

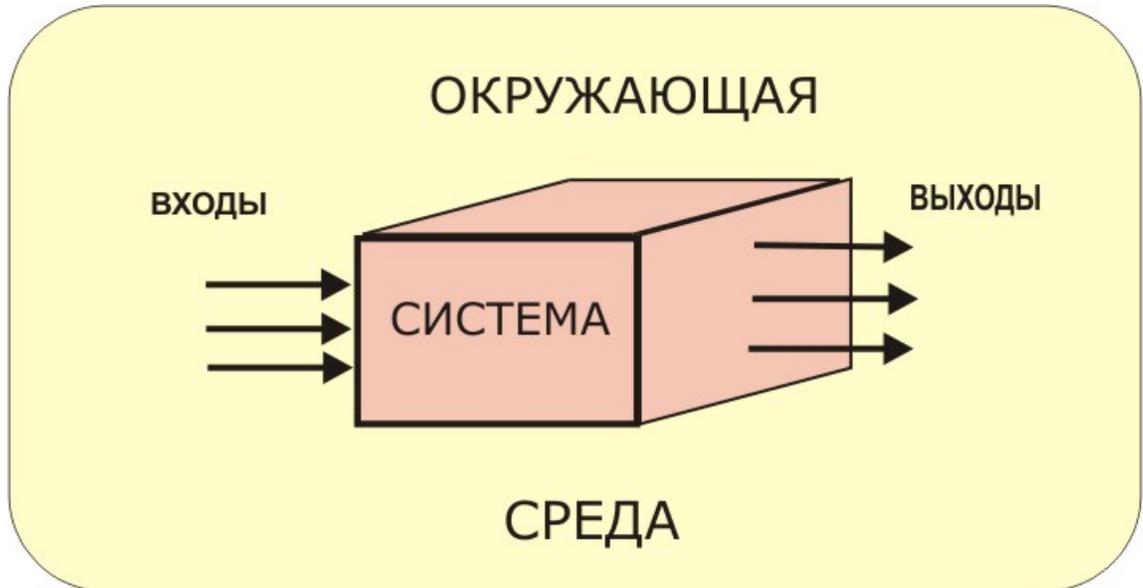
Лекция 3 Концептуальные модели системы

Общая теория систем (ОТС) пытается ответить на следующие основные вопросы: *"Как устроена система?", "Для чего она так устроена?" "Как объяснить её поведение"*.

В рамках ОТС разработаны концептуальные модели, помогающие ответить на эти и некоторые другие вопросы.

Модель "Черный ящик"

Одной из первых и самых простых концептуальных моделей системы стал так называемый "Черный ящик". Он представляет собой часть окружающей среды, выделенной с определенной целью. При этом внутреннее устройство "ящика" считается неизвестным, поэтому он и называется "черным". В этой самой простой модели отражаются следующие важные свойства системы: целостность, обособленность от среды и вместе с тем связь с ней. Графически система представляется как "Черный ящик" следующим образом:



Модель "Черный ящик"

Воздействие внешней среды на систему выражается в виде "входов", а системы на среду в виде - "выходов". Входы-выходы могут выражаться как

словесно, так и формально. То есть приходим к заданию двух множеств: X , Y - входных и выходных переменных.

Простота этой модели весьма обманчива и построение "Черного ящика" не является тривиальной задачей, так как на вопрос о том, сколько и какие именно входы и выходы следует включать в модель, не прост и не всегда однозначен.

Множественность входов и выходов связана с тем, что система взаимодействует с окружающей средой неограниченным числом способов. При построении модели отбирается конечное число входов и выходов. Критерием для отбора является целевое назначение системы. Цель находит свое выражение в задании выходов системы. В рассмотрение включаются, то, что существенно с точки зрения цели системы. Именно здесь возможны ошибки.

Данная модель часто бывает не только очень полезной, но и единственно возможной при изучении многих реальных систем.

Модель состава системы.

