	Люди
	Социальные системы	Социальные организации
	Трансцендентные системы или системы, лежащие в настоящий момент вне нашего познания	-

Системный анализ и теория систем



- Позднее Ст. Вир [3] предложил относить к простым системам те, которые имеют до 10^3 состояний, к сложным - от 10^3 до 10^6 состояний и к очень сложным - системы, имеющие свыше миллиона состояний.
- Одним из способов описания сложности является оценка числа элементов, входящих в систему (переменных, состояний, компонентов), и разнообразия взаимозависимостей между ними. Например, количественную оценку сложности системы можно произвести, сопоставляя число элементов системы (n) и число связей (m) по следующей формуле: $C = m/n(n-1)$
- где $n(n-1)$ – максимально возможное число связей.
- Можно применить энтропийный подход к оценке сложности системы. Считается, что *структурная сложность системы должна быть пропорциональна объёму информации, необходимой для её описания (снятия неопределённости)*. В этом случае общее количество информации о системе S , в которой априорная вероятность появления i -го свойства равна $p(s_i)$, определяется как
- $I_s = - \sum_i p(s_i) \ln p(s_i)$

Системный анализ и теория систем



- **Функциональная сложность.** Говоря о сложности систем, Ст. Вир отразил только одну сторону сложности – сложность строения – *структурную* сложность. Однако следует сказать и о другой сложности систем – *функциональной* (или вычислительной).
- Для количественной оценки функциональной сложности можно использовать алгоритмический подход, например количество арифметико-логических операций, требуемых для реализации функции системы преобразования входных значений в выходные¹, или объём ресурсов (время счёта или используемая память), используемых в системе при решении некоторого класса задач.
- Считается, что не существует систем обработки данных, которые могли бы обработать более чем $1,6 \cdot 10^{17}$ бит информации в секунду на грамм своей массы [1. 19]. Тогда гипотетическая компьютерная система, имеющая массу, равную массе Земли, за период, равный примерно возрасту Земли, может обработать порядка 10^{98} (или приблизительно 2^{309}) бит информации (**предел Бреммермана**). При этих расчётах в качестве информационной ячейки использовался каждый квантовый уровень в атомах, образующих вещество Земли. Задачи, требующие обработки более чем 10^{93} бит называются трансвычислительными. В практическом плане это означает, что, например, полный анализ системы из 100 переменных, каждая из которых может принимать 10 разных значений, является трансвычислительной задачей.

Системный анализ и теория систем



- **Пример.** Если система имеет два входа, которые могут находиться в двух возможных состояниях, то возможных вариантов состояния - четыре. При 10 входах вариантов уже 1024, а при 20-ти (что соответствует маленькой реальной сделке) – вариантов уже 2^{20} . Когда имеется реальный оперативный план небольшой корпорации, в котором хотя бы тысяча независимых событий (входов), то вариантов получается 2^{1000} ! Значительно больше предела Бреммермана.
- Кроме того, выделяют такой тип сложности, как *динамическая сложность*. Она возникает тогда, когда меняются связи между элементами. Например, в коллективе сотрудников фирмы может время от времени меняться настроение, поэтому существует множество вариантов связей, которые могут устанавливаться между ними. Попытку дать исчерпывающее описание таким системам можно сравнить с поиском выхода из лабиринта, который полностью изменяет свою конфигурацию, как только вы меняете направление движения. Примером могут служить шахматы [15].

