

# **Методы системного исследования экономических процессов**

Кожин Анатолий Витальевич  
Профессор, к.ф.-м.н.,  
Кафедра Физики и химии  
221-17-65  
Аудитория 503

# Основная литература

1. Волкова В. Н., Денисов А. А. Теория систем и системный анализ. Учебник. М. «Юрайт», 2015- 616с.
2. Волкова В. Н., Денисов А. А. Теория систем. Учебное пособие для магистров. М. «Высшая школа», 2010- 511с.
3. Дрогобыцкий И.Н. Системный анализ в экономике. М. «Ю-Д», 2011. – 423 с.
4. Вдовин В.М. Теория систем и системный анализ. М.: ДиК, 2013.-644с.
5. Хомяков П.М. Системный анализ. М., ЛКИ, 2010. – 216 с.
6. Волкова В.Н., Емельянов А. А. Теория систем и системный анализ в управлении организациями. М. ИНФРА-М, 2012. – 848с.
7. Качала В. В. Теория систем и системный анализ. Учебник. М. Academia, 2013,-272 с.
8. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ. М., КНОРУС, 2010. - 224 с.
9. Белоцерковский О.М., Быстрой Г.П., Цибульский В.Р. Экономическая синергетика. Новосибирск, Наука, 2006. – 116с.
10. Занг В.Б. Синергетическая экономика. М., Мир. 1999. – 335 с.
11. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики. М., Либроком, 2009. – 312 с.

# Темы лекций

Лекция 1. Основные системные понятия

Лекция 2. Особенности поведения сложных систем

Лекция 3. Обзор методов системного исследования экономических процессов

Лекция 4. Энтропийные методы исследования экономических процессов

Лекция 5. Исследование нелинейных явлений в экономике методами детерминированной динамики

Лекция 6. Исследование устойчивости рынка ВРП методами Ляпунова

Лекция 7. Исследование нелинейных процессов на рынке ВРП аналитическими методами

Лекция 8. Формализация циклических процессов в экономике методами теории бифуркаций

Лекция 9. Исследование перехода к хаосу в экономике методами статистической физики

Лекция 10. Применение системного подхода для разработки стратегии управления предприятием и экономикой региона

# **Лекция 1**

## **Основные системные понятия**

- **Понятие** – это представление о характерном признаке объекта, процесса, получившее наименование.
- **Парадигма** (от гр. *paradeigma* – пример, образец) – понятийная система, принятая научным сообществом, которая обеспечивает ученых схемой постановки проблем и их решения, набором методов исследования.
- Смена парадигм:
  - **механическая.** *Классическое мышление.* XVII-XIX вв. Энергия пара. Промышленность.
  - **релятивистская.** *Неклассическое мышление.* XIX-XX вв. Электрическая, атомная энергия.
  - **эволюционно-синергетическая.** *Нелинейное мышление.* XX-XXI вв. Универсальный эволюционизм. Информационная цивилизация.
- Курс МСИЭП знакомит будущих магистров (от гр. *magister* - наставник, учитель, руководитель) с понятийным аппаратом и методами системного исследования процессов в русле **эволюционно-синергетической парадигмы.**





## *Любознательный Магистрант!*

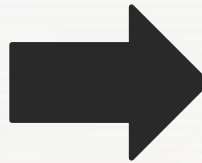
**Метод** (от гр. *methodos* – путь, способ) – это система правил, приемов изучения объекта, явления, процесса; путь, способ достижения результатов в познании и практике.

# 1. Система

**Система** (от лат. systema – соединение, целое) – это множество взаимосвязанных, преобразующих друг друга элементов, взаимодействующих между собой по определенным законам и правилам и образующих единую целостность.