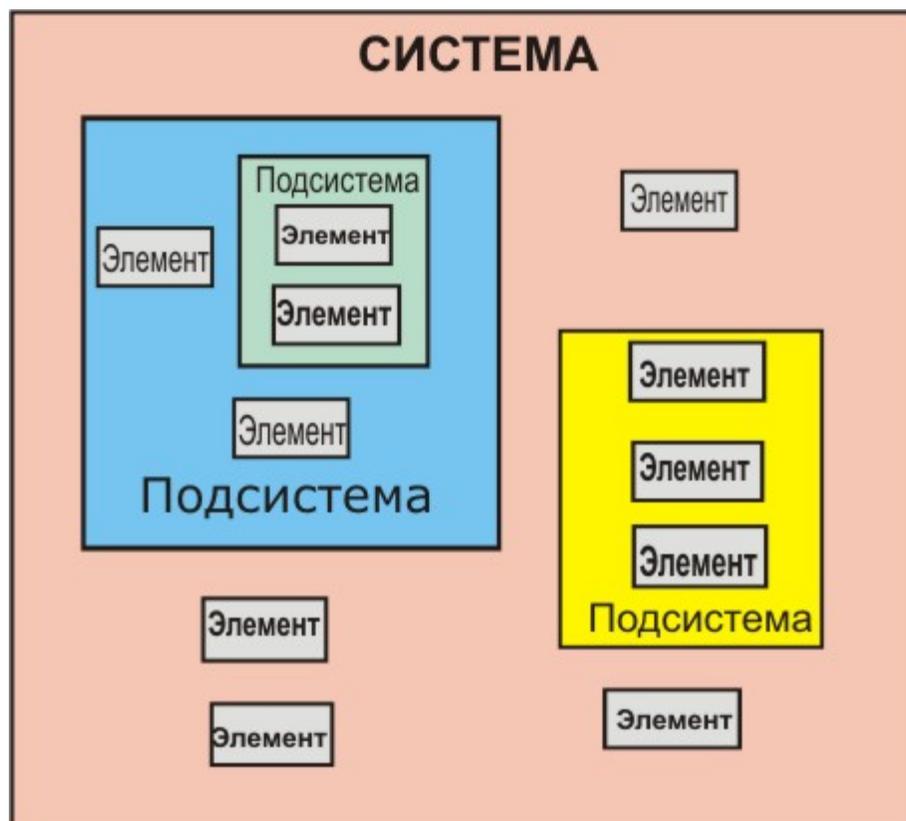
Очевидно, что вопросы, касающиеся внутреннего устройства системы, не могут быть решены с помощью модели "Черный ящик". Для этого необходимы более детальные модели.

При рассмотрении любой системы ее целостность и обособленность выступают как внешние свойства (это отображается в модели "Черный ящик"). Внутренность же "ящика" неоднородна, что позволяет различать составные части самой системы. При этом процесс дробления системы может быть продолжен до тех пор, пока не будут получены неделимые части- элементы. Таким образом, **модель состава** системы представляется как множество элементов, некоторые из которых объединены в более крупные части системы - подсистемы. Методология определения состава системы была уже нами рассмотрена на предыдущих лекциях.

Не существует однозначного способа построения модели состава. Это объясняется рядом причин:

1. понятие элементарности неоднозначно;
2. модель состава прагматична, то есть она зависит от цели её построения;
3. границы между подсистемами условны.

В принципе условна вообще граница между системой и внешней средой. Все это обуславливает относительный характер состава системы. Графически модель состава может быть представлена следующим образом:



Модель состава системы

Модель структуры системы.

Для решения многих задач, связанных с анализом и управлением сложными системами рассмотренных выше моделей недостаточно. Необходимо уметь описывать и анализировать связи (отношения) между элементами системы. Совокупность необходимых и достаточных для достижения цели отношений между элементами называется **структурой** системы.

Перечень связей между элементами является абстрактной моделью структуры. В любой системе существует практически бесконечное число отношений между элементами. Но обычно выделяется конечное число отношений наиболее важных с точки зрения достижения цели.

