

Динамика системы как процесс реализации ее «потенциала».

I. Введение.

При описании систем, вне зависимости от их специфических свойств в том или ином конкретном случае, мы представляем их как множество взаимосвязанных частей, аспектов, параметров, процессов, стадий и т.п., влияющих друг на друга. Назовем эти составные части системы «составляющими». Системный подход означает, что исследуемый объект рассматривается как одно целое, в котором каждая составляющая действует на другие составляющие, и сама обратно подвергается прямому и не прямому влиянию. Это взаимодействие может происходить в форме мгновенного влияния составляющих системы друг на друга и тогда соответствующая взаимозависимость описывается алгебраическими или дифференциальными уравнениями. Однако, если существует временная задержка между действием одной составляющей на другую и обратной реакцией на это влияние, тогда взаимодействие описывается разностными уравнениями.

Таким образом, существование обратных связей (feedbacks) между составляющими системы описывается с помощью дифференциальных, алгебраических или разностных уравнений. Мы можем утверждать и обратное:

Если уравнения динамики системы содержат величины, отвечающие разным составляющим системы, то наличие таких математических зависимостей между этими величинами (алгебраические, дифференциальные или разностные уравнения) предполагает наличие обратной связи между соответствующими «составляющими» системы.

Предложенный ниже способ описания систем можно отнести к разряду методов «системной динамики», так как основные системные переменные связаны системой дифференциальных уравнений. Однако, наш подход имеет одно отличие от обычно рассматриваемых моделей этого типа. Различие в следующем: введенные величины, характеризующие развитие системы, не являются непосредственно наблюдаемыми величинами. Их можно истолковать, как показатели, которые описывают основное направление и тенденции развития системы в целом. Наш подход можно поэтому назвать абстрактным подходом, так как он применим к описанию большинства систем, спонтанно возникающих в природе и обществе¹, вне зависимости от их конкретных черт и структуры. В терминах этого подхода обратная связь между «составляющими» конкретной

¹ Примерами таких систем являются живые существа (“living systems”) а также системы безличного типа, такие как экономика, общество, этнос и т.д. Все эти системы сходны тем, что все они возникли естественным образом в ходе эволюционного процесса – и это обстоятельство, одинаковое для всех таких систем, отразилось как наличие у них одинаковых глубинных структурных свойств и некоторых универсальных механизмов, которыми регулируется изменение этих общих фундаментальных структурных свойств: механизма адаптации и энтропии. Развитие таких систем можно рассматривать как постоянную борьбу с действием принципа энтропии через процессы деятельности.

системы математически описывается как совпадение областей определения абстрактных величин и взаимосвязь этих величин через систему дифференциальных уравнений. Эти величины, являющиеся абстрактными показателями состояния рассматриваемой системы, мы назвали «потенциалом системы» и «условиями реализации этого потенциала».

Говоря о состоянии системы, мы часто используем термины: «потенциал системы» и «условия реализации (высвобождения!) этого потенциала». Анализируя, например, динамику разных систем, часто говорят, что «потенциал» одной системы больше, чем другой или сравнивают «условия реализации потенциала» в разных системах. Такой способ рассуждений неявно предполагает, что: 1) «потенциал» и «условия реализации» можно рассматривать как некоторые численнозначные величины, 2) эти величины характеризуют состояние системы на предельно абстрактном уровне, 3) эти величины могут быть найдены с помощью некоторой процедуры обработки информации о системе.

Встает вопрос: можно ли построить модель развития системы, опирающуюся исключительно только на эти две абстрактные величины? Это и есть то, что мы попытались сделать в этой статье. Нам не удалось найти, предпринимал ли кто-нибудь такую попытку прежде. Наш подход должен выявить именно те закономерности работы системы, которые могут быть найдены только на таком абстрактном уровне.

Известно, что термины «потенциал» и «условия реализации» есть категории диалектической логики и связаны друг с другом сложной системой взаимоотношений [2], [4]. Мы попытались описать эту логическую взаимосвязь, используя математические методы. Далее мы постулируем некоторые утверждения, которые выражают смысл вводимых терминов.

Утверждение 1. Пусть F есть «потенциал», U - «условия реализации потенциала», $\{q_1, q_2, \dots, q_N\}$ - множество регистрируемых параметров системы, которые влияют на абстрактные величины F и U . Исходя из смысла вводимых терминов, всякое изменение в «условиях» влечет изменение «потенциала», то есть величины F и U взаимосвязаны. Не может быть ситуации, когда одна из величин меняется, тогда, как другая остается неизменной.² Эта взаимосвязь величин F и U означает, что нет параметров, которые влияли бы только на какую-либо одну из этих двух абстрактных величин (F или U). Это логическое предположение можно формализовать в виде следующего утверждения:

$$\begin{aligned} &\text{Абстрактные величины } F \text{ и } U \text{ есть функции параметров } \{q_1, q_2, \dots, q_N\}: \\ &U = U(q_1, q_2, \dots, q_N); \quad F = F(q_1, q_2, \dots, q_N). \end{aligned} \quad (\text{A})$$

² Когда писалась эта статья (2003 год), Метод Системного Потенциала (МСП) только разрабатывался. Само название – МСП возникло позднее. Многие логические звенья еще только «нащупывались». Более поздние исследования показали, что некоторые положения, высказанные в данной статье, требуют фиксации той области, внутри которой они справедливы. Утверждение 1 выполняется лишь для таких систем, в которых адаптивная деятельность является источником прироста и «потенциала» и «условий реализации». Мы называем эволюцию таких систем – «нормальной эволюцией». Но возможны, конечно, и другие ситуации – 1) системы, деятельность которых наращивает «потенциал», но не ведет к росту «условий» (например, творчество Ван-Гога), 2) системы, деятельность которых ведет к росту «условий», но не дает роста «потенциала» (например, работа паразитирующих организаций, финансируемых из казны или карманов слишком доверчивых граждан – клуб «пенкоснимателей» у Салтыкова-Щедрина), 3) системы, деятельность которых не дает прироста ни «условий», ни «потенциала» - такой вариант тоже возможен.

Совпадение областей определения этих функций является математическим выражением взаимозависимости соответствующих терминов.