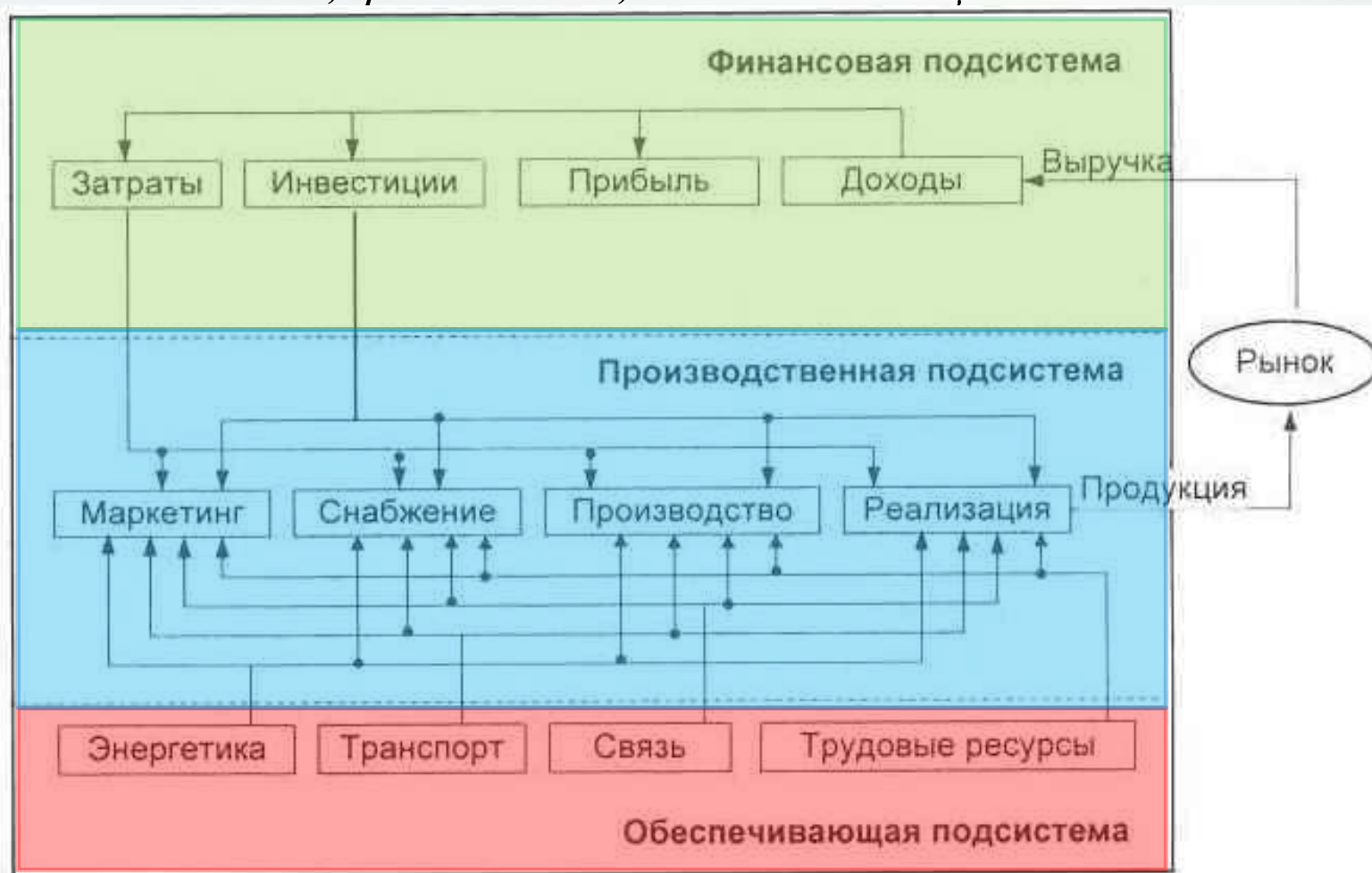
Аддитивное множество



Обладающее интегративным свойством организованное множество – система

Система-триада: «элементы – взаимодействие – целостность».

- Любая экономическая система (предприятие, фирма, региональный рынок, мировая экономика и др.) состоит из трех подсистем: *производственной, финансовой, обеспечивающей.*



Система «Предприятие» - триада: производственная, финансовая, обеспечивающая.



# Классификация систем

по отношению к человеку: естественные, искусственные, смешанные;

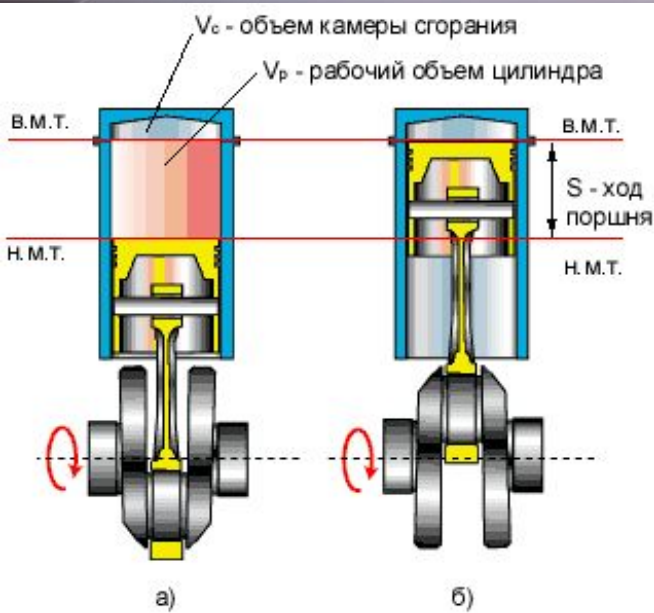
по способу управления: управляемые из вне, самоуправляемые, с комбинированным управлением;

по ресурсному обеспечению: материальные, энергетические, информационные;