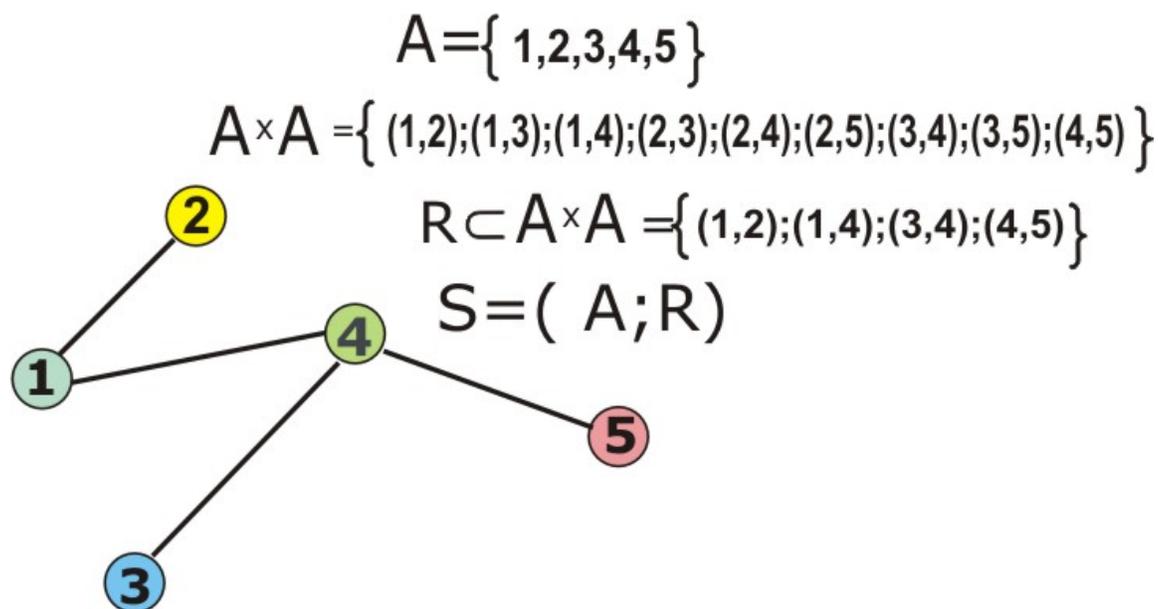
В определенном смысле ОТС имеет своим предметом структурную организацию системы. При этом в качестве основного языка описания используется теоретико-множественный язык.

Рассмотрим теоретико-множественный подход к описанию системы и ее структуры.

Имеем A - множество элементов системы
Зададим отношение R в котором находятся
некоторые элементы $a_j, a_i \in A$
Введем понятие декартова произведения множества
 $A \times A$, которое представляет множество
всевозможных пар элементов множества A
Тогда отношение $R \subseteq A \times A$
Следовательно систему можно определить в
в теоретико-множественном смысле как пару:

$$S = (A, R)$$

В наиболее общем виде модели системы с акцентом на её структуру представляются в виде матриц и графов. Граф состоит из вершин, обозначающих элементы любой природы, и ребер, обозначающих связи между элементами. Если связи симметричны, то ребра графа неориентированные, если асимметричны - ориентированные. Графы могут изображать любые структуры. В настоящее время построена теория графов, которая очень широко используется в системных исследованиях. Пример моделей структуры системы представлен на рисунке:



