

Лекция 2

Особенности поведения сложных систем

«Сегодняшняя политика определяется тем, чему учили университетские профессора экономики 30 лет назад»

Ф.А. фон Хайек,
нобелевский лауреат по экономике



- Системный подход наиболее эффективен при изучении экономических процессов в сложных системах, способных к самоорганизации.
- Сложно организованные системы (СОС) способны к развитию без внешнего управления, если выполняются условия самоорганизации.

1. Понятие сложная система

- Система сложная, если она:

- обеспечена дублированием обратных связей (обратная связь – реакция её на изменение внешней среды);
- способна на скачкообразное изменение поведения (переходы порогов);
- способна сохранять свою стабильность – гомеостаз.

- Дублирование обратных связей повышает **эффективность, надежность, целостность** системы. Н-р, энергетика, имеющая несколько видов энергоснабжения.
- Переходы – это появление новых связей между элементами системы, изменение характеристик сохранившихся каналов массоэнергообмена.



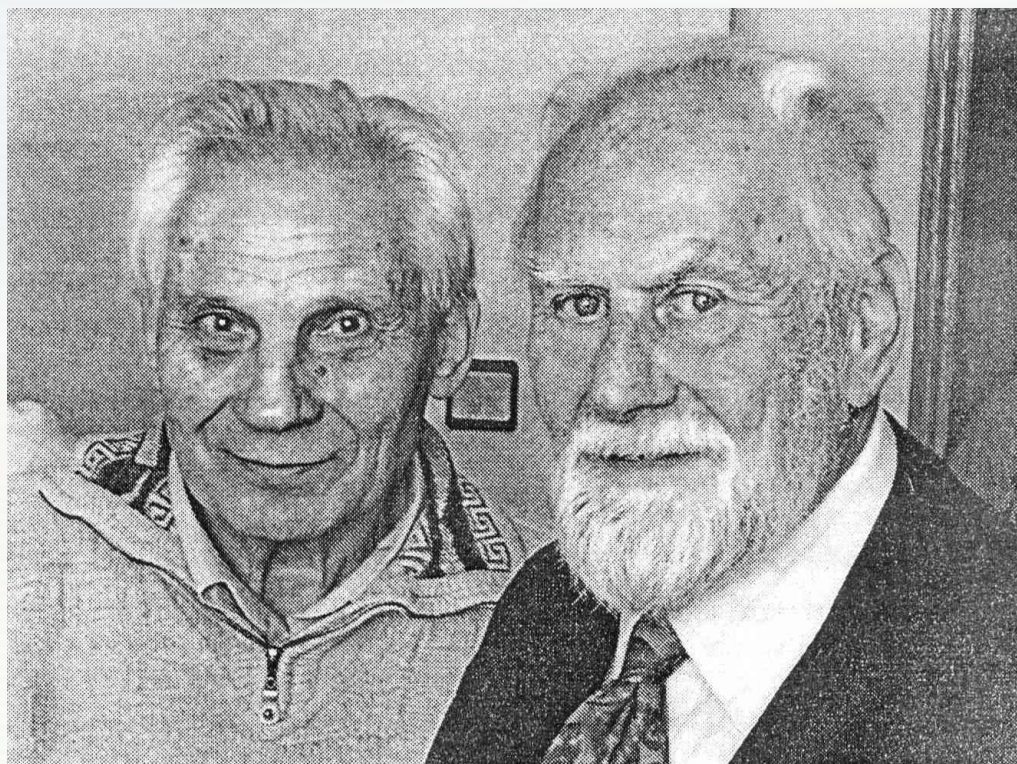
- Примеры изменения «рывком» показателей системы – смена технологий. Н-р, переориентация энергетики с угля на газ вызовет отмирание старых и появление новых путей транспортировки топлива и т.п.



Поведение сложных систем определяют:

- принцип *адаптации*: сложная система стремится измениться таким образом, чтобы свести к минимуму эффект внешнего воздействия;
- принцип *самоорганизации*: сложная система в состоянии сильной неравновесности скачком усложняет свою структуру приводит её в соответствие с быстро изменяющимися внешнеэкономическими условиями;
- в теории самоорганизации установлены *универсальные* закономерности поведения сложных систем (принципы универсального эволюционизма).

Эволюция самоорганизующейся системы (СОС) любой природы (биологической, социальной, экономической и др.) протекает совместно с ее окружением и подчиняется ряду универсальных положений, принципов и закономерностей.



С.П. Курдюмов и Г. Хакен. Москва, июнь 2004 г.

2. Структуры – аттракторы И МЕХАНИЗМ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

- **Структуры – аттракторы** – это метастабильно устойчивые пространственно-временные структуры, которые СОС способна построить в процессе самоорганизации.
- Н-р, в энергосистеме возможны структуры: тепло-, гидро-, ветро-, гелио-, геотермальная, атомная станции.
- Внутренний механизм возникновения, трансформации и распада аттракторов определяют два конкурирующих фактора Q и H :



1. Фактор, создающий неоднородности:

$$Q = q_0 T^\beta \quad (1)$$

где Q – нелинейный источник (тепла, капитала, сырья, знаний, инфекционных заболеваний и т.п.);

q_0 – характеристика системы;

T – параметр неравновесности (температура, занятость населения, уровень образованности граждан и т.п.);

β – нелинейность источника, создающего неоднородность.

2. Фактор, размывающий неоднородности:

$$H = k_0 T^\sigma \quad (2)$$

где H – аналог диффузии разного рода (диссипация, обменные процессы разного рода на рынке, экономический хаос, миграция населения, передача знаний, распространение инфекционных заболеваний и т.п.);

k_0 – характеристика системы;

T – параметр неравновесности;

σ – степень нелинейности коэффициента диффузии разного рода.