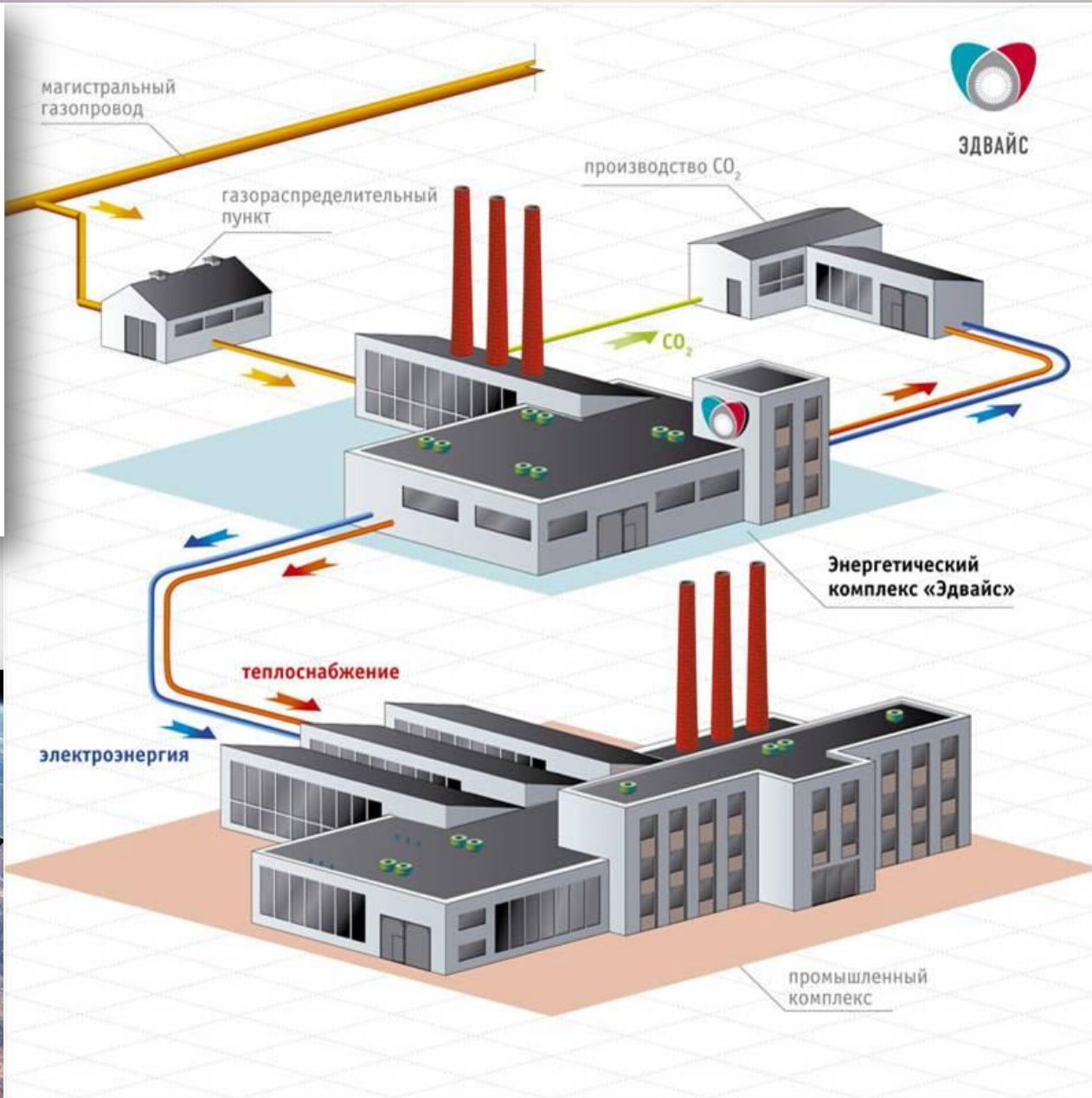
по масштабности: микро-, мезо-, макро- экономические;

по взаимодействию со средой: изолированные, закрытые, *открытые*;

по степени организованности: плохо организованные (диффузные), хорошо организованные, *самоорганизующиеся*.



Вверху пример изолированной,  
Внизу пример закрытой системы



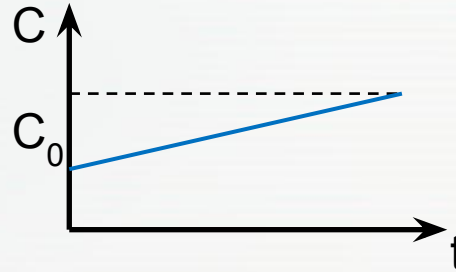
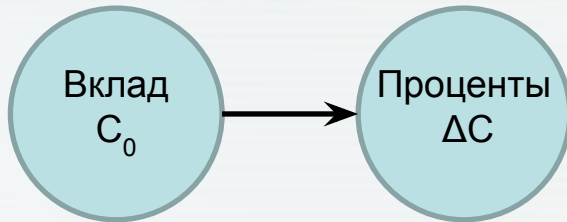
Открытая система

# 2. Линейность и нелинейность

Пример. Сберегательный банковский счет.

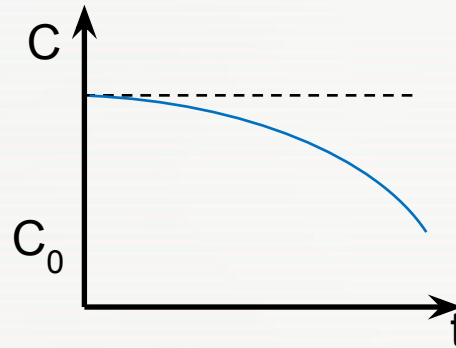
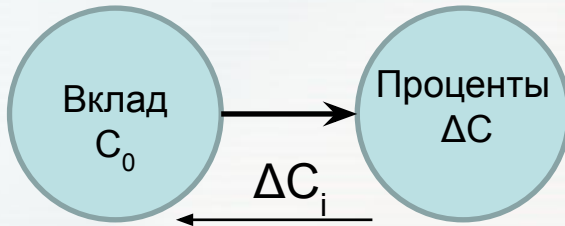
Зависимости  $C(t)$ :

1. *линейная*; простые проценты, ставка 10%;



$C_0 = 10\ 000$  руб  
 $t = 10$  лет  
 $C = 20\ 000$  руб

2. *нелинейная*; сложные проценты, ставка 10 % с ежегодной капитализацией.