Теоретико-множественная и графовая модели системы

Модель динамики системы

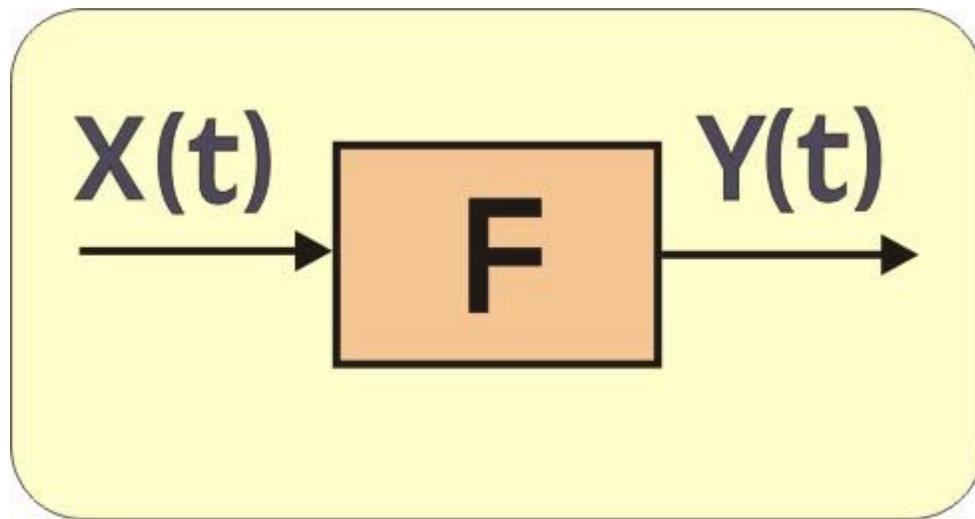
Мы рассмотрели модели, которые являются как бы "фотографиями" системы то есть статическими моделями. Следующий шаг состоит в том, чтобы понять и описать как система "работает", то есть что происходит с ней и с окружающей средой.

Системы, в которых происходят изменения со временем, называются динамическими, а модели, отображающие эти изменения **динамическими** моделями.

Уже на этапе представления системы в виде "Черного ящика" различают два типа динамики **функционирование** и **развитие**. Под функционированием подразумевают процессы, которые происходят в системе (окружающей среде), стабильно реализующей фиксированную цель. Развитием называют то, что происходит с системой при изменении ее целей. Т.е. характерной чертой развития является необходимость изменения структуры системы. Все выше рассмотренные модели могут иметь динамическое представление.

Динамическая система без памяти.

Рассмотрим динамическую систему в виде "черного ящика":



Входы и выходы системы есть функции времени. При этом выход системы $Y(t)$ - есть реакция на вход $X(t)$. Тогда если модель динамики системы может быть представлена следующим образом:

$$Y(t) = F(X(t))$$

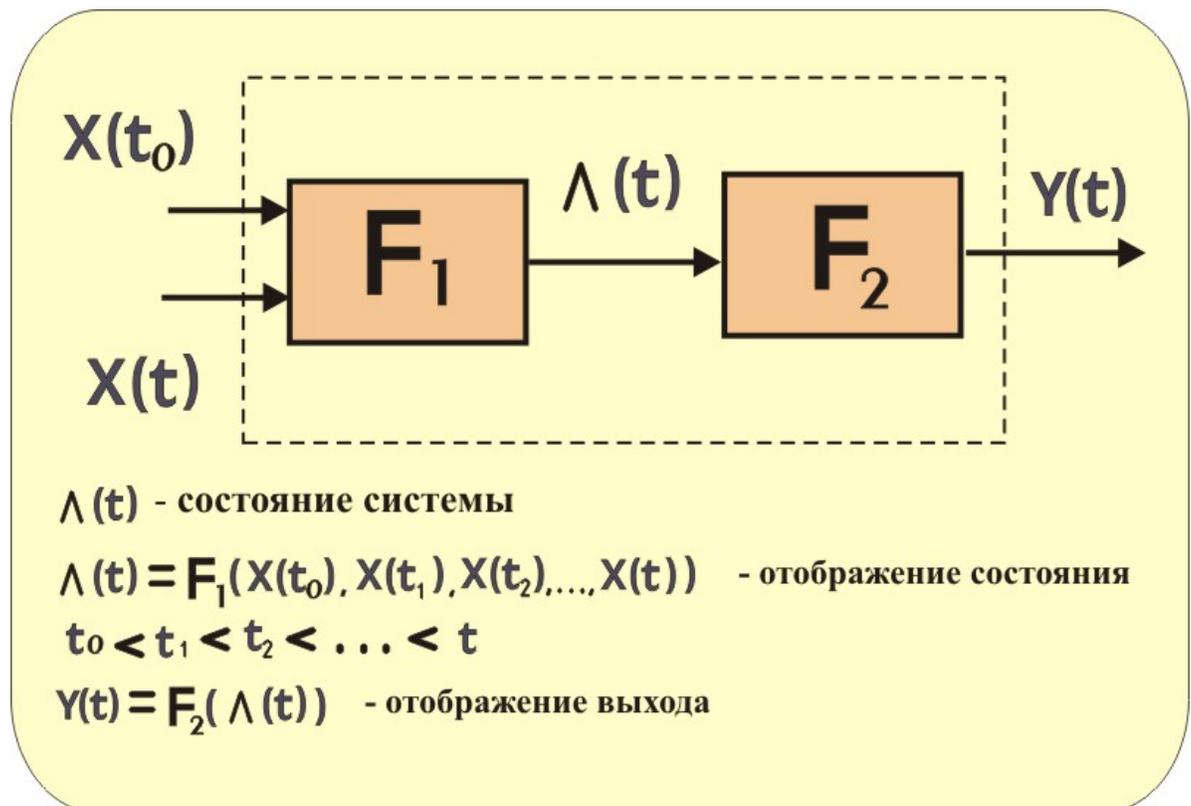
В этом случае имеем динамическую систему без памяти, то есть выход в определенный момент времени зависит только от входа в тот же момент времени. Если оператор F неизвестен, то имеем "черный ящик", если известен, то имеем "белый ящик". Одной из важнейших задач исследования является восстановление функции F только по наблюдению входа и соответствующих выходов.