Утверждение 2. Регистрируемые параметры – это те данные о системе, которыми мы располагаем.³ Например, рассматривая фирму как некоторую систему, мы выделяем такие, например, параметры этой системы как число работников, активы компании, объем операций, размер внешнего долга и т.п. Каждый из этих параметров некоторым образом влияет на величину «потенциала» фирмы и «условий реализации» в ней. Это влияние может быть положительным, если рост параметров приводит к росту F и (или) U , однако, оно может быть и отрицательным, если рост параметра сопровождается уменьшением F и (или) U . В приведенном выше примере «потенциал» фирмы растет с ростом активов компании, но увеличение внешнего долга понижает этот «потенциал». Можно задать вопрос: всегда ли рост активов означает увеличение «потенциала», а увеличение внешнего долга – уменьшение «потенциала»? Мы склонны ответить на этот вопрос утвердительно: да, это всегда так, за исключением некоторых нестандартных ситуаций. Это утверждение справедливо и для других параметров – каждый из них влияет на величины F and U строго определенным способом, увеличивая либо уменьшая их.

Математическим выражением этого факта является монотонность функций $U = U(q_1, q_2, \dots, q_N)$ и $F = F(q_1, q_2, \dots, q_N)$ по каждому аргументу. (В)

Утверждение 3. «Потенциал» можно представить любой функцией от регистрируемых параметров, которая правильно показывает способ влияния этих параметров на величину «потенциала». Рассмотрим пространство этих регистрируемых параметров $\{q_1, q_2, \dots, q_N\}$. Поверхности фиксированного «потенциала» (эквипотенциальные поверхности) задаются уравнениями $F(q_1, q_2, \dots, q_N) = Const$. Эти уравнения математически выражают способ влияния отдельных параметров на величину «потенциала». Они описывают механизм, посредством которого влияние на «потенциал» одного параметра может быть компенсировано влиянием других, оставляя величину «потенциала» неизменной. Вот почему уравнение $F(q_1, q_2, \dots, q_N) = Const$ указывает на способ связи абстрактной величины F с регистрируемыми параметрами системы. Однако, численное значение величины F может быть разным. Важно лишь, чтобы оно было одним и тем же во всех точках поверхности $F(q_1, q_2, \dots, q_N) = Const$. Пусть $F(q_1, q_2, \dots, q_N)$ – функция, правильно показывающая влияние регистрируемых параметров на величину «потенциала». Тогда любая не убывающая функция $\Psi(F)$ будет обладать тем же свойством. По этой причине выбор функции, которая является математическим выражением «потенциала», не однозначен.

Это значит, что переход от регистрируемых параметров системы к абстрактной величине F определен лишь с точностью до функционального преобразования $F \Rightarrow \Psi(F)$, где $\Psi(F)$ произвольная не убывающая функция от F . (С)

³ Регистрируемыми параметрами здесь названы агрегированные статистические показатели, характеризующие развитие системы как единого целого. Для экономики – это такие величины как валовой выпуск, конечный продукт, размер основного капитала, уровень занятости, capacity utilization (отношение актуального выпуска к потенциальному, который мог бы быть произведен при полном использовании всех факторов производства) и т.д.

Эта неоднозначность позволяет выбрать функцию $F(q_1, q_2, \dots, q_N)$ так, чтобы максимально упростить функциональную зависимость. Рассмотрим, например, систему, описываемую параметрами q_1 и q_2 . Пусть «потенциал» системы есть строго возрастающая функция от этих параметров. Предположим, что влияние на величину «потенциала», вызванное уменьшением одного параметра, может быть скомпенсировано утроением второго параметра. Очевидно, что любая не убывающая функция от аргумента $Q \equiv q_1 \cdot q_2^{\log_3 2}$ может быть взята в качестве «потенциала». Это может быть, например, функция Q^n ($n > 0$) или a^Q ($a > 0$). Однако, более удобно взять простейший вид функциональной зависимости, $F(Q) = Q$. Выбор произволен и определяется соображениями упрощения вычислений.

После того как мы определили вид функции $F(q_1, q_2, \dots, q_N)$, мы должны выбрать единицу измерения «потенциала». Линейное преобразование не меняет тип функциональной зависимости. Выберем линейное преобразование $\Psi(F) = \mu \cdot F$ так, чтобы при $q_1 = q_2 = \dots = q_N = 1$ «потенциал» был бы равен единице:

$$\tilde{F}(q_1 = 1; q_2 = 1; \dots; q_N = 1) \equiv \Psi(F) \equiv \mu \cdot F(q_1 = 1; q_2 = 1; \dots; q_N = 1) = 1.$$

Таким способом мы зададим единицу измерения «потенциала»⁴.

«Условия» и «потенциал» взаимосвязаны и, как мы покажем ниже, эта связь описывается математически дифференциальными уравнениями. Поэтому, задавая форму функциональной зависимости и единицу измерения «потенциала», мы также задаем форму функциональной зависимости и единицу измерения «условий». Это значит, что условие $F(q_1 = 1, q_2 = 1, \dots, q_N = 1) = 1$, которое позволяет определить единицу измерения «потенциала», является также условием задания единицы измерения «условий реализации».⁵

Утверждение 4. Введем новое важное понятие. В зависимости от величины «условий» в данный момент, «потенциал системы» реализуется либо полностью, либо частично. Реализуемую в единицу времени часть «потенциала» обозначим как F_R .

Назовем «коэффициентом реализации» следующее отношение⁶:

⁴ Потенциал системы можно определить как величину максимально возможной деятельности системы при данном состоянии системы, а максимально возможная деятельность является некоторой функцией от показателей, характеризующих систему. В экономике деятельностью системы является процесс производства. От величины деятельности зависит выпуск конечного продукта. Максимально возможную деятельность экономической системы (потенциал экономической системы) можно связать с максимально возможным выпуском конечного продукта. Максимально возможный выпуск зависит от имеющихся ресурсов: труда, капитала, сырья, энергетических ресурсов, технологий, инфраструктуры. Эта зависимость описывается производственной функцией. За единицу «потенциала» экономической системы можно взять единичный выпуск конечного продукта. Взяв за единицу факторов те количества, которые используются при выпуске максимально возможного единичного конечного продукта, приходим к определению единичного «потенциала» в данной статье.

⁵ В экономической системе эта взаимозависимость единиц измерения «потенциала» и «условий» связана с тем, что агрегированные показатели, характеризующие экономическую систему: максимально возможный выпуск и запасы основного капитала – связаны функциональной зависимостью (производственная функция), причем первый показатель характеризует «потенциал системы», второй – «условия реализации» в ней.