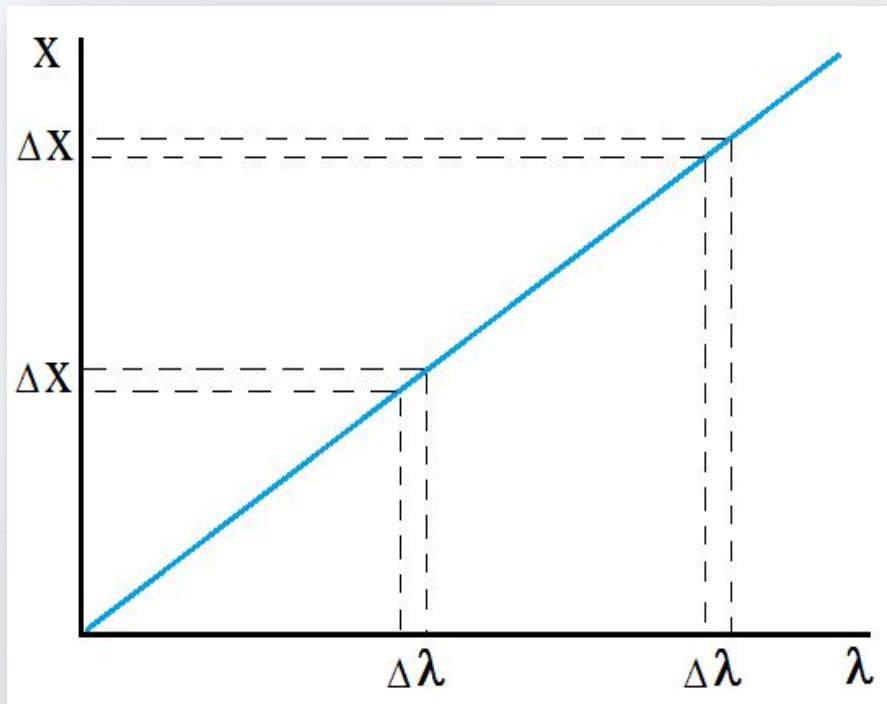


$C_0 = 10\ 000$  руб  
 $t = 10$  лет  
 $C = 25\ 935$  руб

- Ускоренное приращение денежного капитала  $\Delta C$  – *нелинейный* эффект.
- *Нелинейность* – многоликое, разнообразное и наиважнейшее свойство систем.

## 1) Линейная система

Поведение линейной системы однообразно и предсказуемо и математически описывается линейной функцией.



$$x - a\lambda = 0,$$
$$a = \text{const}$$

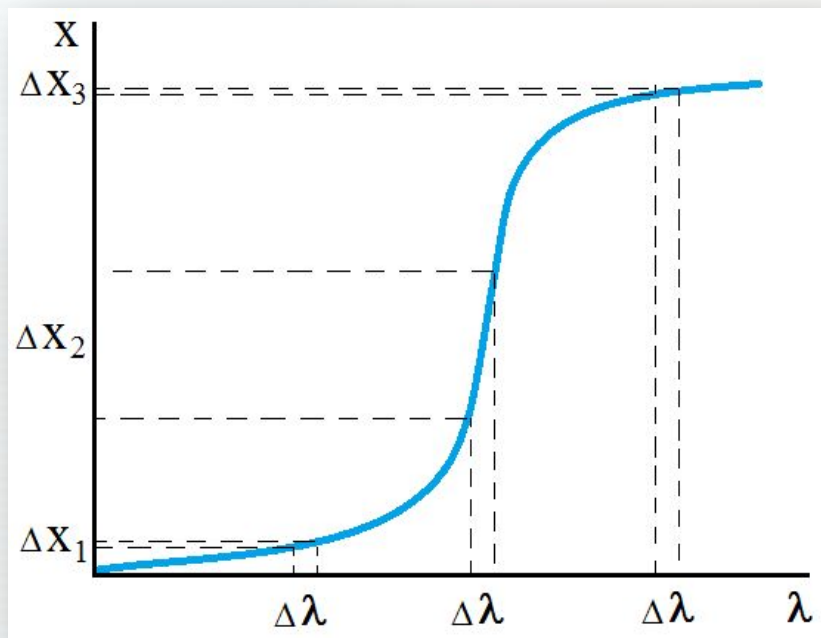
- Линейная зависимость не обладает избирательностью. На одинаковое воздействие система откликается одинаковыми приращениями.

## 2) Нелинейная система

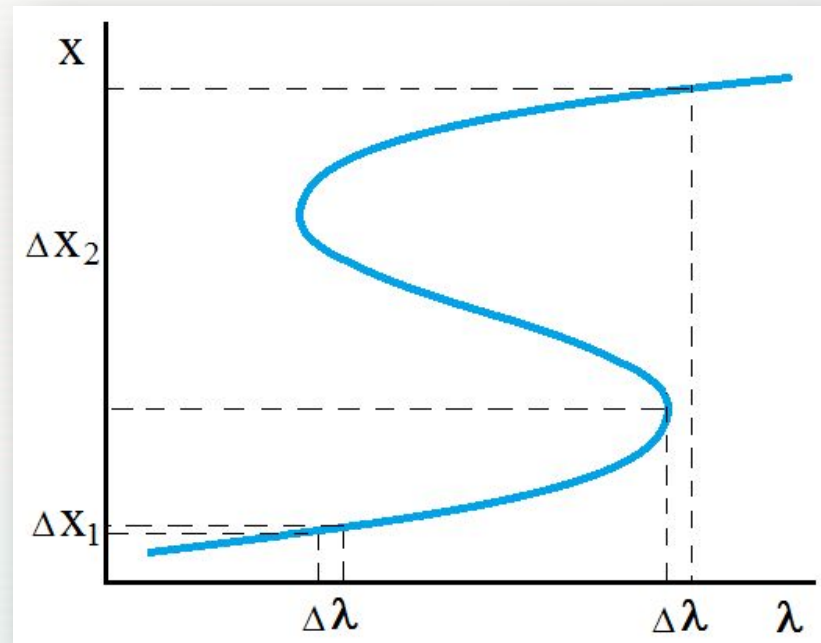
Поведение нелинейной системы сложное, оно не соответствует ожиданиям, основанным на прошлом опыте.