Системный анализ и теория систем



- **Малые и большие, сложные и простые.** Авторы книги [12] предлагают рассматривать четыре варианта сложности систем
 - малые простые;
 - малые сложные;
 - большие простые;
 - большие сложные.
- При этом выделение системы того или иного класса в одном и том же объекте зависит от точки зрения на объект, т.е. от наблюдателя.
- **Примеры:**
- Давно известно что обыватели всегда готовы давать советы в области воспитания, лечения, управления страной – для них это всегда *малые простые* системы. Тогда как для воспитателей, врачей и государственных деятелей – это *большие сложные* системы.
- Исправные бытовые приборы для пользователя *малые простые* системы, но неисправные – *малые сложные*. А для мастера те же неисправные приборы – *малые простые* системы [12]
- Шифрозамок для хозяина сейфа *малая простая* система, а для похитителя – *большая простая* [12].
- Таким образом, один и тот же объект может быть представлен системами разной сложности. И это зависит не только от наблюдателя но и от цели исследования

Системный анализ и теория систем



- В связи с этим В А Карташев пишет [9]:
«Первичное рассмотрение даже самых сложных образований на уровне установления их основных, главных отношений приводит к понятию простой системы»
- **Пример.** При стратифицированном описании предприятия на самой верхней страте оно может быть описано в виде *малой простой системы* в виде «черного ящика» с основными ресурсами на входе и продукцией на выходе.

Системный анализ и теория систем



4.11. Детерминированность

- Рассмотрим еще одну классификацию систем, предложенную Ст. Биром [2].
- *Если входы объекта однозначно определяют его выходы, то его поведение можно однозначно предсказать (с вероятностью 1), то объект является **детерминированным** в противном случае – **недетерминированным (стохастическим)**.*
- Математически детерминированность можно описать как строгую функциональную связь $Y = F(X)$, а стохастичность возникает в результате добавления случайной величины ε : $Y = F(X) + \varepsilon$
- Детерминированность характерна для менее сложных систем;
- стохастические системы сложнее детерминированных, поскольку их более сложно описывать и исследовать
- **Примеры:**
- Швейную машинку можно отнести к детерминированной системе: повернув на заданный угол рукоятку машинки можно с уверенностью сказать, что иголка переместится вверх-вниз на известное расстояние (случай неисправной машинки не рассматриваем)
- Примером недетерминированной системы является собака, когда ей протягивают кость, нельзя однозначно прогнозировать поведение собаки.
- Интересен вопрос о природе стохастичности. С одной стороны, стохастичность – следствие случайности.

Системный анализ и теория систем



- **Случайность** – это цепь невыявленных закономерностей, скрытых за порогом нашего понимания [18].
- А с другой – приближительности измерений. В первом случае мы не можем учесть все факторы (входы), действующие на объект а также не знаем природы его нестационарности. Во в втором – проблема непредсказуемости выхода связана с невозможностью точно измерить значения входов и ограниченностью точности сложных вычислений.

Системный анализ и теория систем



● 4.12. Классификация систем по степени организованности

● 4.12.1 Степень организованности системы

- Организованность или упорядоченность организованности системы R оценивается по формуле [17]
- $R = 1 - \mathcal{E}_{\text{реал}} / \mathcal{E}_{\text{макс}}$,
- где $\mathcal{E}_{\text{реал}}$ - реальное или текущее значение энтропии, $\mathcal{E}_{\text{макс}}$ - максимально возможная энтропия или неопределенность по структуре и функциям системы.
- Если система полностью детерминированная и организованная то $\mathcal{E}_{\text{реал}} = 0$ и $R = 1$. Снижение энтропии системы до нулевого значения означает полную «заорганизованность» системы и приводит к вырождению системы. Если система полностью дезорганизованная, то $R = 0$ и $\mathcal{E}_{\text{реал}} = \mathcal{E}_{\text{макс}}$.
- Качественная классификация систем по степени организованности была предложена В. В. Налимовым, который выделил класс *хорошо организованных* и класс *плохо организованных*, или *диффузных* систем [14]. Позднее к этим классам был добавлен еще *класс самоорганизующихся систем* [23]. Важно подчеркнуть, что наименование класса системы не является ее оценкой. В первую очередь, это можно рассматривать как подходы к отображению объекта или решаемой задачи, которые могут выбираться и зависимости от стадии познания объекта и возможности получения информации о нем [6].