Динамическая система с памятью

В общем случае выход системы определяется не только значением входа в данный момент времени, но и теми значениями, которые были на входе в предыдущие моменты, то есть система обладает "памятью".

Для обобщения модели вводится понятие **состояние** системы как некоторой (внутренней) характеристики, значение которой в настоящий момент времени определяет текущее значение выходной величины. Состояние можно рассматривать как своего рода хранилище информации, необходимое для предсказания влияния настоящего на будущее.

Динамическую систему с памятью можно представить следующим образом:



Кибернетическая модель системы.

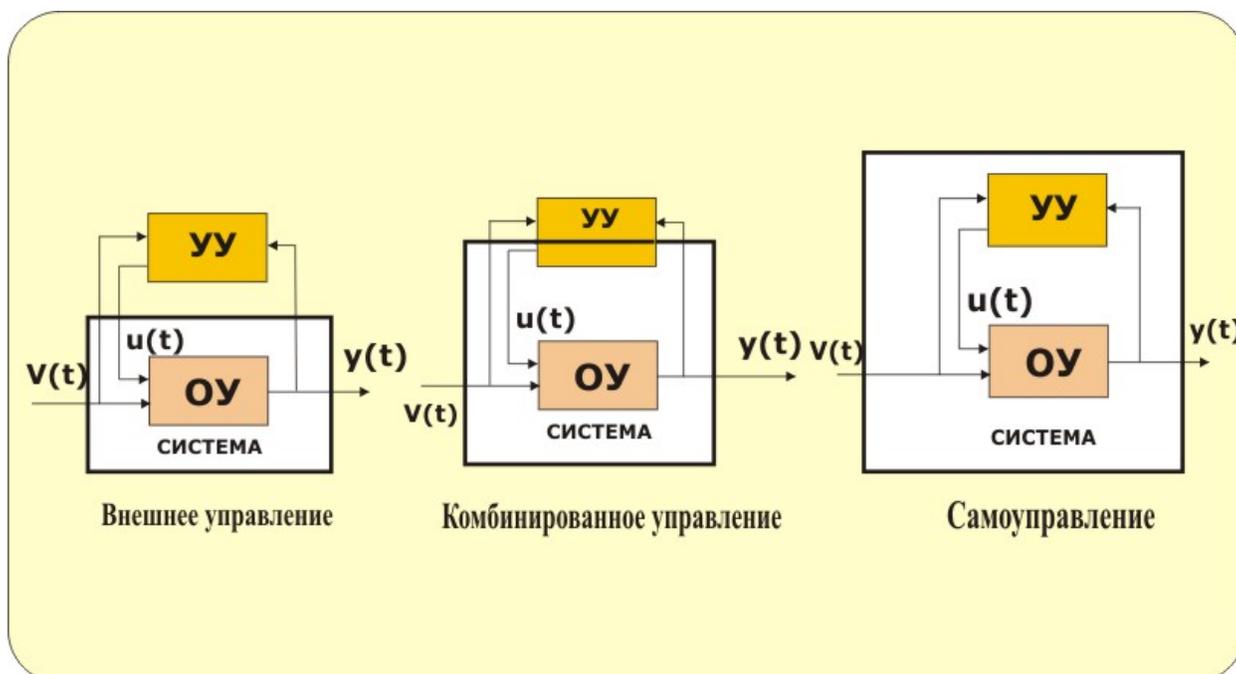
Введенные выше концептуальные модели ОТС, акцентировали внимание на целостности и обособленности системы и её взаимодействии с окружающей средой ("черный ящик"), а также на внутреннем устройстве (модель состава и структуры) и изменении системы во времени (модель динамики).