Математически *нелинейность* описывается уравнениями, в которых переменная имеет степень отличную от единицы или коэффициенты зависят от состояния системы.

$$\text{а) } x - a(\lambda)\lambda = 0, \\ a = a(\lambda)$$



$$\text{б) } -x^3 + ax + \lambda = 0, \\ a = \text{const} > 1$$

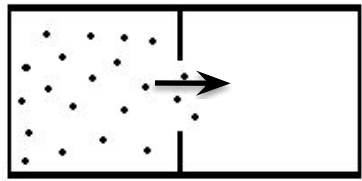


- Нелинейная система обладает избирательностью реакции на внешнее воздействие. На одинаковое воздействие система откликается по разному в зависимости от того, какому значению  $\lambda$  придается приращение.
- **Нелинейность** обуславливает ряд явлений:
  - может усиливать флуктуации;
  - обеспечивает пороговость чувствительности;
  - порождает квантовый эффект;
  - делает ненадежным прогноз – экстраполяцию от наличного.
- **Нелинейность** делает систему способной перестраивать свою структуру. В нелинейной системе возможны изменения режима, кризисы, катастрофы.
- В нелинейных системах не выполняется принцип суперпозиции.
- Нелинейность приводит к множественным решениям.
- Нелинейность проявляет себя при сильной, закритической неравновесности.

# 3. Неравновесность. Стационарное состояние. Аттрактор

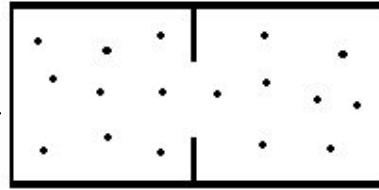
*Неравновесность* – состояние, характеризующееся различием свойств в двух соседних фрагментах системы.

## а) Состояния изолированной системы

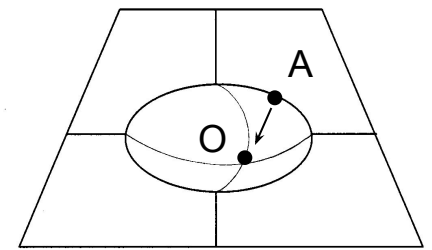
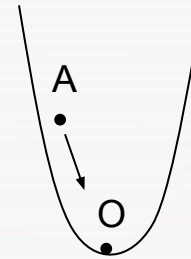


Неравновесное (A)

траектория  
эволюции

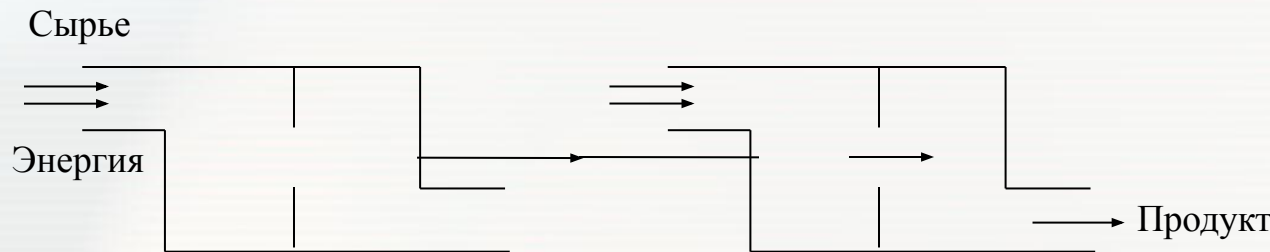


Равновесное (O)



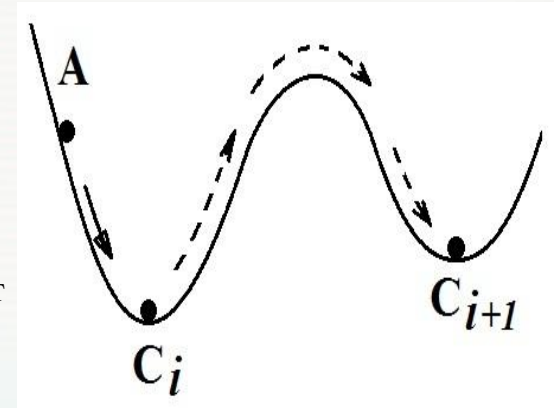
Аттрактор (O) – цель эволюции

## б) Состояния открытой системы



Неравновесное (A)

Стационарное ( $C_i$ )



Аттракторы ( $C_i, C_{i+1}$ ) – цели развития



Разрез

Шахта

В открытых системах  
всегда есть потоки





- Критерием неравновесности является наличие **ПОТОКОВ** как в системе, так и на границе система-среда.
- **Стационарным** называется такое неравновесное состояние, в котором постоянство значений параметров поддерживается потоками.
- Состояние – структура, на которую выходит система в процессе эволюции, называется **аттрактором** ( от лат. attrahere – притягивать, привлекать).
- Открытая система – **неравновесная система**, так как в ней всегда есть потоки. *Любая экономическая система – неравновесная.*
- Аттракторы – **цели** эволюции. Изолированная система имеет одну цель, открытая – ограниченное множество дискретных целей.
- Степень **неравновесности** определяет характер процессов:
  - слабая неравновесность (докритическая) – регулярный процесс;
  - сильная (закритическая) – хаотический процесс.