- Конкуренция двух факторов Q и H приводит к различным режимам развития процессов;

- Установлено существование двух режимов развития процессов в СОС:

1. LS – режим с обострением (локализация), если $Q > H$;

2. HS – режим охлаждения (растекание), если $Q < H$.

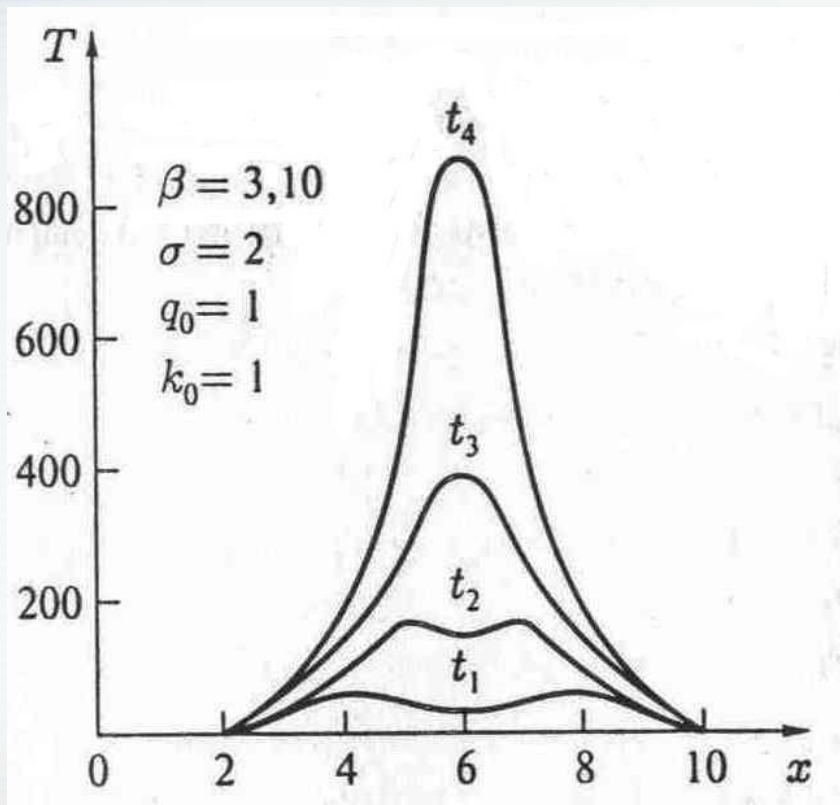


Рис. 1. LS – режим – тип процесса в режиме с обострением; $Q > H$; более интенсивное развитие процесса во все более узкой области – режим локализации.

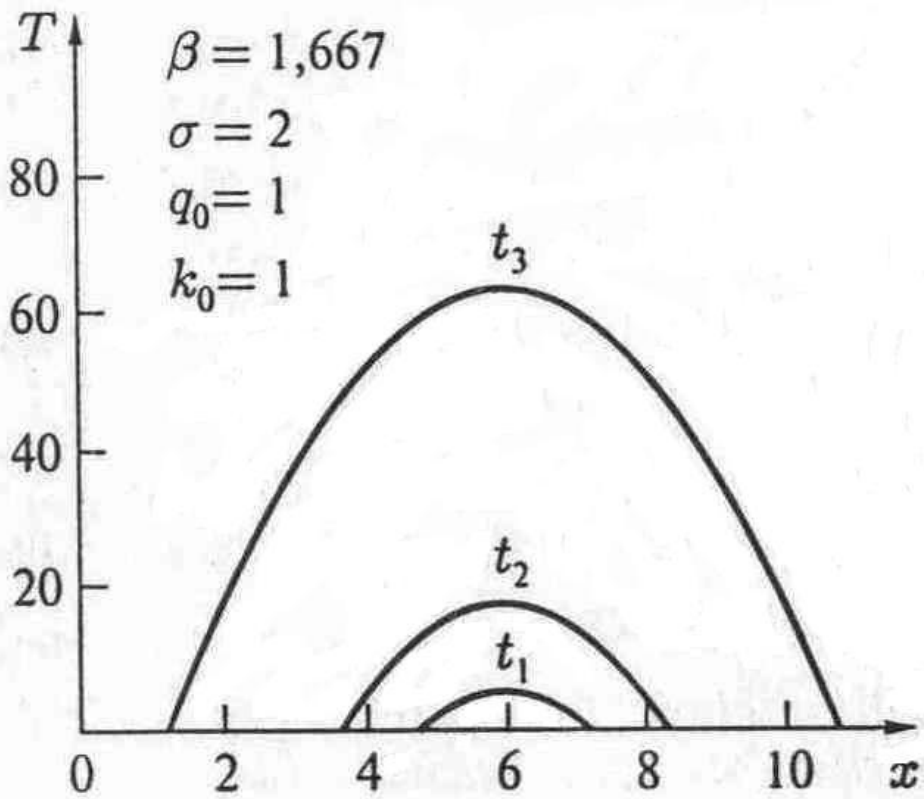


Рис. 2. HS – режим – тип процесса в режиме охлаждения, когда отсутствует локализация; $Q < H$; режим «растекания из центра».

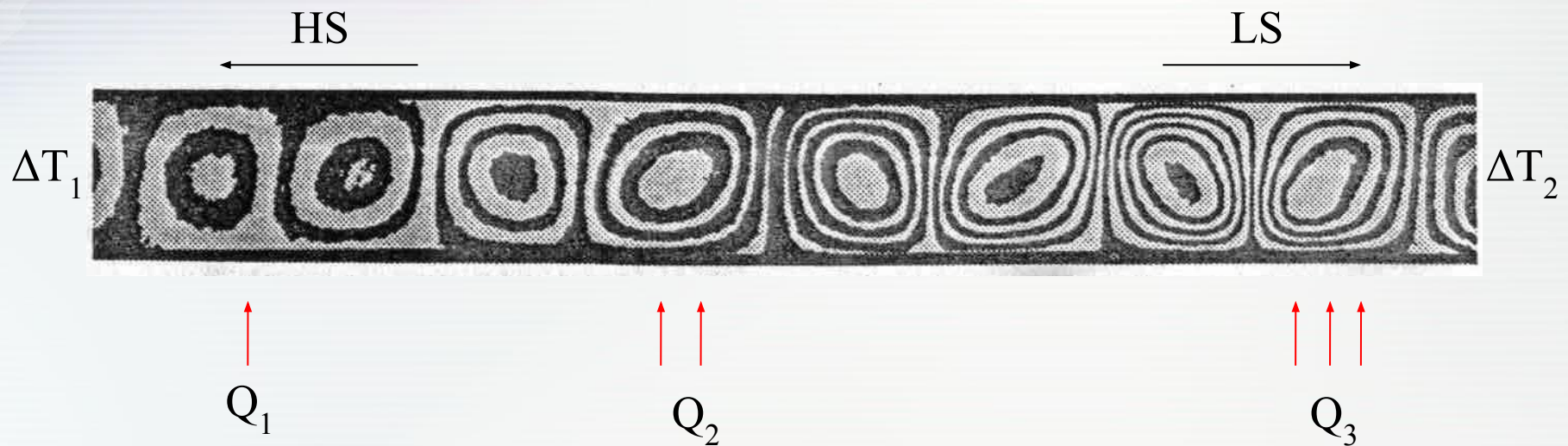


Рис. 3. Снимок конвекции в силиконовом масле. Разность температур возрастает слева направо ($\Delta T_2 > \Delta T_1$). Смена (трансформация) структур в LS – режиме с обострением слева направо, в HS – режиме охлаждения – справа налево.

