

## Метод Системного Потенциала и Эволюционные Циклы.<sup>1</sup>

“Говоря о состоянии системы мы часто используем термины: “потенциал системы” и “условия реализации” (высвобождения!) ее потенциала. Анализируя, например, специфические черты динамики разных систем, часто говорят, что “потенциал” одной системы больше, чем другой или сравнивают “условия реализации” в них. Такой способ мышления неявно предполагает, что 1) “потенциал” и “условия” можно рассматривать как некоторые численные величины, 2) что эти величины характеризуют состояние системы на предельно абстрактном уровне, 3) что эти величины могут быть найдены посредством некоторой процедуры обработки информации о системе” [6].

---

<sup>1</sup> Данный текст является расширенной версией одноименной статьи, которая с августа 2004 по март 2006 была размещена на сайте «Известия Науки». В настоящей редакции сохранена без изменений основная часть первоначального текста. Некоторые новые результаты, полученные в последние два года, размещены в примечаниях.

## Метод Системного Потенциала и диалектика.

Метод Системного Потенциала был представлен на международной конференции по системной динамике [6] и позже развит в ряде статей [7, 8, 9]. Настоящее сообщение является кратким изложением основных идей этого метода и вытекающих из него результатов.

Метод основан на простых, можно сказать, почти тривиальных предположениях о том, какие процессы лежат в основе эволюции Сложных Адаптивных Систем (САС). Примерами таких систем являются почти все системы, возникающие в ходе эволюции: живые существа, экосистемы, экономика, общество и т.д. Несмотря на различие этих систем, существуют, однако, некоторые универсальные законы, которые управляют их развитием<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Сложные Адаптивные Системы (САС) состоят из множества взаимодействующих составляющих – так называемых «агентов». «Агенты» САС находятся в постоянном и, как правило, нелинейном взаимодействии друг с другом. «Агенты» сами являются Сложными Адаптивными Системами. Каждый «агент» стремится адаптироваться наилучшим образом к меняющемуся окружению. Такими Системами является большинство Систем спонтанно возникающих в Природе и Социуме в ходе эволюционного процесса: экосистемы, этносы, цивилизации, общества, экономика, живые системы... Несмотря на значительные различия в строении и функциях таких Систем, все они состоят из множества взаимодействующих подсистем, каждая из которых стремится адаптировать свое поведение и функции к меняющимся обстоятельствам. В этом смысле все САС идентичны. Эта идентичность обнаруживается в наличии ряда универсальных свойств таких Систем:

(1) в силу нелинейности взаимодействий между «агентами», динамика САС, как правило, не может быть «выведена» из рассмотрения свойств и динамики ее подсистем («целое» больше чем сумма «частей»). Это свойство САС давать на выходе непредсказуемый агрегированный эффект называют «эмерджентностью» (“emergent property”),

(2) в силу того, что каждая САС состоит из более мелких САС и в свою очередь сама является подсистемой более крупных САС, структурные и функциональные свойства САС содержат в себе признаки самоподобной структуры, или фрактала,

(3) большинство САС достигает цели эффективной адаптации посредством периодического качественного обновления Системы, или ее реконфигурации (создания нового порядка отношений, связей и взаимодействий между «агентами»),

(4) этой цели САС достигает посредством своей способности поддерживать состояние вдали от равновесия, балансируя, так сказать, на границе между жестко-конфигурированной внутренней структурой и хаотически-меняющейся. В этом особом состоянии “edge of chaos” САС наилучшим образом способна найти адекватный ответ на меняющиеся требования извне и изнутри, достигая максимальной способности к реконфигурации, не теряя при этом целостности и контролируя процесс. Известное из физики состояние самоорганизованной критичности (“self-organized criticality”) является конкретным случаем этого особого наилучшего для адаптации состояния САС.

(5) САС спонтанно стремится к состоянию наивысшей адаптации, состоянию “edge of chaos”. Описанное в терминах физики, это – состояние самоорганизованной критичности, которому свойственны фрактальные свойства динамики.

При изучении свойств и динамики САС традиционно используется аппарат Много-Агентного Моделирования (“Multi-Agent Modeling”) и компьютерной симуляции. Задаются «агенты», правила их взаимодействия (правила «игры») и отслеживается, как будут меняться свойства Систем как единого целого. Такие модели описывают САС методом «снизу-вверх»: от «агентов» к динамике макроскопических свойств (так называемый “bottom-up” подход). Макро-закономерности возникают здесь как агрегированный эффект поведения множества «агентов», играющих по определенным «правилам», обеспечивающим каждому наилучшую адаптацию. Такой подход стал возможен с появлением мощных компьютеров, позволяющих строить своего рода искусственный Мир и изучать его свойства, «прокручивая» заложенный алгоритм развития многократно и при разных исходных параметрах. Большинство приближенных к реальному Миру компьютерных моделей показывают наличие «эмерджентных» свойств САС, явление самоорганизованной критичности, наличие фрактальных признаков строения и динамики и явление так называемого «переменяющегося равновесия» (“punctuated equilibrium”) – периодическое чередование фаз плавного изменения макросвойств Системы с короткими «взрывными» фазами (“bursts”) резкого изменения макросвойств САС. Все эти особенности динамики САС, выведенные на базе использования метода «снизу-вверх», могут быть выведены теоретически в рамках предлагаемого в настоящей статье подхода - МСП, который можно назвать подходом «сверху-вниз», в силу того, что этот новый подход с самого начала рассматривает САС как некоторую единую целостную Систему с определенными универсальными

Эти универсальные законы развития систем, известные как законы "диалектики", впервые были отчетливо сформулированы немецким философом Гегелем. Диалектика является обобщением огромной массы наблюдений над изменением форм существования Сложных Адаптивных Систем. Развитие таких систем есть процесс "раскрытия" ("развертывания", "проявления") их внутренних свойств или "потенций".

По Гегелю Система не может не "раскрываться", поскольку "раскрытие" Системы есть именно тот процесс, через который она сохраняет себя. Чтобы "быть самой собой", Система должна все время становиться "другой". Процесс самораскрытия есть способ существования таких систем. Этот процесс состоит из двух фаз: фазы развития системы внутри определенной формы и фазы смены формы развития – метаморфоза. Эволюция поэтому носит циклический характер: форма - метаморфоз - новая форма. Стадию метаморфоза можно также назвать "кризисом старой формы развития". Смена формы позволяет задействовать новые слои "потенций" системы. Поэтому эволюция – это не просто циклическое повторение, а циклический рост, спираль. **Эволюционные циклы – это циклы диалектического развития Систем.**

Именно так, например, развивается "экономика", эволюционируя по известной экономической спирали: фаза процветания (prosperity) - фаза кризиса (recession) - фаза депрессии (depression) - фаза восстановления нормального уровня деловой активности (revival). По такой же схеме развивается "общество". Периоды кризиса преодолеваются кардинальной ломкой институтов управления и форм собственности посредством либо революции, либо кардинальной социальной реформы. Эта схема "работает" и в применении к отдельным живым существам. Каждый на собственном опыте знает, что периоды ровного спокойного течения его жизни внутри определенного "русла" (термин введенный Малинецким Г. Г. [4]) – чередуются относительно краткими периодами кризиса, во время которого жизнь перестраивается и входит в новое "русло". Опыт свидетельствует, что такой способ эволюции есть обычное правило развития Сложных Адаптивных Систем.