Несмотря на всю важность этих моделей их недостаточно для описания механизмов функционирования и развития систем, активно

взаимодействующих с внешней средой. Такие системы называются **открытыми**. К классу открытых систем относятся практически все экосистемы, которые обмениваются друг с другом и с внешней средой веществом, энергией и информацией.

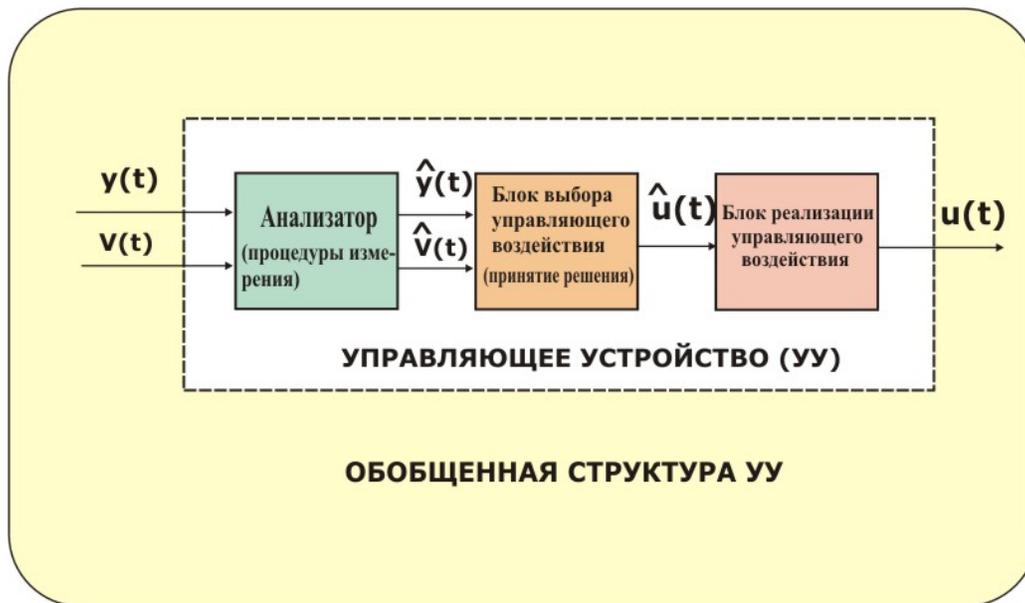
Дальнейшим развитием концептуальных моделей ОТС явились **кибернетические модели**. В основе кибернетической модели системы лежит фундаментальное понятие "**управление**". Это очень сложное понятие, которое тесно связано с целым рядом других понятий: цель, информация, сигнал, обратная связь и т.д. Его можно рассматривать в широком и узком смысле. Здесь рассмотрим управление в узком смысле как некоторое воздействие, которое подается на вход системы для того, чтобы получить соответствующий выход.