# 4. Явление самоорганизации

**Самоорганизация** – это процесс спонтанного структурообразования, в результате которого система приобретает новую, более сложную, более высокоорганизованную структуру взамен прежней.

Пример самоорганизации в физической системе «слой жидкости».

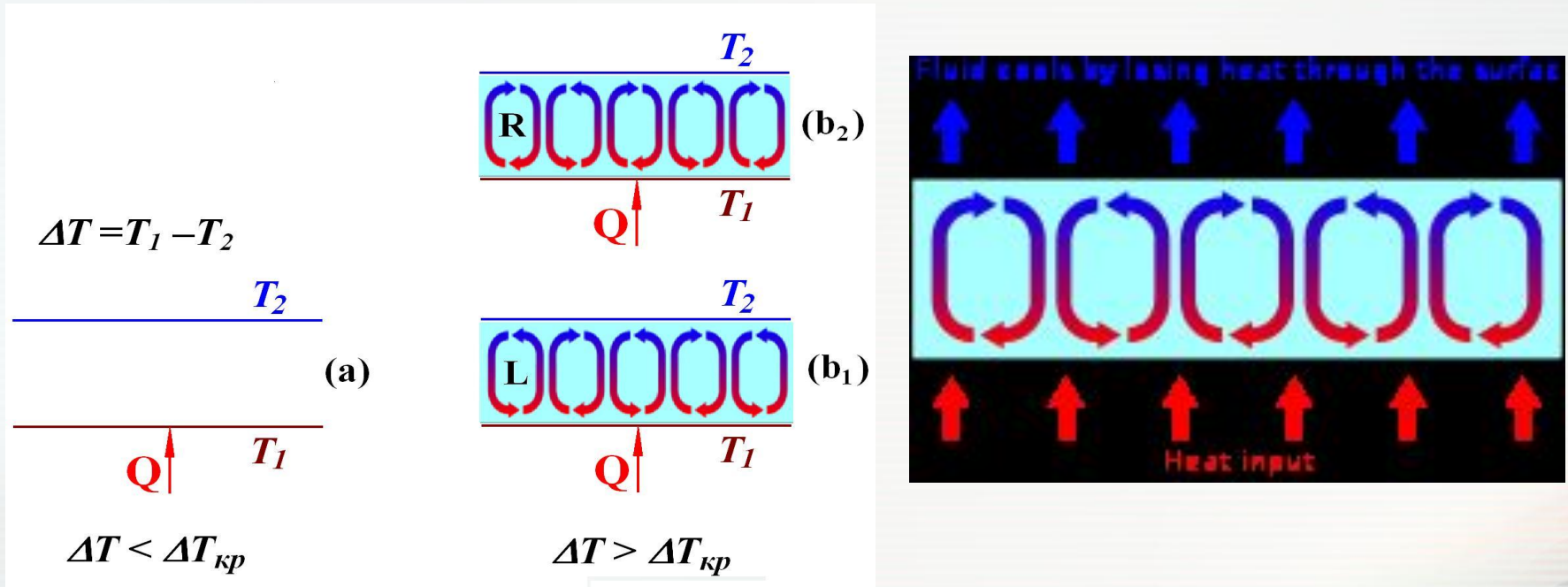


Рис. 1 – Возникновение динамической ячеистой структуры при  $\Delta T > \Delta T_k$  (b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>) вместо статической однородной структуры при  $\Delta T < \Delta T_k$  (a). Спираль закручивания в ячейках R – правая, L – левая.

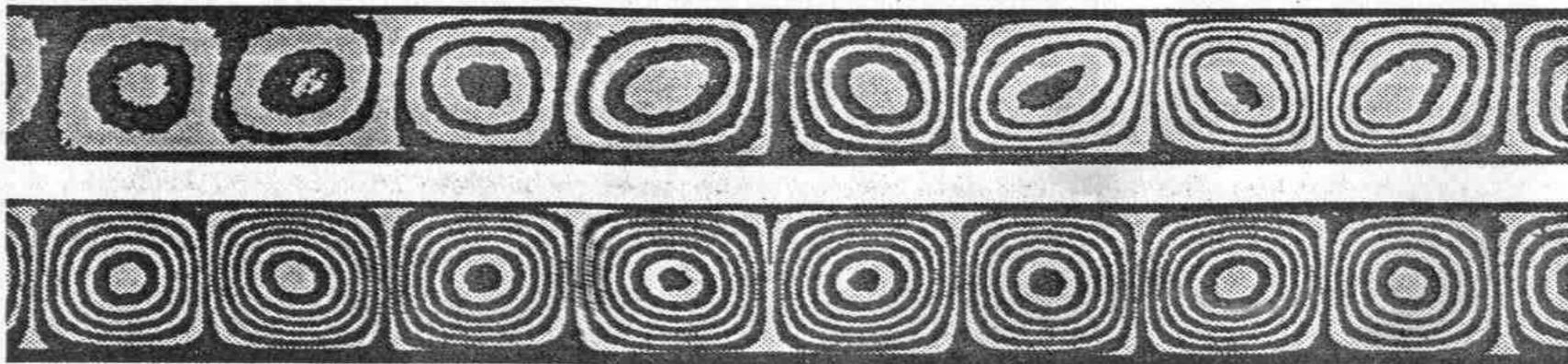


Рис. 2 – Конвективная картина в силиконовом масле в прямоугольном ящике, подогреваемом снизу. На нижнем снимке – равномерный нагрев, на верхнем – разность температур, а, следовательно, и амплитуда движения возрастают в направлении слева направо.