Гегель впервые сформулировал эту общую закономерность развития, но не объяснил, почему развитие обязательно должно происходить по такой схеме. Почему, в самом деле, качественным изменениям должен предшествовать длительный процесс количественного накопления внутри одной и той же формы? Почему изменение форм происходит не плавно, а скачками и сам процесс метаморфоза относительно краток по сравнению со временем развития системы внутри фиксированной формы? Почему вообще развитие имеет вид спирали, а не плавного непрерывного роста? Имеет ли эволюционный цикл какую-то определенную математическую форму и, если да, то какую? На все эти вопросы диалектика ответа не дает. Диалектика дает качественное описание, а эти вопросы подразумевают применение математических методов.

**Возможна ли диалектика как точная наука?** – вот тот вопрос, который следует поставить. Известно, что современная математическая логика (исчисление предикатов и высказываний) выросла из формальной логики, основы которой были сформулированы еще Аристотелем в его знаменитом "Органоне". Известно, что Гегель критиковал формальную логику за ее неспособность описывать диалектику реального мира. Гегель предложил новую "Науку логики", которая, по его замыслу, должна была заменить формальную логику системой понятий и логических законов, которые соответствовали бы логике реального постоянно меняющегося мира. Оставляя в стороне вопрос о правомерности "логизации" процесса эволюции – вопрос очень не простой, поскольку он прямо связан с гипотезой о бытии Логоса – Бога, - можно, во всяком случае, согласиться с Гегелем в том, что универсальность, одинаковость способа эволюции самых разных систем означает, что есть некоторая универсальная структура, которая применима к

---

структурными и динамическими свойствами. Эти одинаковые для всех САС общие структурные и динамические свойства выражают агрегированную способность этих Систем адаптировать свою внутреннюю конфигурацию в соответствии с требованиями выживания в меняющемся Мире.

любым эволюционирующим системам и что структура эта может быть выражена посредством очень абстрактных понятий или так называемых "категорий". Метод Системного Потенциала есть попытка формализовать универсальную структуру абстрактных терминов и применить ее для описания и объяснения процесса эволюции систем.

Метод основывается на двух простых принципах, которые мы обсудим ниже: (1) принципе адаптации Системы к меняющемуся окружению и (2) принципе энтропии. Оказывается, что построенная на этих двух простых принципах модель эволюции содержит в себе богатую динамику возможных вариантов развития систем. Перейдем теперь к обсуждению основных принципов **Метода Системного Потенциала (МСП)**.

## **Основные положения Метода Системного Потенциала.**

**Утверждение 1.** Состояние Системы на предельно абстрактном уровне описывается с помощью двух глобальных переменных, "потенциала Системы" и "условий реализации" этого "потенциала".

**Пояснение 1.** Что означают эти два термина? Интуитивно ясно, что речь идет о некоторых внутренних, свойствах Системы, которые при определенных условиях могут проявиться. "Потенциал" – это адаптивные способности системы в широком смысле этого слова, способности адекватно реагировать на меняющееся окружение и накапливать полезный опыт. "Условия" – это свойства Системы и окружения, которые активируют либо тормозят рост способностей Системы. Связь этих абстрактных терминов с наблюдаемыми и регистрируемыми данными о Системе своя для каждой конкретной Системы. Здесь нет готовых рецептов, но если каким-то способом удастся установить эту связь, то терминам "потенциал" и "условия реализации" можно придать тогда строгий количественный смысл. Динамика соотношений между "потенциалом" и "условиями", описываемая Методом Системного Потенциала, выражается тогда в форме некоторой зависимости между наблюдаемыми данными о Системе.

Например, в Экономической САС, такими наблюдаемыми могут быть выпуск конечного продукта (output) затраты на производства (costs), уровень занятости.... Эволюционный цикл, определяемый посредством эволюционных уравнений для "потенциала" и "условий", проявляет себя в форме цикла наблюдаемых данных. В применении к Экономической Системе, эволюционный цикл будет порождать циклическое изменение нормы прибыли, ВВП, занятости, затрат и т.д. Следовательно, **бизнес цикл можно попытаться объяснить как проявление эволюционного цикла Экономической САС.**

В какой мере эта гипотеза подтверждается статистикой и фактами? Я бы хотел отметить три фундаментальных исследования, в которых гипотеза МСП-бизнес-цикла находит свое статистическое подтверждение. Это: (1) книга Wesley Mitchell "Business Cycles. The Problem and Its Setting" [5], в которой собраны данные о бизнес циклах в разных странах (2) статья Robert Sollow [10] об основных индикаторах обрабатывающей промышленности США за период 1909-1949 годы, (3) статья Paolo Giussiani [2], в которой приведены данные о производительности капитала и труда и фондовооруженности за последние 50 лет в 108 странах. Выявленные в этих работах общие закономерности в распределении данных и их изменениях могут быть объяснены и теоретически описаны на основе МСП-модели бизнес цикла. Есть также множество качественных и косвенных подтверждений этой модели. Например, известная модель Nicolas Kaldor [3] качественно идентична МСП-модели. Подробное обсуждение этой темы есть предмет отдельной статьи. Здесь же мне хотелось бы отметить лишь, что закономерности, описываемые Методом Системного Потенциала, обнаруживают себя в реальной динамике бизнес циклов не прямо, а косвенным образом, при рассмотрении больших объемов данных о тех

или иных свойствах бизнес цикла. Причина в том, что, согласно МСП, динамика САС является композицией детерминированного циклического процесса и стохастической составляющей, причем в силу высокой чувствительности Системы к случайным внешним воздействиям и внутренним флюктуациям, вклад стохастической составляющей может совершенно зашумлять протекание детерминированного циклического процесса. В результате динамика САС, согласно МСП, может выглядеть как совершенно случайный процесс, порождаемый воздействием экзогенных шоков. Но если взять большие временные ряды и привлечь данные о динамике экономических индексов в разных странах, то, анализируя этот более широкий набор данных, можно обнаружить наличие определенных закономерностей «больших чисел». Во-первых, это четырехфазное строение бизнес цикла, длительности отдельных фаз и отличие так называемых «длинных циклов» от обычных. Во-вторых, сильно напоминающее логнормальное распределение длительностей циклов. В-третьих, распределения индексов: фондовооруженность - производительность труда – производительность капитала. Существуют определенные закономерности, которые становятся отчетливо видны, как только объем накопленных данных становится достаточно большим. Эти закономерности обнаруживают себя как корреляции собранных данных. Поэтому, анализируя эти данные, мы обнаруживаем, например, что существует похожее на логнормальное распределение длительностей бизнес циклов, или замечаем, что в «длинных циклах» фаза депрессии оказывается ощутимо длиннее, чем в обычных циклах, или что существует совершенно явная корреляционная зависимость между производительностью труда и производительностью капитала. По мере накопления данных на фоне шумовых помех все отчетливее проступает наличие детерминированной составляющей. И что самое интересное, эта детерминированная составляющая имеет как раз такие свойства, которые вытекают из МСП-модели бизнес цикла.