⁶ Это отношение показывает, какая доля накопленного «потенциала» используется системой в ее деятельности. Поэтому эту величину можно также называть «эффективностью работы системы».

$$k = \frac{F_R}{F}. \quad (1)$$

Сделаем некоторые разъяснения по поводу этого определения. Назовем процесс реализации системного «потенциала» «деятельностью» системы. «Деятельность» есть способ проявления и форма существования реализуемого «потенциала». Реализуемый «потенциал» проявляет себя через «деятельность» и существует актуально только через процесс деятельности. Мы судим о величине реализуемого «потенциала» по его проявлению через «деятельность»⁷. Например, «деятельность предприятия» есть процесс полезного функционирования его составных частей и складывается из труда рабочих, трудовая деятельность, эффективной работы производственного оборудования, управленческой деятельности администрации и т.д. Деятельность может быть более или менее интенсивной, в зависимости от «условий» ее эффективной реализации. Это позволяет уточнить смысл определения (1). Коэффициент реализации показывает, какая часть потенциальной деятельности представлена посредством ее реализуемой части. Если мы обозначим «деятельность», реализуемую за время Δt как $A_R(\Delta t)$, а максимально возможную «деятельность», которая могла бы быть реализована за это время, через $A(\Delta t)$, то «коэффициент реализации» будет равен:

$$k = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{A_R(\Delta t)}{A(\Delta t)}. \quad (1^*)$$

Формулы (1) и (1*) тождественно совпадают, если положить $F_R = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{A_R(\Delta t)}{\Delta t}$ и $F = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{A(\Delta t)}{\Delta t}$. По этой причине «потенциал» можно определить как интенсивность «деятельности» или, что то же самое, как величину деятельности, которая реально реализуется (F_R) или может быть реализована (F) в единицу времени.

Исходя из смысла введенных терминов, мы можем постулировать, что «коэффициент реализации» есть функция от «потенциала» и «условий реализации».

То есть, «коэффициента реализации» зависит от параметров $\{q_1, q_2, \dots, q_N\}$ следующим образом:

$$k(q_1, q_2, \dots, q_N) = k(U(q_1, q_2, \dots, q_N), F(q_1, q_2, \dots, q_N)). \quad (D)$$

⁷ Согласно МСП любая деятельность системы является процессом адаптации. Это, конечно, упрощение реальной ситуации, поскольку, мы знаем, что сложные системы, спонтанно возникающие в ходе эволюции, например “living systems”, могут демонстрировать и анти-адаптивную деятельность (например, суицид).

Мы постулируем также следующие свойства этой функции, которые отражают логическую взаимосвязь введенных терминов⁸:

1. При каждом значении «потенциала» существует такое «оптимальное» количество «условий», при которых «потенциал» реализуется полностью. То есть:

$$\forall F, \exists U_0: k(F, U_0) = 1. \quad (1.1)$$

2. Чем больше «потенциал» системы, тем больше «условий» нужно для его полной реализации, то есть $U_0(F)$ - строго возрастающая функция. (1.2)

$$3. \text{ При } U \neq U_0; 0 < k(U, F) < 1. \quad (1.3)$$

4. При $U \rightarrow 0; k(U, F) \rightarrow 0$, поскольку для реализации «потенциала» необходимы не нулевые «условия реализации». (1.4)

5. Если количество «условий» превышает «оптимальное» количество, U_0 , «потенциал» системы реализуется лишь частично. При $U \rightarrow \infty; k(U, F) \rightarrow m$; где m минимальное значение, до которого может упасть «коэффициент реализации» при избытке «условий» в системе. (1.5)

Утверждение 5. Динамика «потенциала» удовлетворяет следующим свойствам.

Процесс реализации «потенциала» ведет к росту реализуемых «потенций» системы и к уменьшению не реализуемых «потенций» системы⁹. (Е)

Этот закон, например, регулирует развитие способностей живых существ: способности, которые используются, растут, те, которые не используются, - атрофируются со временем. Другой пример: компания, которая активно действует, растет и развивается, компания, которая бездействует, распадается. Этот простой принцип выражает самую сущность жизни: растет лишь то, что способно к росту.

⁸ Перечисленные ниже предположения о связи «условий», «потенциала» и «коэффициента реализации» опираются лишь на интуитивные догадки. Более поздние исследования показали, что в случае постоянных значений параметров системы не все из этих утверждений выполняются. Однако качественно характер зависимости описан правильно: выполняются условия (1.1) – (1.3) и (1.5). Хотя эффективность системы с постоянными параметрами и не обращается в ноль при нулевых «условиях», то есть не выполняется (1.4), этот результат, может быть, свидетельствует лишь о том, что при малых «условиях» параметры системы уже нельзя считать постоянными величинами. Другие свойства зависимости $k(U; F)$ в случае постоянных параметров системы,

такие, например, как многозначность отображения $\frac{U}{F} \rightarrow k(U; F)$ или ограниченность сверху

области определения функции $k\left(\frac{U}{F}\right)$ при некоторых соотношениях параметров – эти свойства нельзя было, конечно, увидеть до того, как основные утверждения были переведены на язык математических формул.

⁹ Позднее это утверждение было названо принципом адаптации. Очевидно, что сохранение и наращивание полезных свойств системы (рост реализуемых «потенций») и избавление от бесполезных (уменьшение нереализуемых «потенций») – это две стороны адаптационных процессов. Избавление от «бесполезных потенциалов» можно рассматривать как естественный процесс деградации тех свойств, которые более не нужны. Этот процесс постепенного отмирания бесполезных свойств системы можно интерпретировать как одно из проявлений принципа энтропии.

Введем следующие обозначения:

$$\dot{U}(t) \equiv \frac{dU}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta U}{\Delta t}; \quad \dot{F}(t) \equiv \frac{dF}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta t}.$$

Пусть ΔF - изменение величины «потенциала» за время Δt . Эта величина состоит из прироста реализованных потенциалов ΔF_+ и уменьшения нереализованных потенциалов ΔF_- . Обозначим мгновенный прирост (в единицу времени) реализуемых потенциалов системы как $\dot{F}_+ \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta F_+}{\Delta t}$, и мгновенное уменьшение (в единицу времени) нереализованных потенциалов как $\dot{F}_- \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta F_-}{\Delta t}$ (обе величины положительны!). Тогда полное изменение величины «потенциала» в единицу времени равно:

$$\dot{F} = \dot{F}_+ - \dot{F}_- \quad (2)$$

Очевидно, что чем больше реализованных потенциалов, тем больше прирост «потенциала», то есть величина $\dot{F}_+$ - строго возрастающая функция от величины реализованного «потенциала»¹⁰. И наоборот, чем больше нереализованная часть «потенциала», тем больше убывание этой части в единицу времени¹¹, $\dot{F}_-$. Ограничимся рассмотрением простейшего случая линейной¹² зависимости для функций $\dot{F}_+(F_R)$ и $\dot{F}_-(F - F_R)$. Тогда:

$$\dot{F} = \gamma_R \cdot F_R - \gamma_D \cdot (F - F_R); \quad (3)$$

$$\gamma_R > 0; \quad \gamma_D > 0. \quad (4)$$

$$\text{Пусть } a \equiv \gamma_D; \quad b \equiv 1 + \frac{\gamma_R}{\gamma_D}. \quad (5)$$