Системный анализ и теория систем



● 4.12.2. Хорошо организованные системы

- Если исследователю удастся определить все элементы системы и их взаимосвязи между собой и с целями системы и вид *детерминированных* (аналитических или графических) зависимостей, то возможно представление объекта в виде **хорошо организованной** системы [6]. То есть представление объекта в виде хорошо организованной системы применяется в тех случаях, когда может быть предложено детерминированное описание и экспериментально показана правомерность его применения (доказана адекватность модели реальному объекту).
- Такое представление успешно применяется при моделировании технических и технологических систем. Хотя, строго говоря, даже простейшие математические соотношения, отображающие реальные ситуации, также не являются абсолютно адекватными, поскольку, например, при суммировании яблок не учитывается, что они не бывают абсолютно одинаковыми, а вес можно измерить только с некоторой точностью. Трудности возникают при работе со сложными объектами (биологическими, экономическими, социальными и др.). Без существенного упрощения их нельзя представить в виде хорошо организованных систем. Поэтому для отображения сложного объекта в виде хорошо организованной системы приходится выделять только факторы, существенные для конкретной цели исследования. Попытки применить модели хорошо организованных систем для представления сложных объектов практически часто нереализуемы, так как, в частности, не удастся поставить эксперимент, доказывающий адекватность модели. Поэтому в большинстве случаев при представлении сложных объектов и проблем на начальных этапах исследования их отображают классами, рассмотренными ниже.

Системный анализ и теория систем



- **4.12.3. Плохо организованные, или диффузные, системы**
- Если не ставится задача определить все учитываемые компоненты и их связи с целями системы, то объект представляется в виде *плохо организованной* (или *диффузной*) системы [6]. Для описания свойств таких систем можно рассматривать два подхода: *выборочный* и *макропараметрический*.
- При *выборочном подходе* закономерности в системе выявляются на основе исследования не всего объекта или класса явлений, а путем изучения достаточно представительной (репрезентативной) *выборки* компонентов, характеризующих исследуемый объект или процесс. Выборка определяется с помощью некоторых правил. Полученные на основе такого исследования характеристики или закономерности распространяют на поведение системы в целом.
- **Пример.** Если нас ни интересует средняя цена на хлеб и каком-либо городе, то можно было бы последовательно объехать или обзвонить все торговые точки города, что потребовало бы много времени и средств. А можно пойти другим путем: собрать информацию в небольшой (но репрезентативной) группе торговых точек, вычислить среднюю цену и обобщить её на весь город.
- При этом нельзя забывать, что полученные статистические закономерности справедливы для всей системы с какой-то вероятностью, которая оценивается с помощью специальных приемов, изучаемых математической статистикой.

Системный анализ и теория систем



- При *макропараметрическом* подходе свойства системы оценивают с помощью некоторых интегральных характеристик (макропараметров).
- **Примеры:**
- При использовании газа для прикладных целей его свойства не определяют путём точного описания поведения каждой молекулы, а характеризуют макропараметрами — давлением, температурой и т. д. [6]. Основываясь на этих параметрах, разрабатывают приборы и устройства, использующие свойства газа, не исследуя при этом поведение каждой молекулы.
- ООН при оценке уровня качества системы здравоохранения государства применяет в качестве одной из интегральных характеристик количество детей, умерших до пяти лет, на тысячу новорожденных.
- Отображение объектов в виде диффузных систем находит широкое применение при определении пропускной способности систем разного рода, при определении численности штатов в обслуживающих, например ремонтных, цехах предприятия и в обслуживающих учреждениях, при исследовании документальных потоков информации и т.д. [6]