Другой способ проверки – рассмотреть Систему в том интервале времени, когда она слабо реагирует на случайные внешние воздействия. Согласно МСП, такие периоды бывают после глубокого кризиса. Это и есть так называемые «длинные циклы», длинные за счет растянувшейся фазы депрессии. «Длинные циклы» позволяют проверить основные положения МСП-модели, что называется, «в лоб», поскольку влияние стохастической составляющей в данном случае менее заметно. Robert Sollow [10] собрал статистику о динамике основных экономических индексов в продолжении одного из таких «длинных циклов» - периода 1929–1945. Анализ этих данных, выполненный с использованием МСП-модели, дает теоретическое объяснение динамики технологического фактора Sollow. То есть экономика в течение «длинного цикла» ведет себя именно так, как должна вести себя Экономическая САС, согласно МСП-модели. То есть, предсказываемые на основе МСП количественные соотношения действительно выполняются. МСП поэтому вовсе не является неким абстрактным построением далеким от реальности. Наоборот, этот Метод работает.

**Утверждение 2.** "Потенциал" и "условия реализации" прирастают вследствие "деятельности" Системы и убывают вследствие действия "принципа энтропии".

**Пояснение 2.** Термин "энтропия" понимается здесь в широком смысле как показатель степени неупорядоченности системы. Так, например, понимают этот термин Howking, S.W. [11].

"...entropy... measures the degree of disorder of a system. It is a matter of common experience that disorder will tend to increase if things are left to themselves." (Hoaking, S.W., p.102).

В теории Сложных Систем такое расширенное понимание этого термина давно стало общеупотребительным. "Принцип энтропии" в широком смысле означает, что уровень упорядоченности (организованности) системы падает вследствие случайных

флюктуаций в ней или вследствие неконтролируемых системой внешних воздействий. Такое понимание "принципа энтропии" можно рассматривать как обобщение второго начала термодинамики, но, конечно, следует всегда помнить, что термины "энтропия" и "второй закон термодинамики" используются при этом не в их первоначальном термодинамическом смысле, а как термины, выражающие закон роста беспорядка в системе.

"Деятельность системы" есть тот комплекс процессов, посредством которых в системе поддерживается определенный уровень упорядоченности. Можно сказать, что "деятельность" системы состоит из процессов, направленных против действия "принципа энтропии". Образно выражаясь, "деятельность" САС состоит в ее постоянной борьбе с разрушающим действием "принципа энтропии". В современном системном мышлении ("system thinking") существует несколько направлений, каждое из которых разрабатывает определенный конструктивный аспект термина "деятельность". Однако, вне зависимости от того, в каких терминах описывается "деятельность" тем или иным направлением системного мышления, все признают, что с функциональной точки зрения "деятельность" является процессом, посредством которого система поддерживает и наращивает свой уровень упорядоченности (организации). Смысл термина "потенциал" имеет много значений. Мы используем этот термин для обозначения адаптивных способностей системы. "Деятельность" есть применение этих способностей для поддержания стационарного состояния и накопления полезного опыта. Все эти утверждения достаточно тривиальны, однако они приводят к совсем не тривиальным результатам, если аккуратно формализовать их в строгом виде.

**Утверждение 3.** "Деятельность" системы есть процесс реализации ее "потенциала".

**Пояснение 3.** Термин "реализация" используется здесь в более широком смысле, чем тот, в каком использует его, например, Kenneth E. Boulding [1], для которого "реализация" – это лишь процесс осуществления генетической программы (типа яйцо - курица). Реализация генетической программы мало зависит от имеющихся "условий" (из яйца может получиться лишь курица, а не что-то иное). Однако, например, реализация творческих способностей человека очень сильно зависит от имеющихся "условий". Хорошо известно, что отсутствие "условий" способно задушить самый яркий талант и наоборот избыток "условий" может стать причиной деградации таланта.

**"Реализация" в широком смысле есть процесс применения "потенциала" в "деятельности", или процесс применения адаптивных способностей системы.** Те способности, которые регулярно применяются, - этим самым поддерживаются, укрепляются и растут. Но способности, которые не находят применения, постепенно атрофируются. Эта динамика адаптивных способностей очень проста. Есть способности, которые реализуются (регулярно применяются) – и эти способности растут, и есть способности, которые не реализуются (не находят себе применения) – и эти способности постепенно отмирают. В этом самая суть процесса адаптации сохраняется лишь то, что находит себе полезное применение, а остальное постепенно отмирает. Отсюда следует, что "потенциал" можно разделить на две части – "реализуемый потенциал" и "нереализуемый потенциал".

**Отношение "реализуемого потенциала" к полной его величине** характеризует степень использования имеющегося "потенциала" в "деятельности" системы. Очевидно, что этот показатель можно интерпретировать как показатель "эффективности" работы системы.

Описанный выше адаптивный механизм изменения способностей может быть сформулирован следующим образом:.

**Утверждение 4.** "Реализуемый потенциал" растет вследствие его применения в процессе "деятельности" системы. "Нереализуемый потенциал" постепенно отмирает.

**Пояснение 4.** Как растет "реализуемый потенциал"? Самое простое – это предположить, что прирост его тем больше, чем больше величина "реализуемого потенциала", то есть рост происходит с постоянным темпом роста. **Имеет место петля положительной обратной связи: способность - деятельность - возросшая способность.** Этот процесс усиления способностей через их реализацию в деятельности, очевидно, существует, и вся жизнь и история подтверждает наличие этой петли, однако, постоянство темпа роста – есть некоторое допущение, которое мы сделали, чтобы упростить формулы. Убывание "нереализуемого потенциала" можно рассматривать как проявление принципа энтропии. Опять наиболее простым предположением будет допустить, что "нереализуемый потенциал" убывает с постоянным темпом убывания. Это соответствует закону радиоактивного распада.

Принципы работы САС на макро-уровне<sup>3</sup> иллюстрирует **Рисунок 1.**

### **Эволюционные уравнения САС.**

Введем обозначения:

$\Phi$  – потенциал Системы,

$\Phi_R$  – реализуемый потенциал,

$\Phi_D$  – нереализуемый потенциал;

$U$  – условия реализации,

$z = \frac{U}{\Phi}$  – оснащенность Системы, количество условий приходящихся на единичный потенциал,

$R = \frac{\Phi_R}{\Phi}$  – эффективность работы Системы, показывающая, какая часть потенциала используется Системой в процессе ее адаптивной деятельности,

$(a + d) \cdot \Phi_R$  – прирост потенциала Системы, благодаря использованию части потенциала,  $F_r$ ,

$- d \cdot \Phi$  – убывание потенциала вследствие влияния на Систему неконтролируемых случайных возмущений (влияние энтропии).

Уравнение для "потенциала" – это уравнение баланса между накоплением потенциала через канал адаптивной деятельности и его разрушением вследствие действия энтропии:

$$\dot{\Phi} + d \cdot \Phi = (a + d) \cdot \Phi_R \quad (1)$$

Востребованные адаптивные способности Системы развиваются благодаря их активному применению. Это – процесс роста реализуемого потенциала. В простейшем случае его можно описать с помощью уравнения процесса «самовозбуждения»:

$$\dot{\Phi}_R = a \cdot \Phi_R \quad (2)$$

<sup>3</sup> На микро-уровне процессам изменения «потенциала» и «условий» соответствуют процессы адаптивной деятельности отдельных «агентов», стремящихся повысить свою пригодность и выживаемость (fitness). Агрегированными показателями адаптивных способностей «агентов» являются «потенциал» и «условия реализации потенциала» Системы как единого целого.