- Сложный спектр структур – аттракторов может существовать лишь при определенном сочетании действия двух факторов (Q и H) в нелинейной системе.
- Например, в «слое жидкости» возникают структуры: кристаллическая \rightarrow однородная (жидкая) \rightarrow конвективная \rightarrow турбулентная.

3. Целенаправленность развития

- В любой СОС потенциально заложено (содержится) **множество возможных дискретных структур – аттракторов**, количество и форма которых определяется внутренними нелинейными свойствами системы.
- Число типов структур в нелинейной среде в наиболее простых задачах определяется формулой:

$$N = \frac{\beta - 1}{\beta - \sigma - 1}$$

где N – число аттракторов;

β – степень нелинейности источника неоднородности;

σ – степень нелинейности коэффициента диффузии разного рода.

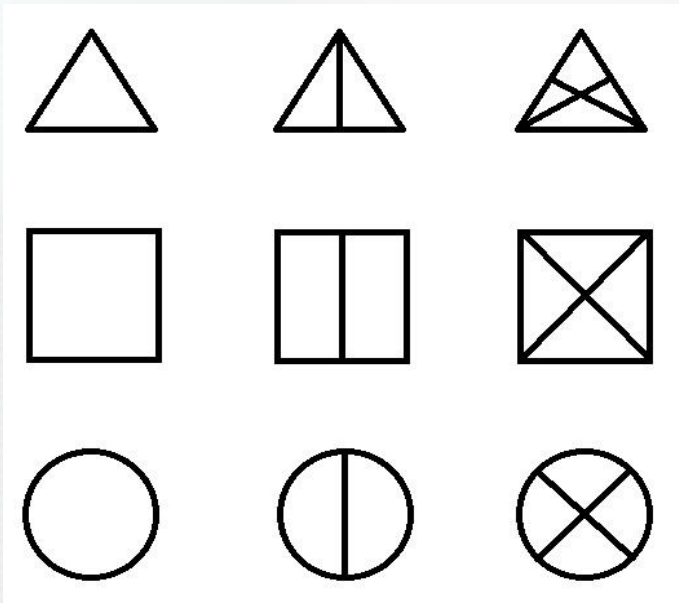


Рис. 4. Спектр условно обозначенных (изображенных) структур – аттракторов – достижимых целей эволюции СОС.

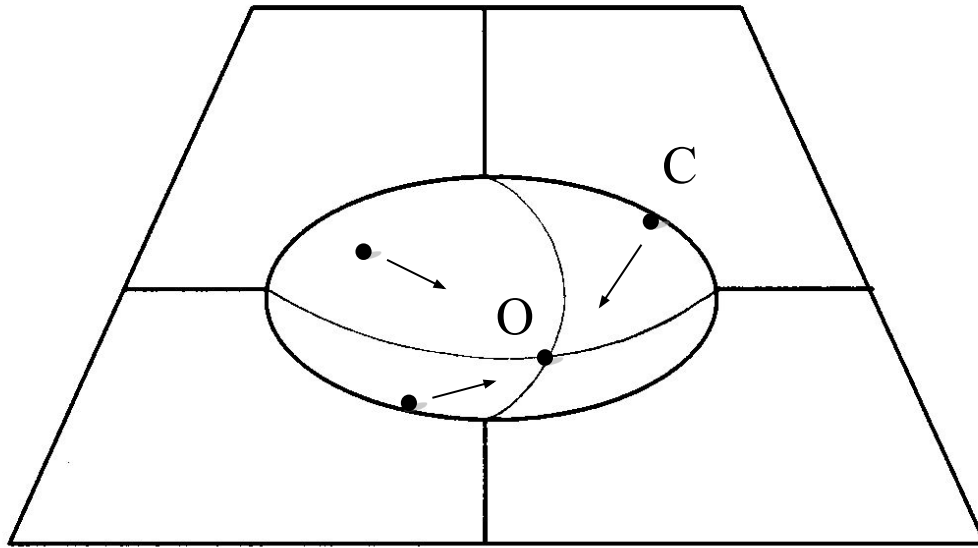


Рис. 5. Аттрактор в образе «воронки». Разные начальные условия системы С.

- На участках, находящихся в зоне действия «воронки» система втягивается в ее «жерло». Следовательно, каждая структура – аттрактор представляет собой **цель** эволюции СОС;
- данный аттрактор – конечный пункт данной стадии развития и промежуточный результат бесконечного процесса эволюции.

Таким образом:

- эволюция СОС не произвольный, а **целенаправленный процесс**, протекающий в направлении аттрактора;
- **каждый аттрактор** – это метастабильно устойчивое будущее состояние системы. Оно притягивает, организует, формирует, изменяет наличное состояние СОС;
- задача аккуратного получения спектра целей («научная задача о поиске собственных функций нелинейной среды») решена пока в частных случаях;
- перед экономистами-теоретиками стоит фундаментальная проблема определения спектров целей эволюции экономических систем.

- *Одна и та же система может быть представлена разными возможными иерархическими структурами (аттракторами) – **целями** (набором целей).*
- *Задача выбора варианта цели (иерархической структуры) необходима для дальнейшего исследования или проектирования системы, для организации управления технологическим процессом, предприятием, проектом, и т. п.*
- *Для решения задач определения целей разрабатывают методики структуризации, методы оценки и сравнительного анализа структур.*

4. Многовариантность развития

Нелинейная СОС потенциально содержит множество виртуальных трендов развития, из которых система реализует один, становящийся для нее историческим.