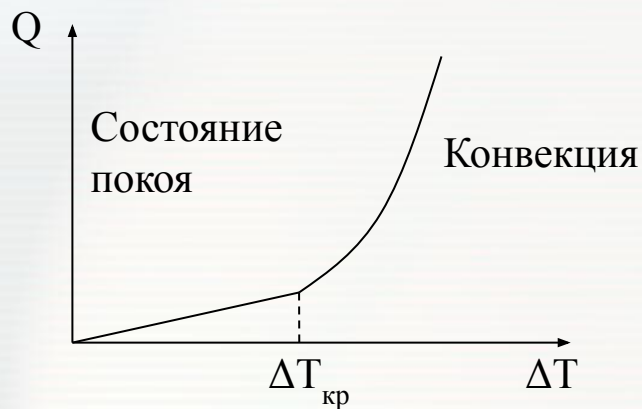


Рис. 3 – Нелинейная зависимость расхода тепла  $Q$  от разности температур нижней и верхней поверхностей слоя  $\Delta T$ .

# Примеры самоорганизации



## 5. Самоорганизующаяся система



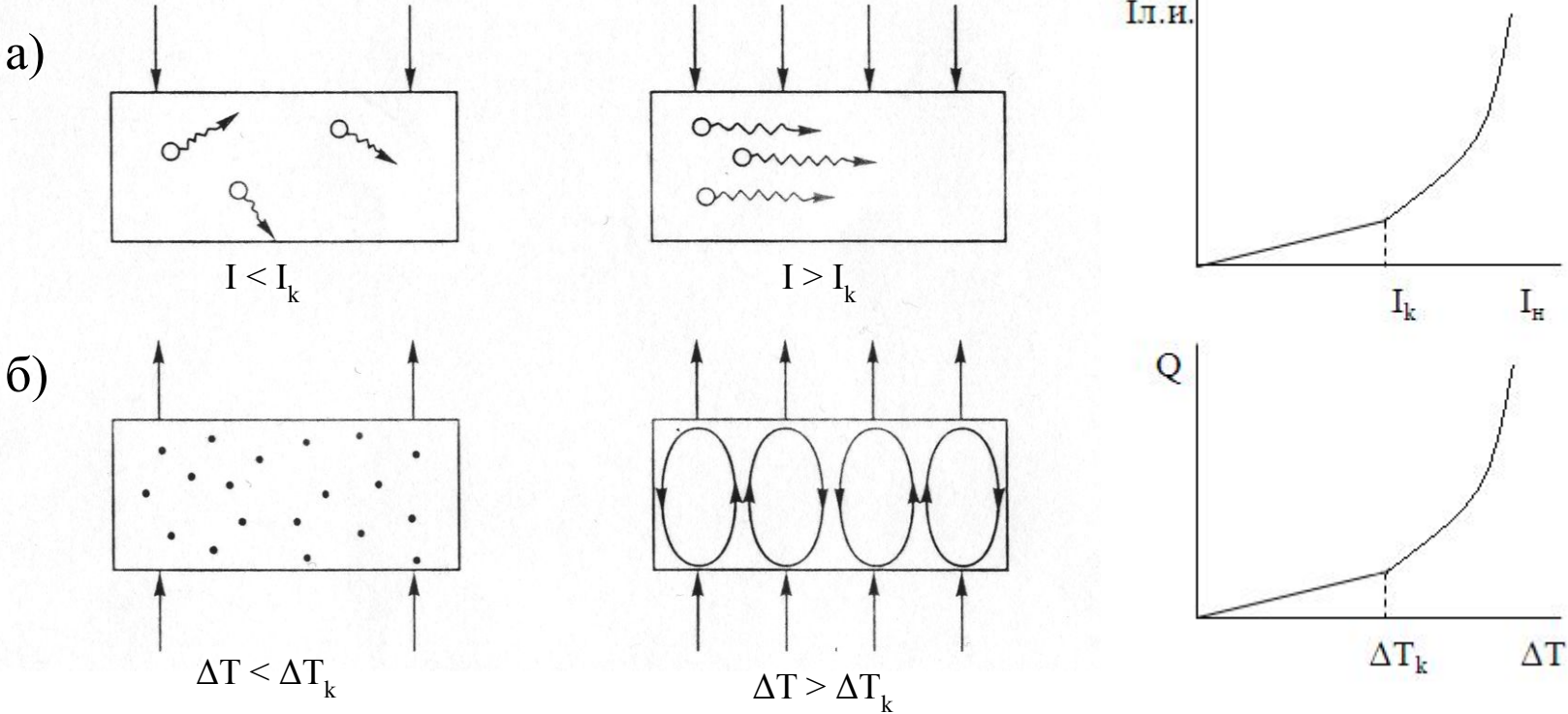
«В последние годы в мире науки укрепилось мнение, что сложные эколого-экономические явления могут быть изучены только при условии, что они будут представлены в виде единой комплексной динамичной системы, в которой главную роль играет феномен самоорганизации»