Уравнение баланса между созданием условий в Системе через ее адаптивную деятельность и уничтожением условий в результате влияния энтропии совершенно аналогично уравнению (1):

$$\dot{U} + \Lambda \cdot U = \nu \cdot \Phi_R \quad (3)$$

где  $\nu$  – коэффициент пропорциональности между приростом условий и величиной используемого Системой «потенциала»,  $\Lambda$  – норма выбывания «условий» за счет действия энтропии.

Из (1) - (3) следует, что динамика эффективности описывается логистическим уравнением:

$$\dot{R} = (a + d) \cdot R \cdot (1 - R) \quad (4)$$

Из уравнений (1) - (3) можно вывести уравнение, определяющее зависимость  $R(z)$ :

$$R'_z \cdot [(\nu - (a + d) \cdot z) \cdot R + (d - \Lambda) \cdot z] - (a + d) \cdot R \cdot (1 - R) = 0 \quad (5)$$

Уравнение (5) является уравнением Якоби и может быть сведено к линейному уравнению заменой переменных. Зависимость  $R(z)$  при разных значениях параметров показана на **Рис.3**. Как видно из этого рисунка, график  $R(z)$  при  $\Lambda > d$  содержит две ветви, в точке касания которых функция  $R(z)$  принимает максимальное значение, равное единице. Система эволюционирует вдоль одной из ветвей функции  $R(z)$ . Если бы параметры системы были строго постоянными величинами и отсутствовали бы возмущения Системы, вызываемые воздействием случайных факторов, то имел бы место асимптотический рост эффективности  $R(t)$ .

Уравнения (1) – (5) описывают изменение текущего (зависящего от времени) равновесного состояния Системы. Это – уравнения динамики в так называемом «длинном периоде». Чтобы учесть реакцию Системы на возмущения необходимо добавить еще одно уравнение, которое описывало бы, как будет вести себя Система, если ее вывести из состояния текущего равновесия. Это - уравнение Системы в «коротком периоде». Его выбор неоднозначен. Он зависит от особенностей рассматриваемой Системы. Но при любом выборе, уравнение должно описывать процесс возвращения Системы в свое текущее равновесное состояние. Простейшим вариантом является антиградиентный закон:

$$\frac{dR}{dt} = -K \cdot \frac{\partial W(R; z; \dots)}{\partial R} \quad (6)$$

Здесь  $K$  - положительная константа. Функция  $W[R; z; \dots]$  является аналогом потенциальной функции классической физики. Она зависит как от переменных, описывающих состояние Системы,  $R$  и  $z$ , так и от параметров этой Системы. Положения текущего равновесия соответствует точкам минимума потенциальной функции, то есть точкам, в которых  $\frac{\partial W(R; z; \dots)}{\partial R} = 0$ .

Динамика реальной Системы сочетает в себе как долговременный тренд изменения текущего равновесного состояния, процесс, описываемый уравнениями (1) – (5), которому соответствует движение Системы вдоль эволюционной ветви, так и быструю динамику возвращения Системы в свое текущее равновесное состояние, процесс стабилизации временного равновесного состояния, описываемый уравнением (6). Как видно из рис. 3 при  $\Lambda > d$  имеется область переменной  $z$ , в которой функция  $R(z)$  становится

неоднозначной. В точках  $z_0$  и  $z_1$  (Рис.2 и 3) состояние Системы перестает быть устойчивым, и Система перескакивает с одной ветви на другую (Рис. 2). Непосредственной причиной скачков является потеря устойчивости. В окрестности неустойчивой точки ( $z_0$  и  $z_1$ ) Система под влиянием случайного возмущения будет перескакивать с одной эволюционной ветви на другую. Механизм, который движет Систему во время скачка – это механизм возвращения в текущее равновесное состояние – уравнение (6). В силу существования двух равновесных точек и неустойчивости одной из них, механизм стабилизации временного равновесного состояния будет работать как сила, перебрасывающая Систему с одной ветви на другую. Этот процесс можно наглядно продемонстрировать, изобразив эволюцию Системы как движение ее по поверхности  $W[R; z]$  (Рис. 4).

**Уравнения (1)–(6) – и есть основные уравнения Метода Системного Потенциала.** Они кажутся совершенно тривиальными, поскольку выводятся из совершенно простых предположений. Уравнения (1) - (5) определяют, как меняется краткосрочное равновесное состояние Системы. Текущие равновесные состояния Системы в плоскости «оснащенность – эффективность» лежат на кривых, которые мы назвали - «эволюционные ветви» (Рис. 2). Форма эволюционных ветвей (и динамика Системы) зависят от знака параметра  $\chi = \frac{\Lambda - d}{a + d}$  (Рис. 3). Однако эти уравнения содержат в себе огромную информацию о возможных способах эволюции систем.

Возникает гистерезисный цикл, состоящий из двух фаз плавного роста и двух катастрофических скачков<sup>4</sup>. Поскольку возникновение таких циклов вытекает из эволюционных уравнений, выведенных на основе совершенно простых принципов, таких как принцип адаптации и принцип энтропии, то свойства таких циклов не зависят от конкретного вида Системы, а выражают некоторые фундаментальные свойства циклической эволюции.

В плоскости "потенциал" - "условия реализации" **возможны циклы расширения, сжатия и замкнутые циклы** (траектории в виде петли) (Рис. 5 - 7).

Динамика Системы является последовательностью 4-фазных разрывных (релаксационных циклов) разной длительности. Вероятность перескока Системы с одной эволюционной ветви на другую растет по мере движения Системы вдоль эволюционной ветви. Поэтому детерминированный цикл будет зашумляться нерегулярными скачками Системы, то есть **динамика содержит в себе детерминированную и стохастическую составляющие** (Рис. 8). Можно показать, что при росте величины возмущений Системы, вероятность «кризиса» и его «глубина» связаны по закону близкому к обратному степенному. Это значит, что динамика показывает **свойства самоорганизованной критичности**.

Динамику Системы иллюстрируют **Рисунки 8 и 9**.

### **Варианты развития, области развития, "джокеры".**

Можно построить классификацию возможных вариантов развития систем, опирающуюся на свойства монотонности функций  $\Phi(t)$ ;  $U(t)$  и  $z(t)$ . Последняя величина определяет количество "условий", приходящихся на единичный "потенциал", Эту величину мы назвали «оснащенностью». В зависимости от того, как ведут себя эти три величины (растут или убывают), можно выделить **шесть вариантов развития** систем.

Как показывает анализ, траектория систем в плоскости  $(\Phi; U)$  заключена внутри некоторой области, которую можно назвать "**областью развития**". Система не может покинуть свою «область развития» без внешнего "вмешательства" или качественного

<sup>4</sup> Рис. 9-10 иллюстрируют сущность процессов в разных фазах эволюционного цикла.

изменения свойств самой Системы. "Вмешательство" означает такое воздействие на Систему, результатом которого является скачкообразное изменение "оснащенности" Системы (приток или отток "потенциала - условий" не через канал "деятельности")<sup>5</sup>. Вторым способом выхода из «области развития» является процесс резкого изменения параметров системы:  $a; d; v; \Lambda a$  - то есть процесс качественного изменения самой Системы, который можно назвать «мутацией» Системы<sup>6</sup>.