Системный анализ и теория систем



- **4.12.4. Самоорганизующиеся системы**
- Класс самоорганизующихся, или развивающихся, систем характеризуется рядом признаков, особенностей, которые, как правило, обусловлены наличием в системе активных элементов, делающих систему целенаправленной. Отсюда вытекают особенности экономических систем, как самоорганизующихся систем, по сравнению с функционированием технических систем [20, 21]:
- *нестационарность* (изменчивость) отдельных параметров системы и *стохастичность* ее поведения;
- *уникальность и непредсказуемость поведения системы* в конкретных условиях. Благодаря наличию активных элементов системы появляется как бы "свобода воли", но в то же время возможности ее ограничены имеющимися ресурсами (элементами, их свойствами) и характерными для определенного типа систем структурными связями;
- *способность изменять свою структуру и формировать варианты поведения*, сохраняя целостность и основные свойства (в технических и технологических системах изменение структуры, как правило приводит к нарушению функционирования системы или даже к прекращению существования как таковой);

Системный анализ и теория систем



- *способность противостоять энтропийным (разрушающим систему) тенденциям.* В системах с активными элементами не выполняется закономерность возрастания энтропии и даже наблюдаются негаэтропийные тенденции, т. е. собственно самоорганизация;
 - *способность адаптироваться, к изменяющимся условиям.* Это хорошо по отношению к возмущающим воздействиям и помехам, но плохо, когда адаптивность проявляется и к управляющим воздействиям, затрудняя управление системой;
 - *способность и стремление к целеобразованию;*
 - *принципиальная неравновесность.*
- Легко видеть, что хотя часть этих особенностей характерна и для диффузных систем (*стохастичность поведения, нестабильность отдельных параметров*), однако в большинстве своем они являются специфическими признаками, существенно отличающими этот класс систем от других и затрудняющими их моделирование.
- Рассмотренные особенности противоречивы. Они в большинстве случаев являются и положительными и отрицательными, желательными и нежелательными для создаваемой системы. Их не сразу можно понять и объяснить для того, чтобы выбрать и создать требуемую степень их проявления.

Системный анализ и теория систем



- При этом следует иметь в виду важное отличие *открытых* развивающихся систем с активными элементами от *закрытых*. Пытаясь понять принципиальные особенности моделирования таких систем, уже первые исследователи отмечали, что, *начиная с некоторого уровня сложности, систему легче изготовить и ввести в действие, преобразовать и изменить, чем отобразить формальной моделью*. По мере накопления опыта исследования и преобразования таких систем это наблюдение подтверждалось, и была осознана их основная особенность - *принципиальная ограниченность формализованного описания развивающихся, самоорганизующихся систем*.
- По этому поводу фон Нейманом была высказана следующая гипотеза: «У нас нет полной уверенности в том, что в области сложных задач реальный объект не может являться простейшим описанием самого себя, т. е. что всякая попытка описать его с помощью обычного словесного или формально-логического метода не приведет к чему-то более сложному, запутанному и трудновыполнимому...» [27].
- Необходимость сочетания формальных методов и методов качественного анализа и положена в основу большинства моделей и методик системного анализа [21]. При формировании таких моделей меняется привычное представление о моделях, характерное для математического моделирования и прикладной математики. Изменяется представление и о доказательстве адекватности таких моделей.

Системный анализ и теория систем



- Основную конструктивную идею моделирования при отображении объекта классом самоорганизующихся систем можно сформулировать следующим образом: накапливая информацию об объекте, фиксируя при этом все новые компоненты и связи и применяя их можно получать отображения последовательных состояний развивающейся системы, постепенно создавая все более адекватную модель реального, изучаемого или создаваемого объекта. При этом информация может поступать от специалистов различных областей знаний и накапливаться во времени по мере ее возникновения (в процессе познания объекта).
- Адекватность модели также доказывается как бы последовательно (по мере ее формирования) путем оценки правильности отражения в каждой последующей модели компонентов и связей, необходимых для достижения поставленных целей.
-
- **Резюме**
-
- При изучении любых объектов и процессов, в том числе и систем, большую помощь оказывает *классификация* – разделение совокупности объектов на классы по некоторым, наиболее существенным признакам.