При этом выделяется объект управления (ОУ) - то на что оказывается управляющее воздействие и устройство управления (УУ) - то, что оказывает управляющее воздействие. В зависимости от того, где проходит граница между системой и средой можно выделить три основных варианта построения обобщенной кибернетической модели системы:



а) граница проходит между **ОУ** (система) и **УУ** (часть окружающей среды) - управление извне; б) граница проходит за пределами ОУ (управляемая подсистема) и **УУ** (управляющая подсистема)- самоуправление в) граница проходит по **УУ**, то есть одна его часть **УУ** принадлежит системе, а другая окружающей среде - комбинированное управление.

Независимо от того, где проходит граница системы с окружающей средой, **УУ** выполняет одни и те же функции и может быть представлено следующим образом:



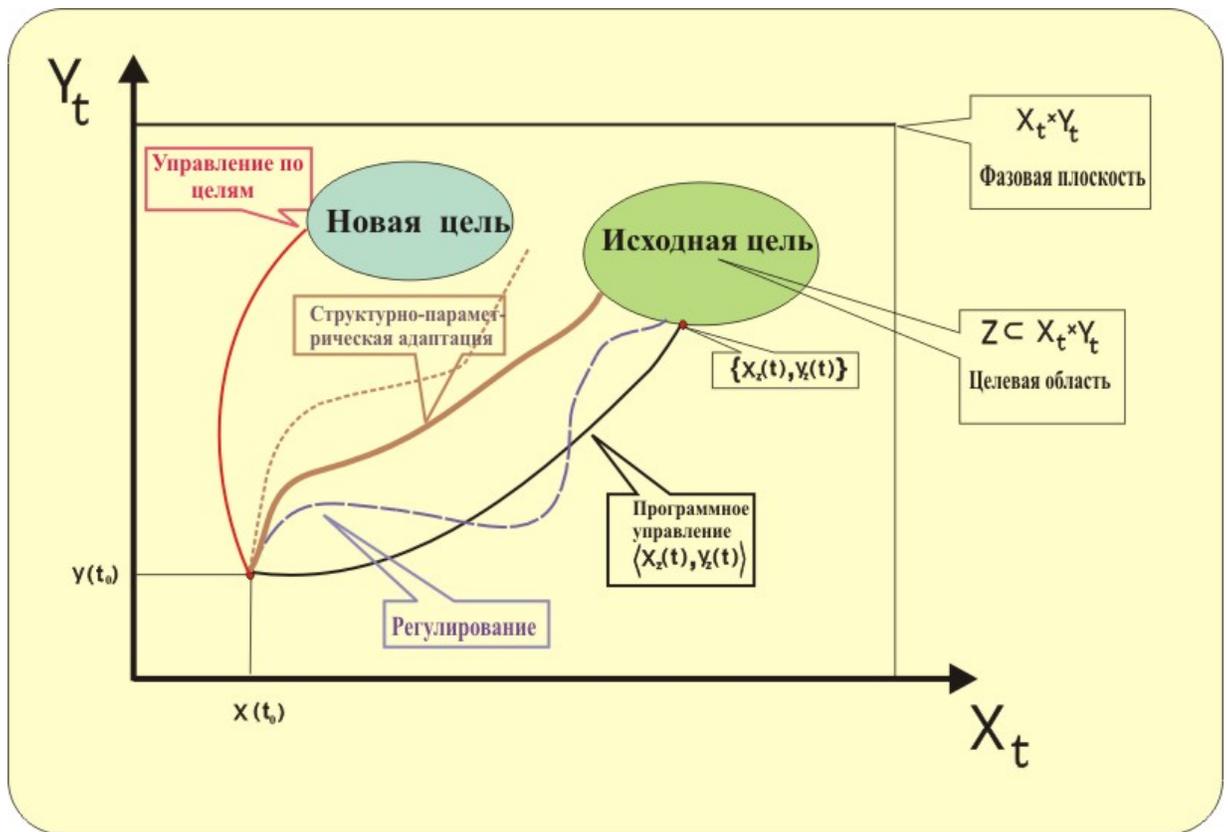
Здесь $U(t)$ - управляемый вход (управляющее воздействие);
 $V(t)$ - неуправляемый вход;
 $Y(t)$ - выход системы;
 $\hat{Y}(t)$ - информация о выходе системы (отображение выхода в форме, обеспечивающей **УУ** выбор и реализацию соответствующего управляющего воздействия);
 $\hat{V}(t)$ - информация о неуправляемом входе системы;
 $\hat{U}(t)$ - информация о выбранном управляющем воздействии.