В обычных условиях Система эволюционирует внутри той области развития, в которой она находилась в начальный момент времени и которую она не может покинуть без внешнего "вмешательства" или мутации. Изменения "оснащенности" Системы графически изображаются как резкие скачки траектории Системы в плоскости  $(\Phi; U)$ <sup>7</sup>. Мутации меняют разбиение плоскости  $(\Phi; U)$  на области развития. И хотя в последнем случае Система остается в той же точке плоскости  $(\Phi; U)$ , может оказаться, что после мутации Система окажется в иной области развития. При этом, как правило, касательная производная к траектории терпит разрыв.

Таким образом, с точки зрения Метода Системного Потенциала "джокеры" – резкие скачкообразные изменения в состоянии Системы - могут быть двух типов: (1) мутации Системы (резкие изменения ее свойств) и 2) резкие внешние воздействия на Систему. В первом случае имеет место скачок Системы из одного положения в плоскости  $(\Phi; U)$  в другую точку этой плоскости. Во втором случае меняется само расположение областей развития в плоскости  $(\Phi; U)$  и вследствие этого траектория Системы в точке мутации имеет излом.

---

<sup>5</sup> Примерами таких «воздействий» на социально-экономические Системы являются экстремальные события всякого рода: стихийные бедствия, войны, оказание помощи в крупном размере...

<sup>6</sup> Мутация есть процесс качественного изменения свойств Системы. Как правило любой крупный кризис Системы приводит к ее мутации. Это особенно хорошо видно, если сравнить социально-экономические Системы отдельных стран в периоды до и после больших кризисов.

<sup>7</sup> Такие скачки, которыми перемежается ровная плавная эволюция Системы, Малинецкий Г.Г. [] назвал "джокерами".

**Рисунки:**

**Рисунок 1.** Схема работы Сложной Адаптивной Системы.



**Рисунок 2.** Четырехфазный эволюционный цикл САС в плоскости «оснащенность – эффективность».

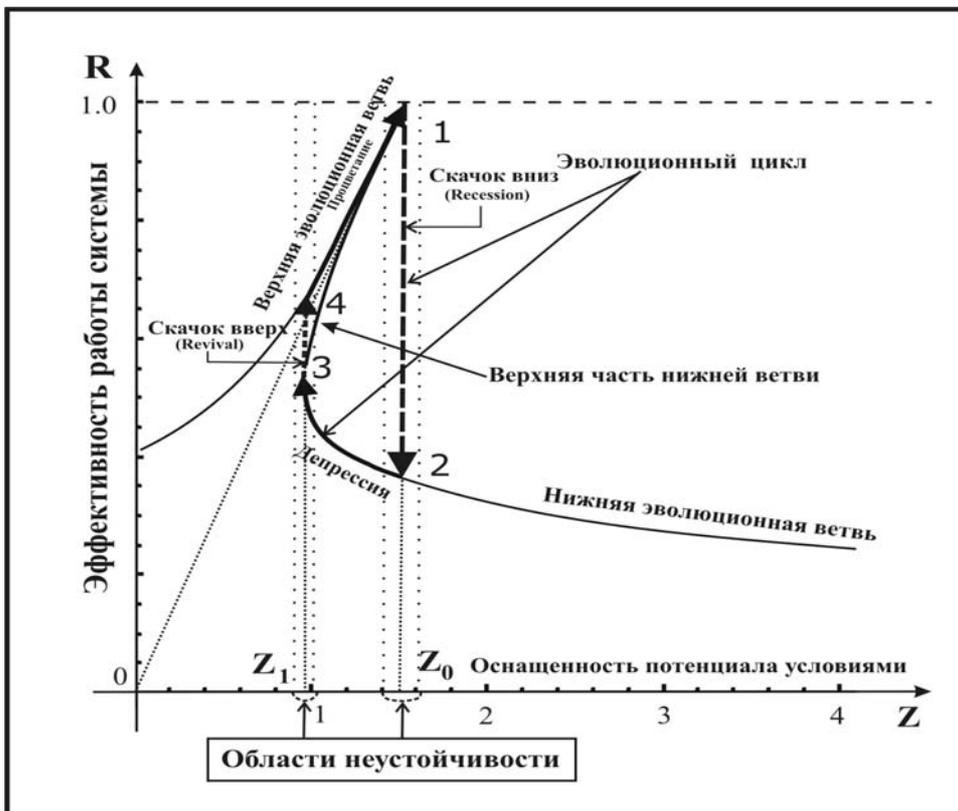


Рисунок 3. Эволюционные ветви при положительном и отрицательном  $\chi$ .

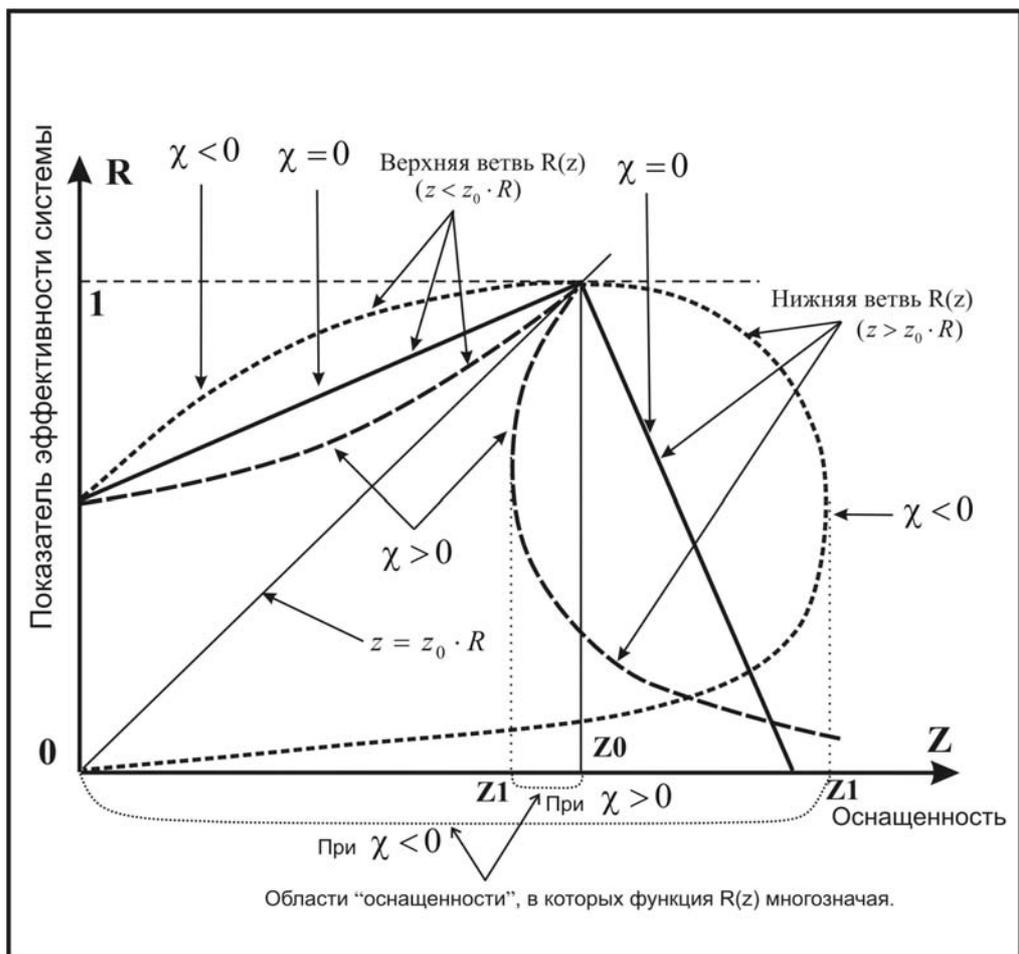


Рисунок 4. Эволюционный цикл как движение Системы вдоль плоскости  $W(z; R)$  (уравнения (4) и (7))