¹⁰ Предположение о прямой зависимости между величиной реализуемой части «потенциала» и величиной деятельности системы – один из краеугольных камней МСП. Это предположение существенно для понимания особенностей динамики систем, описываемых МСП. Оно означает, что в системе есть положительная обратная связь (reinforcing feedback process): «реализуемый потенциал» → «деятельность» → прирост «реализуемой части потенциала».

¹¹ Это утверждение есть следствие использования экспоненциальной зависимости для процесса постепенного разрушения тех свойств системы, которые она не использует в своей деятельности. Постепенное разрушение бесполезных свойств системы связано с действием принципа энтропии и математически описывается законом радиоактивного распада.

¹² Во время написания этой статьи уравнение Якоби, описывающее зависимость показателя эффективности системы от оснащенности (отношения $\frac{U}{F}$) при постоянных значениях параметров

системы, еще не было выведено. Точный вид зависимости $k\left(\frac{U}{F}\right)$ не был известен. Поэтому все

исследование велось в предположении, что эта функция удовлетворяет свойствам (1.1) – (1.5), хотя не все эти свойства выполняются в случае постоянных параметров (сноска 9). Строго говоря, в линейном приближении (при постоянных параметрах системы) следовало брать функцию, являющуюся решением уравнения Якоби и проводить графический анализ (см. ниже) с использованием именно этой функции. Однако эта неточность не влияет на конечные выводы, сделанные в данной статье – основные рассуждения о том как эволюционирует система, определение вариантов, областей и способов развития – все это остается в силе, хотя сами приведенные в данной статье графики содержат в себе противоречие, поскольку условие постоянства параметров несовместимо с рассмотренным в этой статье видом функции $k\left(\frac{U}{F}\right)$.

Подставив (1) в (3), получаем **уравнение динамики «потенциала» в линейном приближении:**

$$\dot{F} = a \cdot (b \cdot k(U, F) - 1) \cdot F. \quad (6)$$

Утверждение 6. Количество «условий» в системе меняется в результате следующих двух причин:

- 1) *Процесс реализации «потенциала» есть процесс потребления имеющихся «условий» и одновременно процесс создания новых «условий».*
- 2) *Если «потенциал» системы не реализуется, количество «условий» в системе уменьшается.* (F)

Последнее утверждение связано с действием универсального физического принципа увеличения энтропии систем, в которых действуют только силы природы. Рост энтропии, как хорошо известно, означает понижение уровня упорядочения и организации системы, предоставленной самой себе. Этот процесс уменьшения «условий», вследствие действия принципа энтропии, того же типа процесс, как, например, разрушение заброшенных зданий, зарастанию сорняками не возделываемых полей и т.д.

Пусть ΔU - изменение величины «условий» за время Δt . Это приращение состоит из двух частей: изменение вследствие процесса реализации (создание минус потребление, $\Delta U_+ - \Delta U_-$) и изменение вследствие роста энтропии. Рассмотрим первую часть. Чем больше реализуемый в единицу времени «потенциал», тем, очевидно, больше будет создание ($\dot{U}_+ \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta U_+}{\Delta t}$) и потребление ($\dot{U}_- \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta U_-}{\Delta t}$) условий в единицу времени. Полагая опять линейность соотношений, получаем первую часть уравнения для «условий»:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_+ - \dot{U}_- = x \cdot F_R - y \cdot F_R = v \cdot k(U, F) \cdot F; \quad (7)$$

$$v = x - y; \quad (8)$$

$$x > 0; y > 0. \quad (8.1)$$

Вторая часть этого уравнения описывает уменьшение условий вследствие процессов дезорганизации системы. Чем больше имеется «условий», тем большие потери их происходят в единицу времени. Ограничиваясь опять случаем линейной зависимости, получаем:

$$\dot{U}_{II} = -\lambda \cdot U; \quad (9)$$

$$\lambda > 0. \quad (9.1)$$

Складывая (7) и (9) получаем **уравнение динамики для «условий» в линейном приближении:**

$$\dot{U} = v \cdot k(U, F) \cdot F - \lambda \cdot U \quad (10)$$

Уравнения (6) и (10) описывают эволюцию системы как процесс изменения ее «потенциала» и «условий реализации»¹³. Назовем их

¹³ На самом деле есть три уравнения: 1) уравнение для реализуемой части потенциала – усиление через петлю положительной обратной связи, $\dot{F}_R = \gamma_R \cdot F_R$, 2) уравнение для потенциала (6) и 3) уравнение для условий (10). Эти три уравнения можно переписать в следующей форме:

эволюционными уравнениями. Это нелинейные первого порядка обыкновенные дифференциальные уравнения, содержащие неизвестную функцию – «коэффициент реализации», которая обладает известными функциональными свойствами (1.1)-(1.5). Эта функция показывает, как конкретная система реагирует на недостаток или избыток «условий» в ней. Вследствие присутствия в эволюционных уравнениях этой неизвестной функции, нельзя дать строгое аналитическое решение этой системы уравнений¹⁴. Однако, зная функциональные свойства этой функции, можно проанализировать качественно характерные свойства решений. Результаты анализа приводят к нескольким интересным выводам:

1. Из уравнений (6) и (10) следует, что «коэффициент реализации» не зависит от выбора единиц измерения величин F и U . Рассмотрим масштабное преобразование функций F и U ($F \Rightarrow \mu \cdot F$; $U \Rightarrow \mu \cdot U$), описывающее изменение единиц измерения «потенциала» и «условий». Левые части уравнений (6) и (10) преобразуются следующим образом: $\dot{F} \Rightarrow \mu \cdot \dot{F}$ и $\dot{U} \Rightarrow \mu \cdot \dot{U}$, что возможно, только если «коэффициент реализации» не зависит от μ .