Системный анализ и теория систем



- В зависимости от происхождения системы могут быть *естественными* (системы, объективно существующие в живой и неживой природе и обществе) и *искусственными* (системы, созданные человеком).
- По объективности существования все системы можно разбить на две большие группы: *реальные (материальные или физические)* и *абстрактные (символические)* системы.
- Среди всего многообразия создаваемых систем особый интерес представляют *действующие системы*, к которым относятся технические, технологические, экономические, социальные и организационные.
- По степени централизации выделяют *централизованные* системы (имеющие в своем составе элемент, играющий главную, доминирующую роль в функционировании системы) и *децентрализованные* (не имеющие такого элемента).
- Различают системы *одномерные* (имеющие один вход и один выход) и *многомерные* (если входов или выходов больше одного).
- Системы бывают *гомогенные*, или однородные, и *гетерогенные* или разнородные, а также смешанного типа.
- Если система описывается линейными уравнениями, то она относится к классу *линейных* систем, в противном случае – *нелинейных*.
- Система, не содержащая ни одного элемента дискретного действия (выходная величина которого изменяется скачками даже при плавном изменении входных величин), называется *непрерывной*, в противном случае – *дискретной*.

Системный анализ и теория систем



- В зависимости от способности системы поставить себе цель различают *каузальные* системы (неспособные ставить себе цель) и *целенаправленные* (способные к выбору своего поведения в зависимости от внутренне присущей цели).
- Различают *большие, очень сложные, сложные* и *простые* системы.
- По предсказуемости значений выходных переменных системы при известных значениях входных различают *детерминированные* и *стохастические* системы.
- В зависимости от степени организованности выделяют классы *хорошо организованных* систем (их свойства можно описать в виде детерминированных зависимостей), *плохо организованных* (или диффузных) и *самоорганизующихся* (включающие активные элементы)
- Начиная с некоторого уровня сложности, систему легче изготовить и ввести в действие, преобразовать и изменить, чем отобразить формальной моделью, поскольку имеется принципиальная ограниченность формализованного описания развивающихся самоорганизующихся систем.
- В соответствии с гипотезой фон Неймана *простейшим описанием объекта, достигшего некоторого порога сложности, оказывается сам объект, а любая попытка его строгого формального описания приводит к чему-то более трудному и запутанному.*

Системный анализ и теория систем



Литература

- Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. - М.: Финансы и статистика, 2003. - 368 с.
- Вир Ст. Кибернетика и управление производством. - М.: Наука, 1965. - 391 с.
- Вир Ст. Мозг фирмы. - М.: УРСС. 2005 - 416 с
- Боулдинг К. Общая теории систем - скелет науки // Исследования по общей теории систем М. - М.: Прогресс, 1969. – С. 106-124.
- Васильев В. И., Романов Л. Г., Червонный А. А. Основы теории систем: Конспект лекций. - М.: МГТУ ГА. 1994. - 104 с
- Волкова В. И., Денисов А. А. Основы теории управления и системного анализа. - СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. - 510 с
- Гуд Г.Х., Макол Р. З. Системотехника. Введение в проектирование больших систем - М.: Сов. радио. 1962. - 383 с.
- Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы системологии (проблемы теории сложных систем). - М.: Сов. радио. 1970. - 296.
- Карташев В.А. Система систем. Очерки общей теории и методологии - М.: Прогресс-академия, 1995. - 416 с.
- Качала В.В. Основы системного анализа. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2004. - 104 с.
- Ковалевский В. П. Проблемы теории и методологии проектирования регионального университетского комплекса // Университетское управление: практика и анализ. 2003. № 2(25). С. 25 -30.
- Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ - М.: Высш. шк. 1980. - 367с.

Системный анализ и теория систем



● Вопросы:

1. Расскажите о классификации систем.
2. В чём разница между централизованными и децентрализованными системами?
3. В чём разница между линейными и нелинейными системами?
4. Что такое структурная сложность системы?
5. Каковы причины нестационарности поведения системы?
6. Что такое детерминированные системы?
7. Что такое самоорганизующиеся системы?

Системный анализ и теория систем



Системный анализ и теория систем



Системный анализ и теория систем