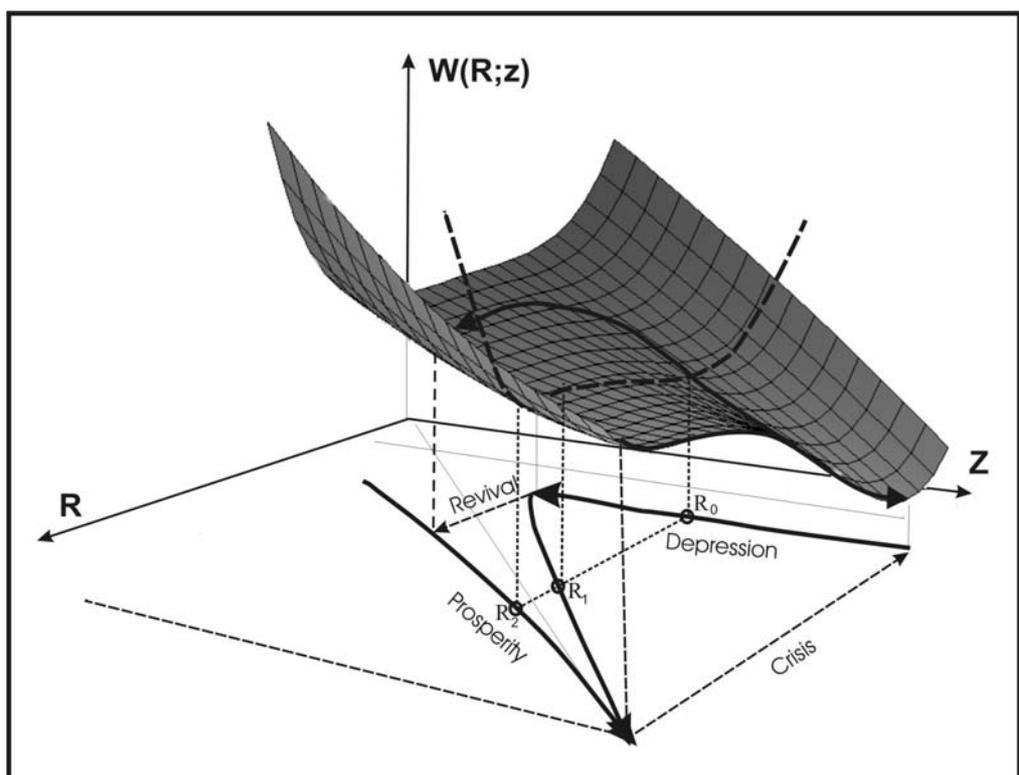


Рисунок 5. Эволюционный цикл расширения в плоскости «потенциал – условия».

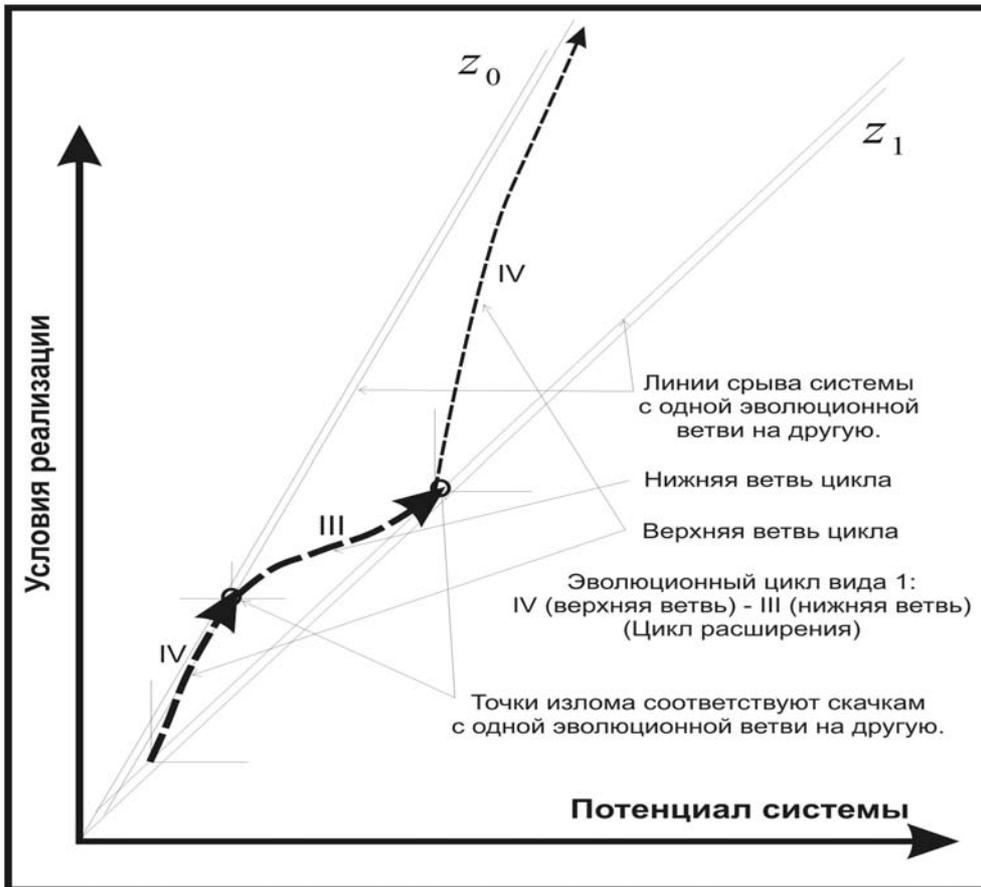


Рисунок 6. Эволюционный цикл сжатия в плоскости «потенциал – условия».