Это означает, что «коэффициент реализации» есть функция от отношения «условий» к «потенциалу»:

$$k(U, F) \equiv k\left(\frac{U}{F}\right) \equiv k(Y). \quad (G)$$

2. Можно построить классификацию возможных «вариантов развития» системы. Классификация показывает характер изменения (рост или уменьшение) трех абстрактных характеристик системы: «потенциала», «условий» и отношения «условий» к «потенциалу»¹⁵. 1) Рост либо убывание «потенциала» свидетельствует о «прогнесе» либо «регрессе» в развитии системы. 2) Рост либо убывание «условий» характеризует «эффективность развития» (развитие «эффективно», если реализация «потенциала» не ведет к уменьшению «условий» в системе). 3) Отношение «условий» к «потенциалу» характеризует степень обеспеченности системы «условиями» (количество «условий», приходящихся на единичный «потенциал»). Если эта величина не уменьшается, назовем такое развитие «интенсивным». Так, например, развитие с растущими «потенциалом» и «условиями», но с убывающим значением «условий», приходящихся на единичный «потенциал», можно классифицировать как «эффективный экстенсивный прогресс». В данной классификации возможны 6 «вариантов развития». «Эффективный экстенсивный регресс» также как «неэффективный интенсивный прогресс» невозможны, вследствие математической связи параметров, положенных в основу классификации. Таблица 1 содержит перечень всех возможных «вариантов развития».

$$\dot{F}_R = \chi_R \cdot F_R;$$

$$\dot{F} + d \cdot F = (\tilde{a} + d) \cdot k(U; F) \cdot F;$$

$$\dot{U} + \lambda \cdot U = \nu \cdot k(U; F) \cdot F.$$

Здесь введены обозначения: $\gamma_D \equiv d$, $\gamma_R \equiv \tilde{a}$.

¹⁴ Позднее было получено точное решение этих уравнений при постоянных значениях параметров.

¹⁵ Эта величина позднее была названа «оснащенностью» системы.

3. Уравнения (6) и (10) содержат параметры $a; b; v; \lambda$, характеризующие абстрактные свойства системы. Анализ уравнений показывает, что при одних и тех же значениях этих параметров, как правило, возможны разные «способы развития» системы. Другими словами, задание этих параметров не равносильно заданию свойств динамики системы. Кроме этих параметров, «способ развития» системы зависит также от отношения величины «условий» к величине «потенциала» в начальный момент времени. Одна и та же система может развиваться по варианту «эффективного прогресса» либо по варианту «неэффективного регресса» в зависимости от величины «условий», приходившихся на единичный «потенциал» в начальный момент времени.

4. В зависимости от выполнения ряда соотношений между параметрами $a; b; v; \lambda$ и m (1.5.) и выбора функции $k(U, F)$, все системы можно разделить на несколько групп (или «типов») с идентичными свойствами развития. Классификация систем, построенная на основе такого деления их на группы с идентичными свойствами, обсуждается в **Сл. IV. Рисунки 8.1-8.9** иллюстрируют некоторые интересные свойства развития систем разного типа.

5. Можно ввести понятие «области развития» - области допустимых значений величины отношения «условий» к «потенциалу». Обычно для каждого «типа» систем существует несколько «областей развития», и система развивается внутри той «области», в которой она находилась в начальный момент времени.

6. Рассмотрим следующий простой пример. Пусть q_1 и q_2 - параметры «составляющих» конкретной системы. Рассмотрим случай взаимодействия «составляющих» в форме мгновенного влияния этих «составляющих» друг на друга. Наличие обратной связи (feedback) между «составляющими» означает что:

1) Существуют соотношения $q_1 = Q_1(q_2; \vec{p})$ и $q_2 = Q_2(q_1; \vec{p})$, где $\vec{p}$ - вектор других параметров этой системы;

2) Функции $q_1 = Q_1(Q_2(q_1; \vec{p}); \vec{p}) = \tilde{Q}_1(q_1)$ и $q_2 = Q_2(Q_1(q_2; \vec{p}); \vec{p}) = \tilde{Q}_2(q_2)$ не являются тождественными функциями.

Пусть взаимосвязь $U = \Phi(F)$ выведена с помощью уравнений (6) и (10). Пусть соотношение $q_1 = Q_1(q_2; U)$ выведено на основе зависимости $U = U(q_1, q_2)$, а соотношение $q_2 = Q_2(q_1; F)$ выведено на основе зависимости $F = F(q_1, q_2)$. Если $U(q_1; q_2)$ и $\tilde{U}(q_1; q_2) \equiv \Phi(F(q_1; q_2))$ - разные функции, тогда формулы $q_1 = Q_1(Q_2(q_1; F); U)$ и $q_2 = Q_2(Q_1(q_2; U); F)$ - не являются тождествами и, следовательно, между «составляющими» системы существует обратная связь (feedback).

В общем случае, в терминах нашего подхода наличие обратной связи между «составляющими», q_i и q_k , математически выражается посредством следующих двух утверждений:

1) Абстрактные величины U и F есть функции от параметров q_i и q_k ;

2) Определитель Якоби матрицы:
$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial U}{\partial q_i} & \frac{\partial U}{\partial q_k} \\ \frac{\partial F}{\partial q_i} & \frac{\partial F}{\partial q_k} \end{Bmatrix}$$
 не равен нулю.

Эти, также как и многие другие интересные особенности динамики системы удобно иллюстрировать, используя графики на плоскости (U, F) («потенциал» (ось абсцисс) – «условия» (ось ординат)). Развитие системы изображается кривой эволюции, $(U(t), F(t))$, каждая точка которой соответствует состоянию системы в некоторый момент времени¹⁶ (смотри, например, **Рис. 8.1-8.9**).

II. Анализ решений «уравнений эволюции».

Введем величину:

$$y \equiv \frac{U}{F}. \quad (11)$$

Используя утверждение **(F)** и «уравнения эволюции» 6) и (10), получаем следующее уравнение относительно переменной y :

$$\frac{\dot{y}}{y} \equiv \frac{\dot{U}}{U} - \frac{\dot{F}}{F} = k(y) \cdot \left(\frac{v}{y} - a \cdot b \right) + (a - \lambda). \quad (12)$$

Решение этого уравнения следующее:

$$\int \frac{dy}{\left(\frac{v - aby}{a - \lambda} \right) \cdot k(y) + y} = Const_1 + (a - \lambda) \cdot t. \quad (13)$$

Уравнения для функций $U(y)$ и $F(y)$ можно проинтегрировать следующим образом:

$$LnU(y) + Const_2 = \int \frac{\left[v \cdot \frac{k(y)}{y} - \lambda \right] \cdot dy}{(v - aby) \cdot k(y) + (a - \lambda) \cdot y}; \quad (14)$$

$$LnF(y) + Const_2 = \int \frac{[b \cdot k(y) - 1] \cdot a \cdot dy}{(v - aby) \cdot k(y) + (a - \lambda) \cdot y}. \quad (15)$$

Константа в формулах (14) и (15) определяется начальными условиями системы.