Вернер Эбелинг

Основателями теории самоорганизации – синергетики являются нобелевские лауреаты Герман Хакен, Илья Романович Пригожин



# Самоорганизация в лазере (а) и слое жидкости (б)



- **Самоорганизующаяся система** характеризуется:

- 1) *открытостью*
  - 2) *нелинейностью*
  - 3) *кооперативностью*
- во взаимодействии  
элементов



проявляются при неравновесности выше  
критического порога  $\Delta\lambda > \Delta\lambda_k$

- Система способна к самоорганизации (спонтанному структурированию) только при возникновении определенных условий (*открытость, нелинейность, кооперативность*), возникающих **при сильной (закритической) неравновесности**.

- *Экономическое производство* – это структурообразующий и упорядочивающий процесс, таким образом – это *процесс самоорганизации*. Производство развивается, опираясь на внутренние движущие силы: инновационные механизмы, взаимосвязи науки и общественных потребностей, новейшие технологии и т.п.
- Отображение экономических объектов в виде *самоорганизующихся* систем позволяет исследовать наименее изученные объекты и процессы с большой *неопределенностью* на начальном этапе постановки задачи.
- Взаимодействие *активных* элементов:
  - создает новые свойства системы, приспособляемость её к изменяющимся условиям среды(+);
  - вызывает *неопределенность*, затрудняет управление системой (-).



## 6. Переменные и параметры

Характеризующие систему величины можно разделить на параметры и переменные.

**Переменные** – это величины, которые меняются при рассмотрении процесса;

**Параметры** – это величины, которые в рамках данной задачи могут считаться постоянными.

Деление условно: одна и та же величина в одной задаче параметр, в другой – переменная.

Система «человек» характеризуется величинами: возраст, рост, вес, температура, давление.



В задаче «больной человек»  
переменные: температура, давление;  
параметры: вес, рост, возраст.  
Здесь временной масштаб – неделя.

В задаче «растущий ребенок»  
переменные: вес, рост, возраст;  
параметры: температура, давление.  
Временной масштаб – несколько лет.



# 7. Бифуркация

Процесс самоорганизации в «слое жидкости» (Рис. 1) можно представить в виде термодинамической диаграммы, в которой:

$x$  – переменная состояния системы – скорость конвекции –  $v$ ;

$\lambda$  – управляющий параметр – разность температур –  $\Delta T$ .

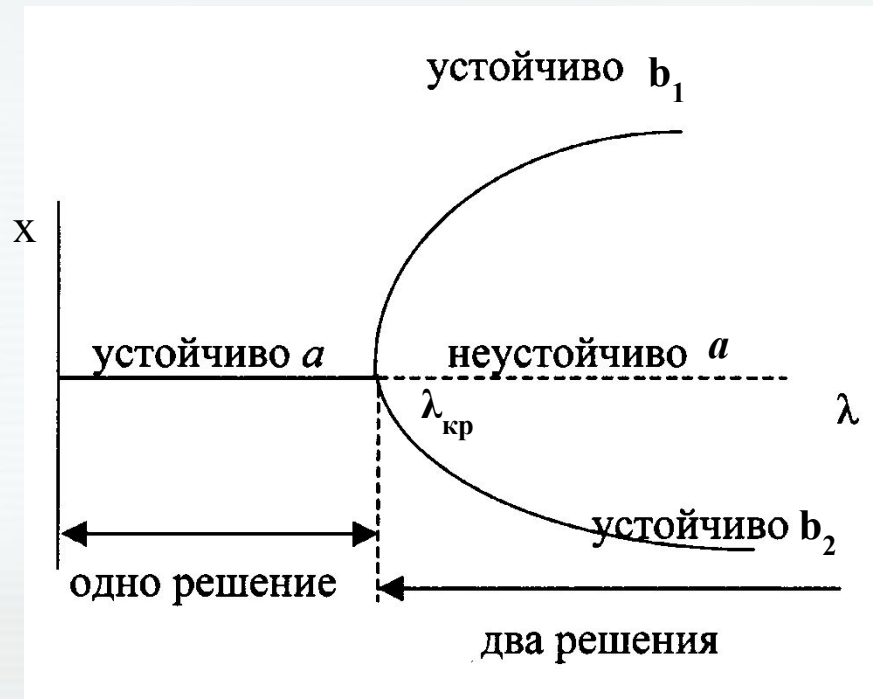


Рис. 4 – Диаграмма бифуркации: влияние управляющего параметра  $\lambda$  на переменную состояния системы  $x$ .

$\lambda_{кр}$  – точка бифуркации.

## Обсуждение:

- **бифуркация** (от лат *bi* – двойной, *furca* – развилка) – явление смены одной устойчивой структуры (режима) другой устойчивой структурой (режимом) в самоорганизующейся системе;
- переход к сложному связан с появлением новых ветвей решения в результате возникновения в системе бифуркации, то есть связан с **неопределенностью**;
- развитие системы зависит от случайного выбора ветви развития в точке бифуркации;
- выбор нового состояния (структуры, режима) заранее непредсказуем и определяется через динамику **флуктуаций**. Место и время возникновения флуктуаций установить нельзя;
- в окрестности точки бифуркации  $\lambda_{кр}$  состояние (структура, режим) системы становится **неустойчивым**.

Благодарю за внимание!