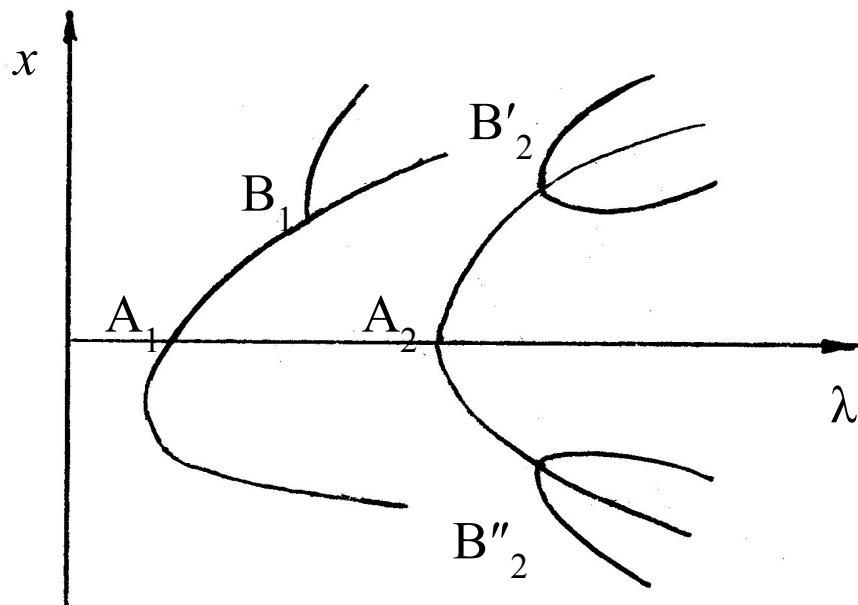


Рис. 6. Бифуркационная диаграмма. В своем развитии СОС проходит через каскад бифуркаций.
 A_1 , A_2 , B_1 , B'_2 , B''_2 – точки бифуркаций.

- природой запрограммирована **многовариантность** сценариев в эволюции, какой из них система реализует предсказать заранее невозможно;
- в момент бифуркации в выборе одного из двух или более возможных путей развития решающую роль играют случайные факторы;
- в окрестности точки бифуркации система находится *в состоянии неустойчивости*. Разрушение наличной структуры и выбор новой структуры инициирует флуктуация, место и время возникновения которой установить в принципе невозможно.
- *неопределенность, непредсказуемость хода событий и многовариантность эволюционного процесса – один из законов эволюции и принципиальная особенность динамики нелинейных систем.*

- При выходе на новый тренд развития:
 - система строит новую иерархическую структуру;
 - система осуществляет новые функции;
 - подчиненные элементы приобретают новые свойства.

- Выбор тренда – это проблемная ситуация с *неопределенностью*.

- *Реальные ситуации проектирования сложных технических комплексов, управления технологическими процессами, предприятиями, организациями и т. п. представляют собой задачу с большой неопределенностью, требующую применения специальных методов и методик исследования.*

5. Цикличность развития

В процессе эволюции обнаруживается **периодическое поведение СОС**, характеризующееся повторяемостью во времени ее состояний – система имеет эволюционные циклы.

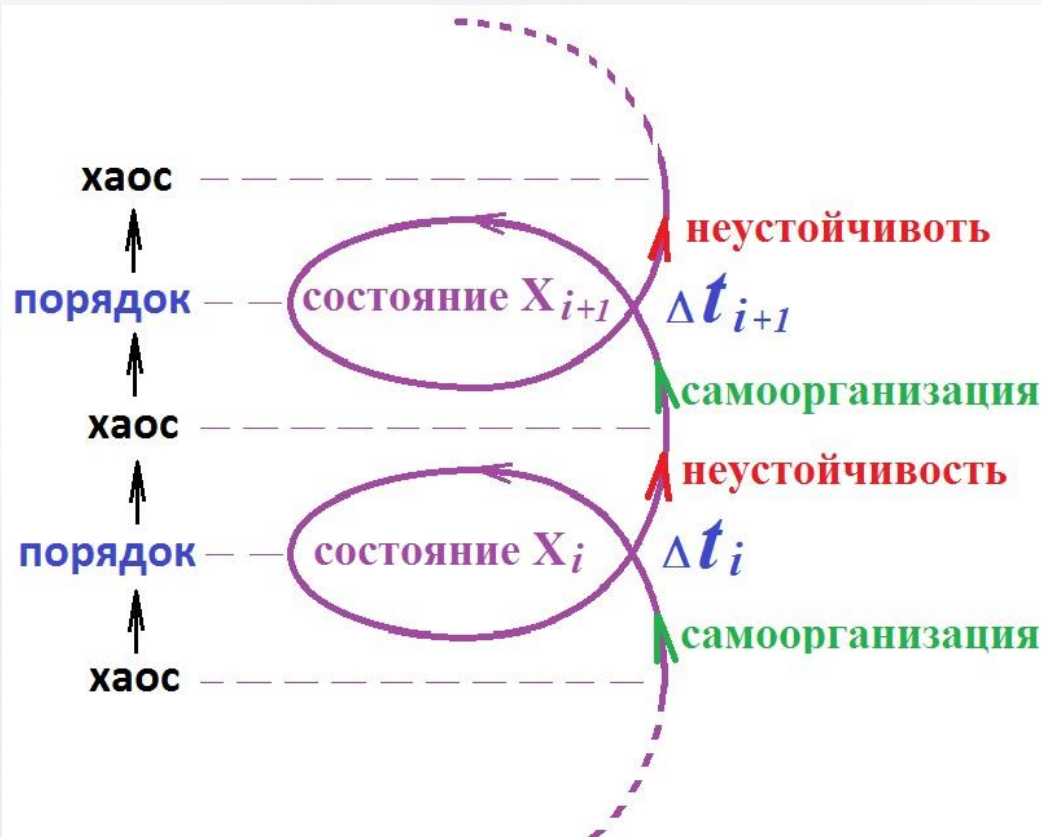


Рис. 7. Спираль эволюции СОС.

- Эволюция СОС есть бесконечная последовательность процессов самоорганизации.
- Каждый цикл включает в себя несколько стадий:
 1. из-за изменения внутренних или внешних условий относительно устойчивое эволюционное состояние становится *неустойчивым*;
 2. неустойчивость инициирует процесс *самоорганизации*, порождающий новые структуры;
 3. результатом самоорганизации становится возникновение *нового* относительно устойчивого эволюционного *состояния*.
- Каждый цикл поднимает систему на новый, более высокий уровень развития и включает возникновение нового (например, новых технологий).

- Закономерность *историчности* (цикличности развития) используют в управлении. Можно (и нужно) предупреждать «смерть» системы, разрабатывая механизмы реорганизации системы для сохранения её в новом качестве.
- При разработке технических комплексов предусматривают «жизненные циклы» (АСУП 1-й, 2-й очереди и т. д.).
- В проектировании предприятия указывают этапы создания, становления, развития, а также *этап ликвидации предприятия* (требование при регистрации предприятия).

6. Необратимость развития

В точке бифуркации случайно выбрав одну из двух (или более) ветвей развития вернуться на альтернативную траекторию СОС уже не может (принцип необратимости). Процесс эволюции необратим.