Введем следующие вспомогательные функции:

$$P_Y(y) \equiv (v - aby) \cdot k(y) + (a - \lambda) \cdot y; \quad (16)$$

$$P_F(y) \equiv b \cdot k(y) - 1; \quad (17)$$

$$P_U(y) \equiv v \cdot \frac{k(y)}{y} - \lambda. \quad (18)$$

¹⁶ Состояние задается тремя независимыми системными переменными. Неточность в этом месте связана с тем, что уравнение реализуемой части потенциала не было выделено явно. Вследствие этого были выведены лишь два уравнения (6) и (10) для трех неизвестных $U; F; k$.

Используя эти функции, можно переписать «уравнения эволюции» и уравнение (12) следующим образом:

$$\dot{F} = a \cdot P_F(y) \cdot F; \quad (6.1)$$

$$\dot{U} = P_U(y) \cdot U; \quad (10.1)$$

$$\dot{y} = P_Y(y). \quad (12.1)$$

Очевидно, что функции $\dot{F}(t)$ и $P_F(y)$, $\dot{U}(t)$ и $P_U(y)$, $\dot{y}(t)$ и $P_Y(y)$ имеют одинаковый знак (положительный или отрицательный).

Не трудно видеть, что:

$$P_Y(y) \equiv y \cdot (P_U(y) - a \cdot P_F(y)). \quad (19)$$

При $y \rightarrow 0$, имеем: $P_U(y) - a \cdot P_F(y) \rightarrow a - \lambda + v \cdot k'(0)$.

Решение (13) – (15) можно записать в следующем виде:

$$\int \frac{(a - \lambda) \cdot dy}{P_Y(y)} = \text{Const}_1 + (a - \lambda) \cdot t \quad (20)$$

$$\text{Ln} U(y) + \text{Const}_2 = \int \frac{P_U(y) \cdot dy}{P_Y(y)} \quad (21)$$

$$\text{Ln} F(y) + \text{Const}_2 = \int \frac{P_F(y) \cdot a \cdot dy}{P_Y(y)} \quad (22)$$

Как видно из уравнения (20), при $t \rightarrow \pm\infty$, имеем $y \rightarrow y_Y^{(i)}$, где $y_Y^{(i)}$ - корень уравнения: $P_Y(y) \equiv y \cdot (P_U(y) - a \cdot P_F(y)) = 0$. (23)

Если $k'(0) \equiv \lim_{y \rightarrow 0} k'(y) \neq \infty$, то $y = 0$ - корень уравнения (23). Остальные корни уравнения (23) удовлетворяют соотношению:

$$k(y) = \frac{(a - \lambda) \cdot y}{aby - v} \quad (24)$$

Пусть $y_Y^{(0)} = 0 < y_Y^{(1)} < y_Y^{(2)} < \dots < y_Y^{(M)}$ - корни уравнения (23), а $y(0)$ - отношение величины «условий» к величине «потенциала» в начальный момент времени. Из уравнения (20) следует, что вся история развития системы происходит внутри области: $y_Y^{(i-1)} < y < y_Y^{(i)}$, где $y_Y^{(i-1)}$ и $y_Y^{(i)}$ - два корня уравнения (23), ближайшие к значению $y(0)$: $y_Y^{(i-1)} < y(0) < y_Y^{(i)}$. Назовем эти области: $y_Y^{(i-1)} < y < y_Y^{(i)}$; $i = 1, 2, \dots, M$ «областями развития» системы. (Рис.5).

Каждая «область развития» является сектором плоскости (U, F) , ограниченным прямыми $U_{i-1}(F) = y_Y^{(i-1)} \cdot F$ и $U_i(F) = y_Y^{(i)} \cdot F$. Так как «области развития» - это области, внутри которых знак функции $P_Y(y)$ не меняется, то и свойства монотонности функции $y(t)$ внутри «области развития» не могут измениться (формула (12.1)): функция $y(t)$ либо растет, либо убывает во всей «области развития». Эволюционные кривые $(U(t), F(t))$ каждой «области развития»

направлены от одной границы к другой: либо от $U_{i-1}(F) = y_Y^{(i-1)} \cdot F$ к $U_i(F) = y_Y^{(i)} \cdot F$, либо наоборот. В первом случае отношение величины «условий» к величине «потенциала» увеличивается, стремясь к максимально возможному для данной «области» значению $y_Y^{(i)}$, во втором случае оно уменьшается, приближаясь к минимально возможному значению $y_Y^{(i-1)}$ (Рис.6-7).

Каждая «эволюционная кривая» есть решение «уравнений эволюции», (6) и (10). Эволюция не выводит систему за пределы той «области развития», в которой система находилась в начальный момент. Поскольку решения «эволюционных уравнений» (20) – (22) зависят только от переменной y и параметров $a; b; v; \lambda$, решения, принадлежащие одной и той же «области развития», отличаются лишь некоторым множителем, величина которого зависит от разности начальных значений U and F и сдвига начала отсчета времени. Характерные свойства решений для одной и той же «области развития» идентичны.

Согласно (6.1), (10.1), (12.1) все решения из данной «области развития» имеют следующие свойства идентичности: 1) каждое решение имеет одно и то же число нулей функции $\dot{F}(t)$ и одно и то же число нулей функции $\dot{U}(t)$ (либо $P_F(Y)$ и $P_U(Y)$); 2) каждое решение имеет одинаковое чередование знаков этих функций ($\dot{F}(t)$ и $\dot{U}(t)$) в областях, на которые нули этих функций разбивают «область развития» системы.

Это позволяет ввести понятие «варианта развития» как совокупности свойств монотонности функций $U(t)$, $F(t)$ и $y(t)$.

Каждый «вариант развития» характеризуется знаками трех величин: $\dot{Y}(t)$, $\dot{U}(t)$ и $\dot{F}(t)$.