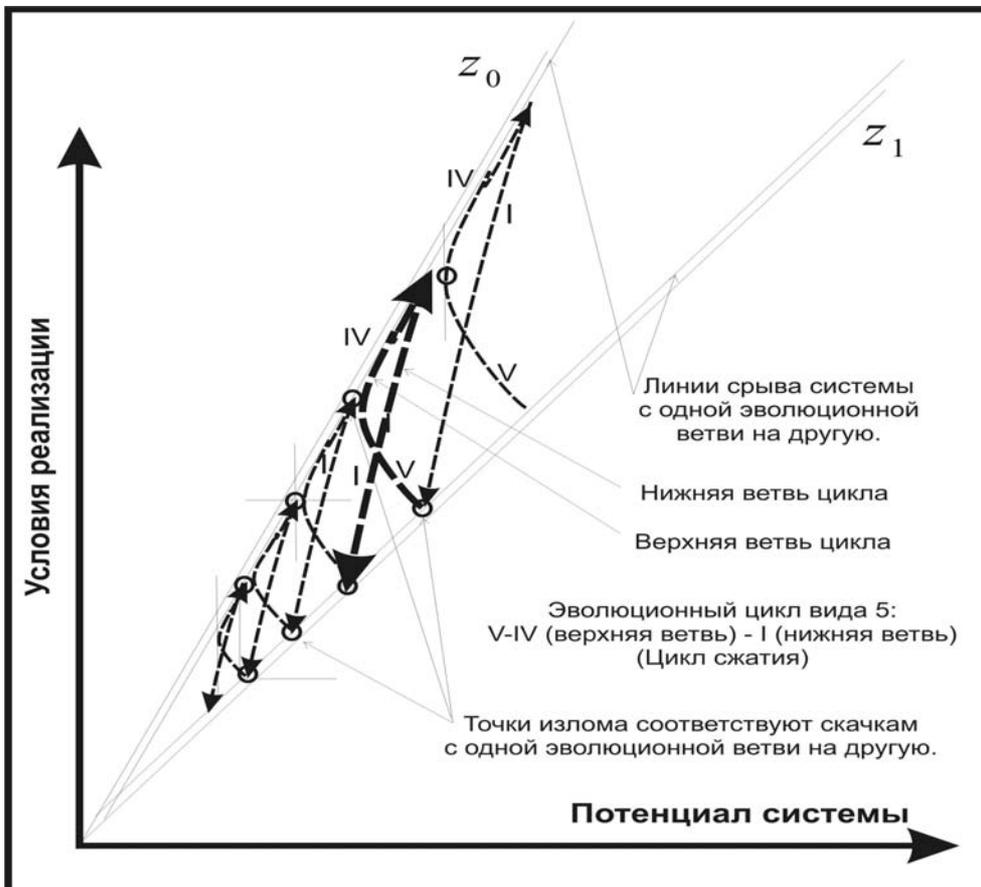


Рисунок 7. Эволюционный замкнутый цикл в плоскости «потенциал – условия».

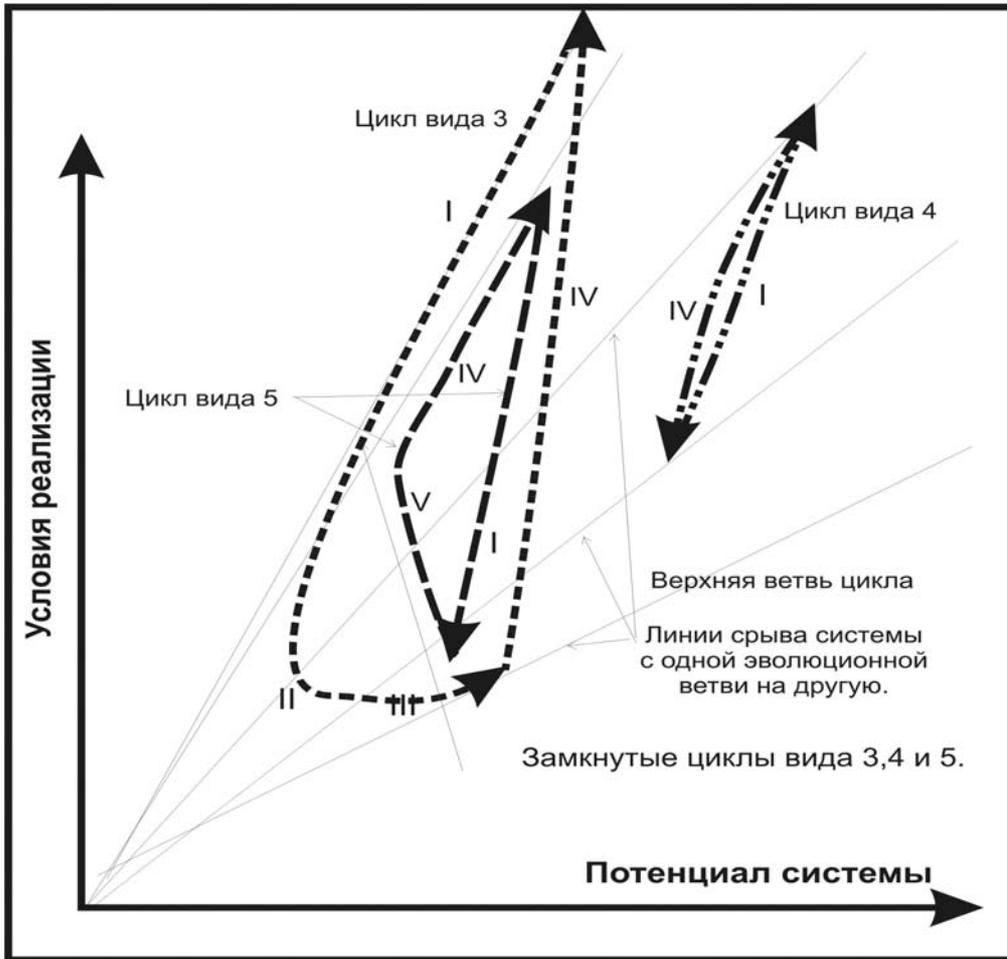
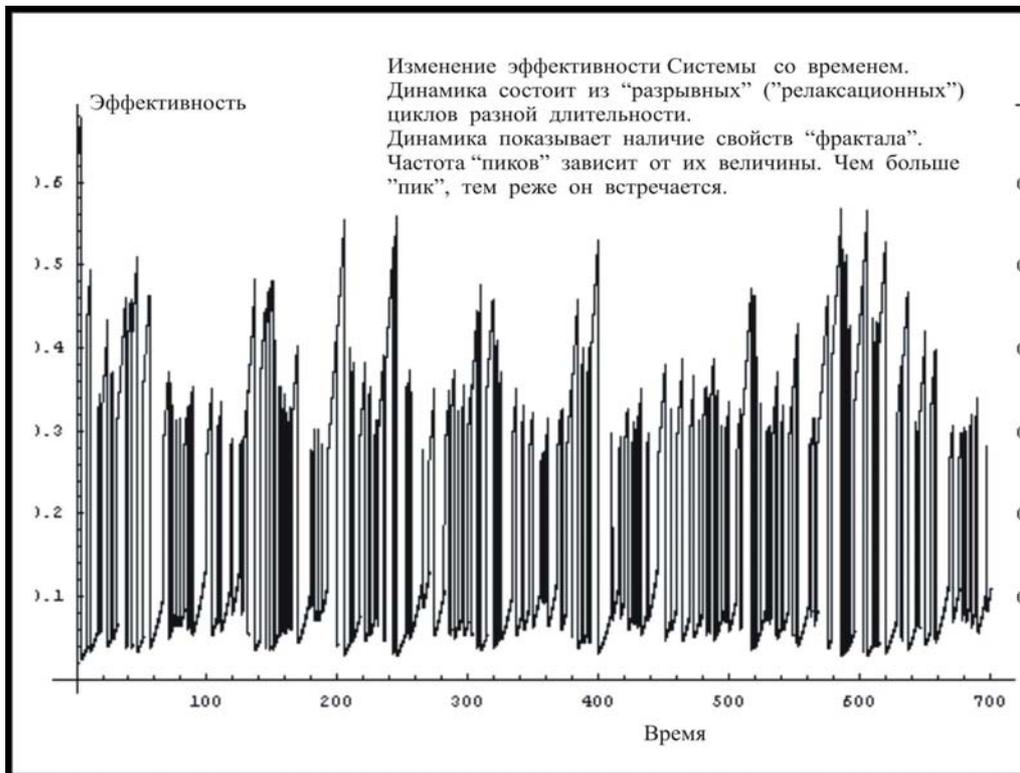
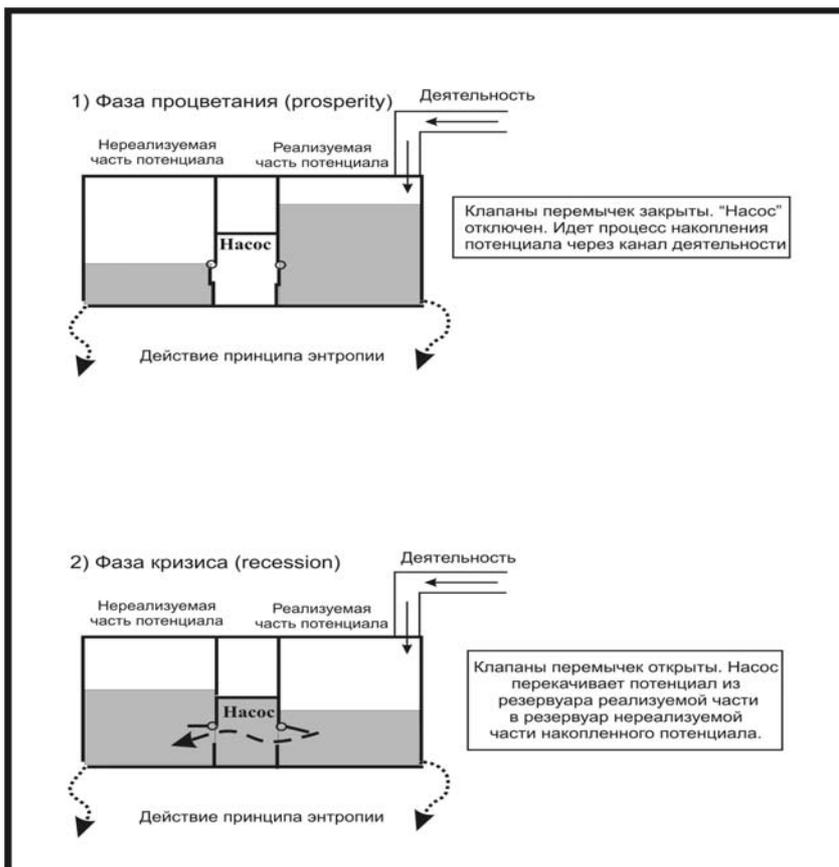