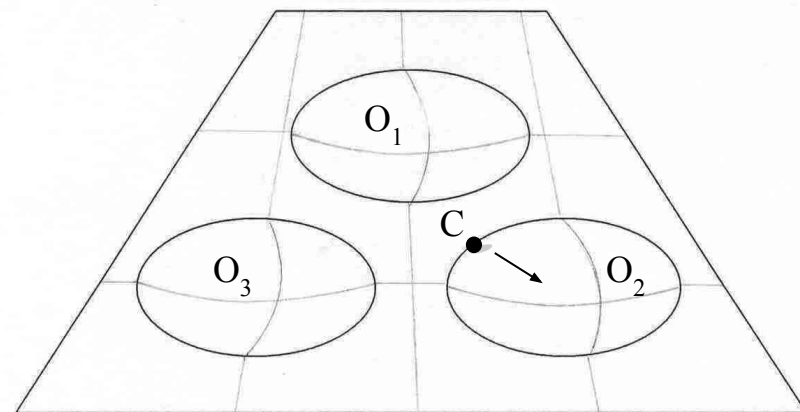
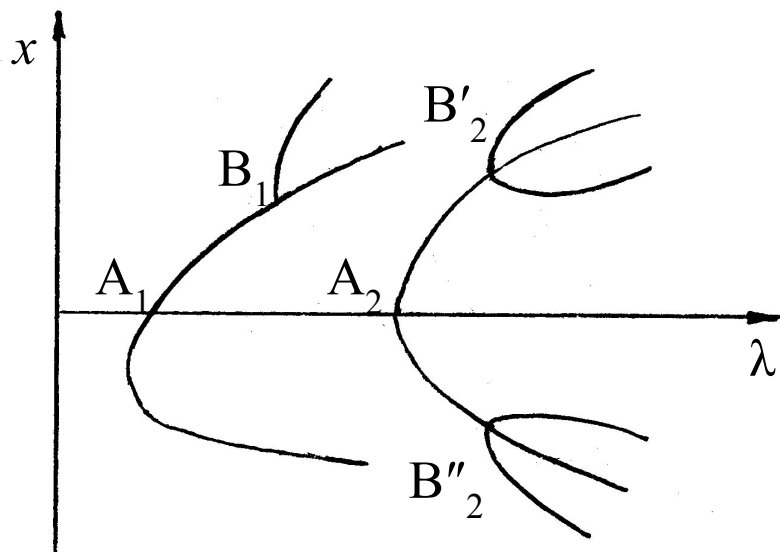


Рис. 8. Система C не может перейти из воронки O_2 в воронку O_3 .

- *Необратимость* эволюции обусловлена действием аттрактора, в воронку которого попала система. *Покровительство аттрактора O_2 не позволит системе вернуться в конус влияния альтернативного аттрактора O_3 .*
- *Между двумя последовательными бифуркациями система управляется аттрактором, следовательно, настоящее СОС (ход исторических событий) детерминируется будущим (влияние будущего);*
- *Настоящее строится, формируется из будущего. Будущее строит нас, а мы строим будущее (планирование от будущего).*
- *Необратимое развитие СОС описывается двумя закономерностями:*
 1. *вероятностной (стохастической) в точках бифуркаций, когда система не находится под контролем аттрактора;*
 2. *динамической (детерминистической) между точками бифуркаций, где система эволюционирует в воронке аттрактора.*

- Принцип необратимости → принцип влияния будущего → принцип планирования от будущего.

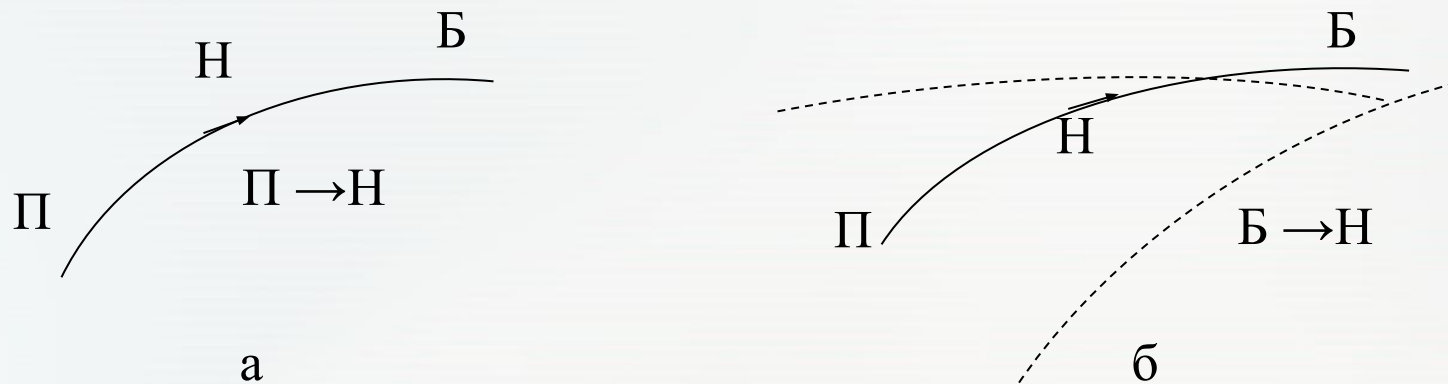


Рис. 9. Принцип детерминизма П.С. Лапласа (а) и принцип влияния будущего (б) как отражение линейного – классического, и нелинейного – синергетического мышления (мировидения), соответственно.

а) прошлое детерминирует настоящее;

б) будущее детерминирует настоящее.

7. Оптимальность размера развивающейся СОС

Эквифинальность (Э) – предельный уровень развития СОС определяется (ограничен) параметрами экономической системы:

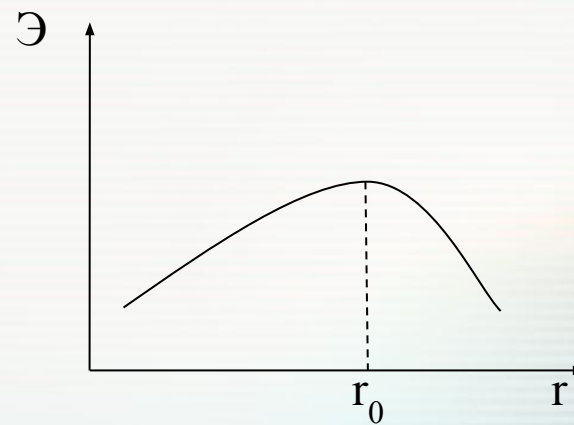
Э.предприятия – производственными мощностями;

Э.региона – ресурсными возможностями и уровнем развития производственных сил;

Э.государства – развитием экономики и уровнем образованности его граждан.