Введем следующие обозначения. Рассматриваемую «область развития» обозначим как Ω_i ($y_Y^{(i-1)} < y < y_Y^{(i)}$), множество «областей развития» обозначим как $\Omega = \{\Omega_1; \dots; \Omega_M\}$, «вариант развития» с возрастающими функциями $y(t)$, $U(t)$ и $F(t)$ обозначим как $\Xi_{Y\uparrow; U\uparrow; F\uparrow} \equiv \Xi_{\uparrow\uparrow\uparrow}$ (Y - первый, U - второй и F - третий индекс во всех формулах этой статьи). История эволюции системы может состоять из нескольких «стадий», каждая из которых происходит по своему «варианту развития».

Детальное описание эволюции системы требует указания «области развития» и множества упорядоченных во времени «вариантов развития», соответствующих разным стадиям развития системы.

Например, эволюция, состоящая из двух стадий, где на первой стадии $U(t)$, $F(t)$ и $y(t)$ - возрастают, а на второй стадии $U(t)$ и $y(t)$ возрастают, тогда как $F(t)$ убывает, описывается упорядоченным (во времени) множеством, состоящим из двух «вариантов»: $\Xi_{\uparrow\uparrow\uparrow}$ и $\Xi_{\uparrow\uparrow\downarrow}$.

«Тип эволюции» задается указанием (описанием) «области развития» и упорядоченного множества «вариантов развития» в этой области.

Рассмотрим более подробно математические условия, которыми определяется «область развития» системы. Это – условия знакостояния функции $P_Y(y)$.

При $P_Y(y) > 0$, эволюционные кривые соответствующей «области развития» содержат «варианты развития» с возрастающей функцией $y(t)$: $\Xi_{\uparrow\uparrow\uparrow}$; $\Xi_{\uparrow\uparrow\downarrow}$ и $\Xi_{\uparrow\downarrow\downarrow}$. Эволюционные кривые направлены против часовой стрелки, если смотреть из начала координат плоскости (U, F) origin (**Рис.5**).

При $P_Y(y) < 0$, функция $y(t)$ убывает и эволюционные кривые направлены по часовой стрелке (**Рис.5**). В этом случае могут быть три «варианта развития»: $\Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow}$; $\Xi_{\downarrow\downarrow\downarrow}$; $\Xi_{\downarrow\uparrow\uparrow}$.

«Варианты развития»: $\Xi_{\uparrow\downarrow\uparrow}$; $\Xi_{\downarrow\uparrow\downarrow}$ - невозможны, вследствие соотношения:

$$\frac{\dot{y}}{y} \equiv \frac{\dot{U}}{U} - \frac{\dot{F}}{F}.$$

Поэтому существует ровно шесть «вариантов развития» системы: $\Xi_{\uparrow\uparrow\uparrow}$; $\Xi_{\uparrow\uparrow\downarrow}$; $\Xi_{\uparrow\downarrow\downarrow}$; $\Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow}$; $\Xi_{\downarrow\downarrow\downarrow}$; $\Xi_{\downarrow\uparrow\uparrow}$. Классификация этих «вариантов» представлена в **Таблице 1**.

Плоскость (U, F) разбивается на несколько «областей развития», каждая из которых характеризуется определенным знаком (плюс или минус) функции $P_Y(y)$. «Области», имеющие общую границу, имеют разные знаки для функции $P_Y(y)$. В «областях» с $P_Y(y) > 0$ эволюционные кривые направлены к верхней границе «области», в «областях» с $P_Y(y) < 0$ - они направлены к нижней границе «области». Поэтому границы «областей» есть те линии, к которым эволюционные кривые стягиваются либо от которых они отдаляются с течением времени. В «областях» с $P_Y(y) > 0$ верхняя граница «области» есть «линия притяжения» эволюционных кривых, а нижняя граница – «линия отталкивания» этих кривых (**Рис.7**). С течением времени все эволюционные кривые вытягиваются вдоль «линии притяжения» соответствующей «области развития», то есть вдоль некоторого определенного направления плоскости (U, F) . «Линии притяжения» и «линии отталкивания» чередуются. Каждая такая линия соответствует некоторому значению y . Значение $y_{+\infty} \equiv \lim_{t \rightarrow +\infty} y(t)$ - соответствует «линии притяжения», а значение $y_{-\infty} \equiv \lim_{t \rightarrow -\infty} y(t)$ - «линии отталкивания».

Множество систем, имеющих разные значения величины y в начальный момент времени, с течением времени трансформируется в множество с дискретным набором значений y . Следовательно, первоначально неупорядоченное (равномерное, например) распределение систем на плоскости (U, F) трансформируется со временем в упорядоченное по нескольким группам распределение. Можно рассматривать это свойство эволюции как одну из форм само упорядочения хаоса.¹⁷ Проблема самоорганизации систем в процессе

¹⁷ Это описание процесса расслоения систем на группы с определенным значением «оснащенности» не учитывает наличие циклической динамики, которая возможна в системе с постоянными параметрами. Однако эта цикличность не нарушает основного вывода о расслоении систем на группы, просто в каждой группе оснащенность может меняться циклическим образом, но сами границы, внутри которых будет меняться оснащенность, свои в каждой группе. Вместо

эволюции широко обсуждается в современной литературе, например, [3], [5]-[8], [11]. Наш подход позволяет связать самоорганизацию систем с универсальными принципами эволюции¹⁸.

Область допустимых в «области» значений y удовлетворяет одному из следующих неравенств: 1) $y_{-\infty} < y < y_{+\infty}$ для «областей» $P_Y(y) > 0$ и 2) $y_{+\infty} < y < y_{-\infty}$ для «областей» $P_Y(y) < 0$. «Области» первого типа обозначим как Ω^+ , «области» второго типа – как Ω^- . Предельные значения $y_{-\infty}$ and $y_{+\infty}$ для этих «областей» обозначим как $y_{-\infty}(\Omega^+)$; $y_{-\infty}(\Omega^-)$; $y_{+\infty}(\Omega^+)$; $y_{+\infty}(\Omega^-)$. «Области», имеющие общую границу – это «области» разного типа: Ω^+ и Ω^- . Не трудно видеть, что для общей граница двух «областей» выполняется одно из следующих равенств: 1) либо $y_{-\infty}(\Omega^+) \equiv y_{-\infty}(\Omega^-)$; 2) либо $y_{+\infty}(\Omega^+) \equiv y_{+\infty}(\Omega^-)$. В первом случае граница – есть «линия отталкивания», во втором случае она – «линия притяжения». Можно сформулировать следующее простое правило, определяющее «статус» границы между «областями».

Верхняя граница «области» Ω^- есть «линия отталкивания», а нижняя граница ее – есть «линия притяжения». И противоположное утверждение верно для «области» Ω^+ .