Выход и неуправляемый вход объекта управления (ОУ) анализируются, в результате чего формируется их информационное представление, которое используется для выбора необходимого управляющего воздействия. Выбранное управление реализуется на ОУ. Описанный цикл (управление в широком смысле), при котором преобразованный "выход" подается на "вход", то есть, реализуется механизм обратной связи, постоянно повторяется до тех пор, пока не будет достигнута соответствующая цель.

Дальнейшая детализация кибернетических моделей связана с анализом траектории движения системы к цели.

Введем понятие "фазовое пространство" системы. Фазовое пространство может быть задано следующим образом: $X_t \times Y_t$. Тогда цель - представляет собой некоторую область в фазовом пространстве $Z_t \subset X_t \times Y_t$.

Любую траекторию движения системы в фазовом пространстве, представляющую собой множество соответствующих пар "вход-выход", обозначим $\langle y(t), x(t) \rangle$. Траекторию, приводящую к достижению цели, что означает наличие на траектории такой точки $\{y_z(t), x_z(t)\} \in Z_t$, обозначим $\langle y_z(t), x_z(t) \rangle$.



Графически возможные виды управления системой представлены на рисунке. То есть имеем:

а) Если траектория, приводящая к цели, полностью заранее известна. Это возможно, когда точно известны :

динамика неуправляемого входа (если он есть);

управление;

оператор преобразования входа в выход.

То имеем простейший тип управления - **программное** (без обратной связи, автоматическое). Примеры: рост зародыша живого организма, пользование телефоном автоматом, работа компьютера и.т. д.

б) Если траектория, приводящая к цели, может быть определена заранее, но в связи с определенным уровнем незнания динамики неуправляемого входа и оператора преобразования входа в выход, система может отклоняться от нее на определенную величину. Тогда необходимо дополнительно к программному управлению добавлять управляющие воздействия, возвращающие систему на целевую траекторию. Такой способ управления называется **регулированием**.

Примеры: автопилот, рабочий станочник, рефлекторные реакции животных и.т. д.

в) Если целевая траектория не может быть задана, либо отклонение от нее так велико, что не возможно вернуться на нее, то необходимо прогнозировать текущую траекторию на будущее и определить пересечет ли она целевую область. Если нет, необходимо так перестроить параметры системы, чтобы добиться этого. Такое управление называется **параметрической адаптацией** (управлением по параметрам, автоматизированным управлением).

Примеры: адаптация живых организмов к изменяющимся условиям жизни, работа пилотов и шоферов и.т. д.

г) Если нельзя найти такой комбинации параметров системы, при которой ее траектория пересечет целевую область, то данная система не может достигнуть поставленной цели. Но если изменить систему (изменить структуру), то цель можно быть достигнута. Перебор систем, обеспечивающий достижение цели, составляет сущность управления называемого **структурной адаптацией**. Примеры: мутации организмов в процессе естественного отбора, изменение государственного аппарата, гибкие автоматизированные производства и.т. д.

д) Если даже изменение системы не позволяет достичь цели, то необходимо изменить цель. Такое управление называется **управлением по целям** (Холл - гораздо важнее поставить разумную цель, чем предложить наилучшие способы достижения негодной цели).