С увеличением размера экономической системы Э. повышается до максимального значения, затем падает (возможна деградация).

Например ТНК: разрастание – неуправляемость – реструктуризация (дробление – филиалы, представительства, афилированные компании). Если сделать систему намного больше или меньше оптимального размера, то система разрушится.



- Предельную осуществимость системы при её создании определяет закон *необходимого разнообразия* (У.Р. Эшби).
- Применительно к системам управления закон гласит: *разнообразие системы управления V_{su} должно быть больше разнообразия (сложности) управляемого объекта V_{ou} :* $V_{su} > V_{ou}$.
- Пути совершенствования управления при усложнении производственных процессов (В. И. Терещенко):
 - *увеличение V_{su}* путем роста численности аппарата управления, повышения его квалификации, автоматизации управления;
 - *уменьшение V_{ou}* за счет унификации, стандартизации, типизации, введения поточного производства, сокращения номенклатуры деталей, узлов, технологической оснастки и т. п.;
 - *самоорганизация объектов управления:* создание саморегулирующихся подразделений (цехов, участков с замкнутым циклом производства и т. п.).

8. Механизм управления самоорганизующихся систем

- Механизм управления возник и развивался в ходе эволюции живой природы (а не придуман людьми, как принято считать).

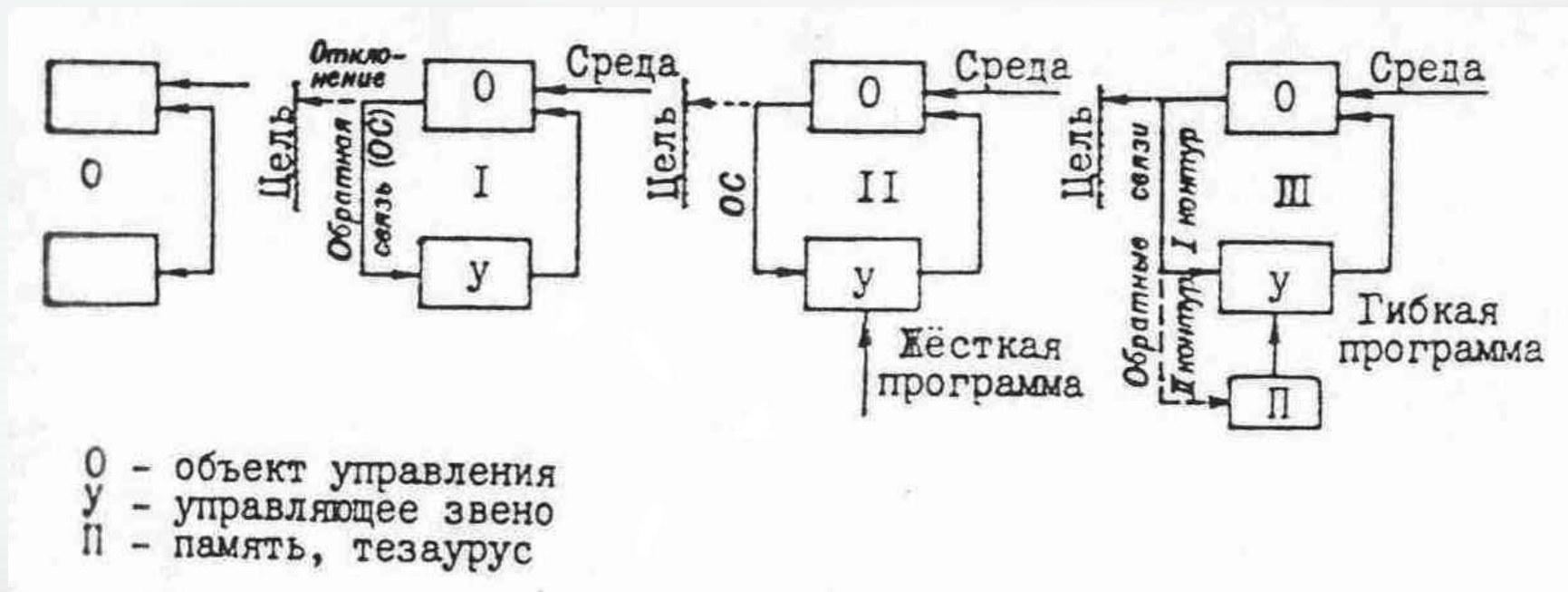


Рис. 10. Образование в ходе эволюции замкнутых контуров саморегуляции (гомеостаза) и контура накопления информации (саморазвития)

Этапы становления механизма управления:

- 0 – физическое взаимодействие объектов – предпосылок механизма;
- I – простейший контур с обратной связью (ОС) на уровне регулятора (гомеостазиса) с реакцией на текущее воздействие. Появилась цель – самосохранение;
- II – промежуточный, с программным изменением характера воздействия управляющего звена на объект при сохранении его устойчивости;
- III – механизм управления СОС. Наличие второго контура ОС и органов памяти.