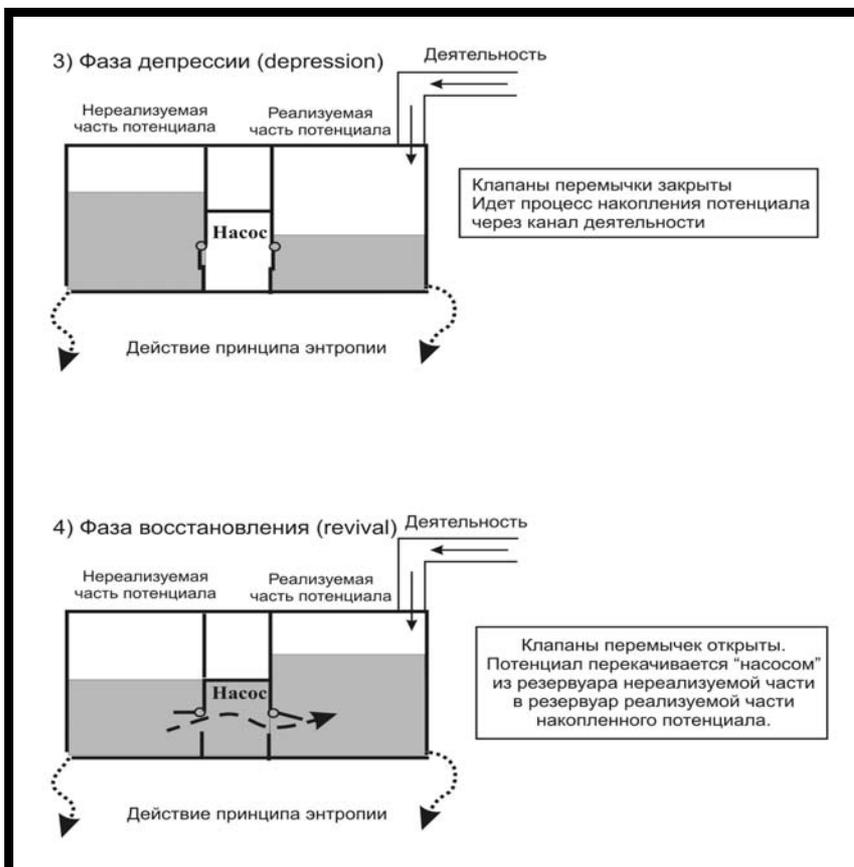
Рисунок 8. Динамика Системы.



**Рисунок 9.** Схема протекания эволюционного цикла (фазы процветания и кризиса).



**Рисунок 10.** Схема протекания эволюционного цикла (фазы депрессии и оживления).



## Список литературы.

1. **Boulding, K.E., 1981.** *Ecodynamics: A New Theory of Societal Evolution*, Sage Publications, London.
2. **Giussani, P.** Capitale Fisso e Giruismo, <http://www.countdownnet.info/archivio/analisi/altro/326.pdf>
3. **Kaldor, N., 1940.** *A Model of the Trade Cycle*. In: *Economic Journal*, 50, 78-92.
4. **Малинецкий Г.Г., Потапов, А.Б., 1998.** *Русла и джокеры: о новых методах прогноза поведения сложных систем*, ИПМ им. Келдыша, препринт № 32.
5. **Mitchell, W. C., 1927.** *Business Cycles. The Problems and Its Setting*, The National Bureau of Economic Research: New York.
6. **Pushnoi, G. 2003.** *Dynamics of a system as a process of realization of its "potential"*. The 21st International Conference of the System Dynamics Society, Proceedings, No.56, New York.
7. **Пушной, Г.С., 2004.**; *О применении Метода Системного Потенциала в исследовании эволюции Экономической Системы*, Доклад к Второй Интернет Конференции по Эволюционной Экономике и Эконофизике, организованной Международным Институтом Богданова; 01.11.04 – 14.11.04. <http://www.ephes.ru/articl/content/article.php?art=2pushnoigs.htm>
8. **Пушной, Г.С., 2004.** , *Модель бизнес цикла на основе Метода Системного Потенциала*, Доклад к Второй Интернет Конференции по Эволюционной Экономике и Эконофизике, организованной Международным Институтом Богданова; 01.11.04 – 14.11.04. <http://www.ephes.ru/articl/content/article.php?art=2pushnoigs2.htm>
9. **Пушной, Г.С., 2005.** *Динамика Экономической Системы в коротком и длинном периоде, согласно Методу Системного Потенциала*, Доклад к Третьей Интернет Конференции по Эволюционной Экономике и Эконофизике, организованной Международным Институтом Богданова; 01.11.04 – 14.11.04. <http://www.ephes.ru/articl/content/article.php?art=3pushnoi.htm>
10. **Solow, R.M., 1957.** *Technical Change and production function*, *The Review of Economics and Statistics*, V.39, No.3.
11. **Hawking, S.W., 1988.** *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes*, Bantam Books, New York.