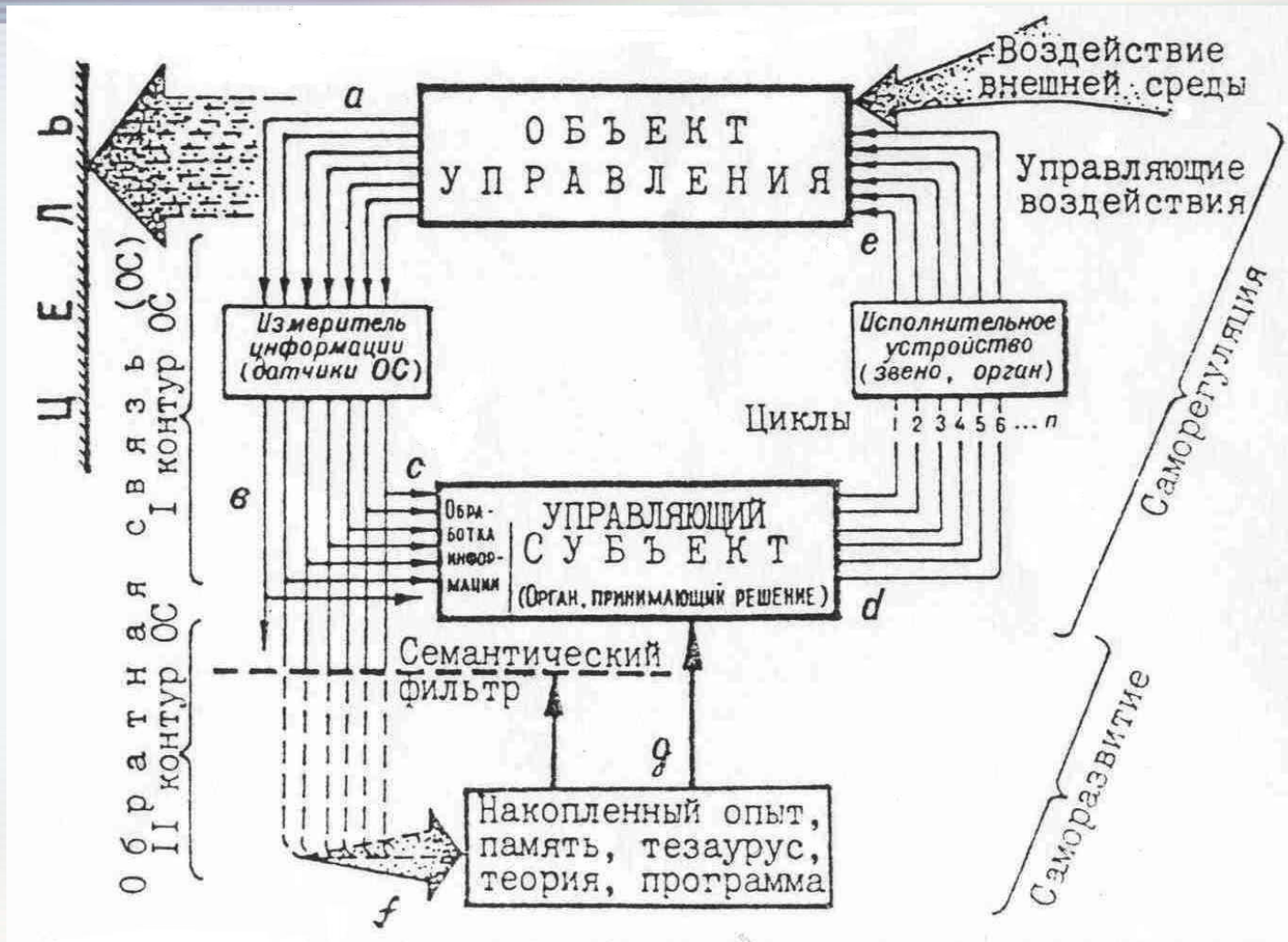


Рис. 11. Схема самоорганизующейся системы и механизма ее управления (обобщенная модель).

- Во II контуре ОС осуществляется отбор полезной информации из I контура;
- накапливаемая информация формирует опыт, знания, повышает уровень организации системы;
- *механизм управления:*
 - формируется в результате сочетания многократного взаимодействия СОС со средой и отбора и накопления информации;
 - объединяет в себе две функции – саморегуляцию (I контур ОС) и развитие (II контур ОС);
 - обеспечивает активность, живучесть, способность к самоорганизации, к саморазвитию открытой нелинейной системы.

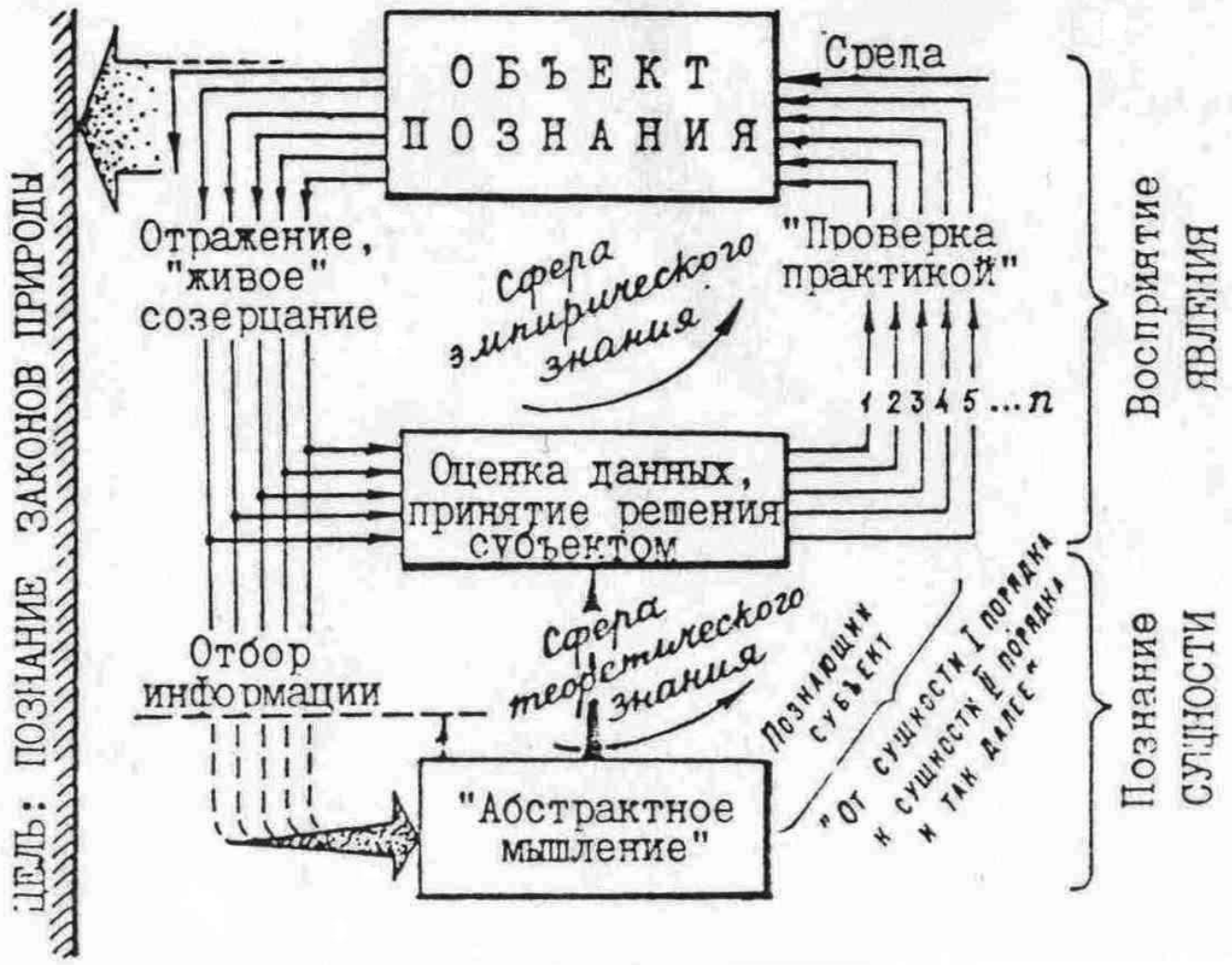


Рис. 12. Двухконтурная структура познания

Сходство процессов эволюции и познания:

I контур – область эмпирического знания, содержание которого черпается из опыта, т.е. восприятие явления;

II контур – отбор и обобщение информации, построение теории и многократная экспериментальная проверка ее предсказаний, т.е. постижение природы явлений все более тонкими экспериментами по воздействию на объект.

9. Эволюционный принцип запрета

- Принцип **запрещает управленческие действия**, если они не согласуются с внутренними тенденциями, свойствами и возможностями СОС, если они не направлены на одну из структур – аттракторов.
- СОС не способна построить структуру ★ в процессе самоорганизации, и, следовательно, не являющуюся аттрактором.

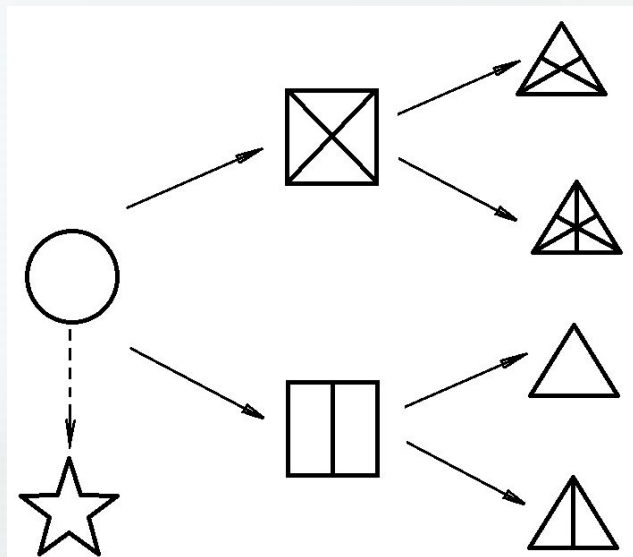


Рис. 13. Внешним воздействием (управлением) нельзя построить надуманную и нереализуемую структуру ★



- Руководитель, управленец потерпит неудачу, крах, если вопреки принципу запрета его усилия направлены на достижение эфемерной, ложной цели – создание структуры, отсутствующей в «собственном знании» СОС.

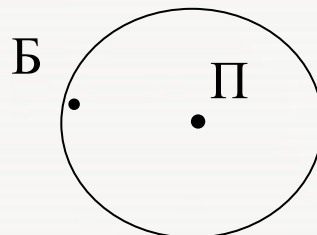
10. Принцип резонансного влияния

- Сложно организованные системы обнаруживают топологически избирательную чувствительность на внешнее воздействие;
- *СОС проявляют неожиданно сильные ответные реакции на слабые, на релевантные (уместные) воздействия, согласующиеся с их внутренней организацией;*
- ***резонансное влияние** – это воздействие на СОС в нужном месте в нужное время;*

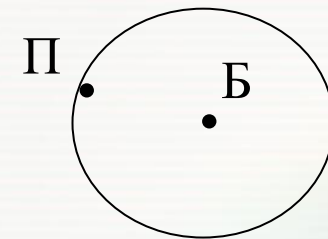
- такое свойство СОС обусловлено взаимосвязью пространственных и временных соотношений:

- время (стрела времени системы) имеет топологическую структуру, ландшафт;

- в архитектуру пространственной структуры «впечатаны» прошлое и будущее;



LS – режим



HS – режим

- *управляющее воздействие на систему должно быть правильно топологически организованным, а не силовым (не насильственным);*
- *не интенсивность воздействия, а его топологическая конфигурация эффективна в управлении СОС;*
- резонансным управлением можно многократно сократить время эволюции и генерировать желаемую и реализуемую структуру (цель).

11. Квантовые правила нелинейного синтеза частей в целое

Эволюционные процессы идут к созданию все более сложных организаций и систем путем интеграции частей в целое.

Не какие угодно структуры и не как угодно, не при любой степени связи и не на каких угодно стадиях развития могут быть объединены в сложную структуру.

- Квантовые правила интеграции – **объединяемые структуры** должны иметь:

- **развитие с одним моментом обострения** (*вблизи обострения выравниваются уровни экономического развития, устанавливается одинаковая скорость эволюции*);
- **оптимальную степень связи**, *перекрытия областей локализации, топологию расположения объединяемых структур и др. факторов.*

- В объединенной структуре выгоднее развиваться:

- устанавливается более высокий темп развития, чем в самой быстрой до объединения части;
- экономятся материальные ресурсы и интеллектуальные усилия.

12. Принцип нелинейного мягкого управления

- СОС обладает «собственным знанием» о возможностях своего развития, о своем неоднозначном грядущем будущем в виде:
 - спектра дискретных структур – аттракторов – *целей* развития;
 - спектра *путей* достижения этих целей.
- Искусство мягкого (нелинейного) управления:
 - это набор умных, правильно организованных воздействий на СОС, согласованных с внутренними тенденциями и возможностями нелинейной системы;
 - заключается в том, чтобы не просто предсказывать будущее, а создавать желаемое и достижимое будущее, конструировать нужное и реализуемое будущее, направлять развитие системы в русло благоприятных тенденций, адекватных внутренним свойствам и устремлениям системы.



- В управлении понятие *цель* есть средство побуждения к действию, получению полезного результата.
- При определении цели ЛПР полезно руководствоваться закономерностями:
 - 1.** *представление о цели и формулировка цели зависит от стадии познания объекта (процесса)*. По мере углубления знания о системе цель может уточняться и конкретизироваться;
 - 2.** *цель зависит от внешних и внутренних факторов*. В СОС цели (аттракторы) развития не задаются из вне, а **формируются внутри системы**.
 - 3.** *задача формулировки общей цели сводится к задаче её структуризации (набору подцелей)*. Такая детализация помогает достичь понимания общей цели всеми ЛПР и исполнителями.

Рассмотренные в лекции синергетические законы и принципы эволюции служат основой для выработки стратегии и правил нелинейного управления СОС.



Спасибо за внимание!