Пусть $\Omega = \{\Omega_1; \dots; \Omega_M\}$ – множество «областей развития» системы. Возможны два способа чередования знаков функции $P_Y(y)$:

$$1) \Omega^I = \{\Omega_1^-; \dots; \Omega_M^{(-1)^M}\} \text{ и } 2) \Omega^{II} = \{\Omega_1^+; \dots; \Omega_M^{(-1)^{M+1}}\}.$$

В первом случае выполняется неравенство $a - \lambda + v \cdot k'(0) < 0$. Во втором случае знак этого неравенства противоположный.

Границы «областей развития» являются корнями уравнения:

$$P_Y(y) \equiv y \cdot (P_U(y) - a \cdot P_F(y)) \equiv (v - aby) \cdot k(y) + (a - \lambda) \cdot y = 0. \quad (23)$$

Число положительных корней уравнения (23) зависит от выбора функции $k(y)$ и от значений $\{a; b; v; \lambda\}$.

Резюмируем полученные результаты.

Каждому значению y соответствует прямая в плоскости (U, F) , проходящая через начало координат (тангенс угла наклона этой прямой равен величине y). Зависимость $y(t)$ (формула (20)) описывает вращение этой прямой линии вокруг начала координат по часовой стрелке, если $y(t)$ убывает и против часовой стрелки, если $y(t)$ увеличивается. Эволюционная кривая полностью описывается формулами (20)–(22), если заданы начальные значения $U(t=0)$ $F(t=0)$ и известны параметры $\{a; b; v; \lambda\}$.

Следующие факторы определяют, как будет выглядеть эволюционная кривая:

линий конвергенции в плоскости (U, F) будут сектора, внутри которых при больших временах будет локализована траектория системы.

¹⁸ Расслоения ансамбля МСП-систем на несколько групп можно рассматривать как процесс самоорганизации ансамбля. Кроме того, нелинейность уравнений эволюции МСП содержит возможность описания взаимодействия МСП-систем.

- 1) Нули функции $P_Y(y) \equiv (\nu - aby) \cdot k(y) + (a - \lambda) \cdot y$ определяют множество «областей развития» системы. Если $P_Y(y) > 0$, величина «условий», приходящихся на единичный «потенциал», $y = \frac{U}{F}$ будет расти и наоборот.
- 2) Знак функции $P_F(y) \equiv b \cdot k(y) - 1$ определяет, будет ли «потенциал» расти ($P_F(y) > 0$) или убывать ($P_F(y) < 0$).
- 3) Знак функции $P_U(y) \equiv \nu \cdot \frac{k(y)}{y} - \lambda$ определяет, будут ли «условия» расти ($P_U(y) > 0$) или убывать ($P_U(y) < 0$).

Все возможные «варианты развития» системы можно таким образом разделить на 6 групп, в зависимости от знаков функций $P_U(y)$; $P_F(y)$; $P_Y(y)$. Классификация «вариантов развития», основанная на этом разделении, представлена в **Таблице I**.

Введем следующие вспомогательные функции (**Рис.1-3**):

$$1) F_F(y) = \frac{1}{b}; 2) F_U(y) = \frac{\lambda}{\nu} \cdot y; 3) F_Y(y) = \frac{(a - \lambda) \cdot y}{aby - \nu}.$$

1) Обозначим положительные корни уравнения $F_F(y) = k(y)$ через $y_F^{(1)}; y_F^{(2)}; \dots$ (всегда есть хотя бы один корень) (**Рис.1**). (25)

2) Обозначим положительные корни уравнения $F_U(y) = k(y)$ как $y_U^{(1)}; y_U^{(2)}; \dots$ (при $\nu < 0$ уравнение не имеет корней) (**Рис.2**). (26)

3) Обозначим положительные корни уравнения $F_Y(y) = k(y)$ как $y_Y^{(1)}; y_Y^{(2)}; \dots$ (**Рис.3**). (27)

$y_F^{(1)}; y_F^{(2)}; \dots; y_U^{(1)}; y_U^{(2)}; \dots; y_Y^{(1)}; y_Y^{(2)}; \dots$ - точки разбивают множество допустимых значений $0 < y < \infty$ на области, каждая из которых соответствует определенному «варианту развития» системы. Развитие происходит внутри одной из «областей развития», $(y_Y^{(i)}; y_Y^{(i+1)})$. Корни $y_F^{(1)}; y_F^{(2)}; \dots$ и $y_U^{(1)}; y_U^{(2)}; \dots$, принадлежащие «области» $(y_Y^{(i)}; y_Y^{(i+1)})$ делят ее на подобласти, каждая из которых характеризуется определенными знаками функций $P_F(y)$ и $P_U(y)$ и соответствует определенному «варианту развития» системы. **Графики 4-6** иллюстрируют эти свойства на конкретном примере.

III. Внешние воздействия как причина изменения «области развития» системы.

Развитие системы, описываемое эволюционными уравнениями, не выводит систему за пределы той «области развития», в которой она находилась в начальный момент времени. Рассмотрим переход системы из одной «области

развития» в другую. Такой переход возможен, если величина y скачкообразно меняется либо за счет увеличения величины «условий» либо за счет резкого падения «потенциала». В обоих случаях система подвергается «внешнему» воздействию, в результате которого меняется «область развития» системы. Новая «область» допускает новый «тип эволюции» и новое предельное значение y . Можно предположить, что *изменение «области развития» - это один из методов вывода системы из кризиса*¹⁹.

Например, кризис развития фирмы часто преодолевается с помощью: (1) создания дополнительных «условий» развития (займы, кредит, федеральная помощь и т.п.) и (или) (2) с помощью уменьшения «потенциала» системы (увольнение работников, снижение объемов производства, продажа части активов и т.п.).

Можно назвать сдвиг из «области развития» Ω_i в «область развития» Ω_k ($\Omega_i \rightarrow \Omega_k$) антикризисной мерой, если при этом выполняются следующие условия:

1) В новой «области развития», Ω_k , «потенциал» и «условия» системы возрастают («варианты» $\uparrow\uparrow\uparrow$ либо $\downarrow\uparrow\uparrow$); (28)

$$2) y_{+\infty}(\Omega_k) > y_{+\infty}(\Omega_i). \quad (29)$$

Рассмотрим вопрос о величине внешнего воздействия на систему. Пусть ΔU и ΔF - абсолютный прирост величин U и F , который необходим для перехода в новую «область развития». Пусть U_0 и F_0 - значения U и F до перехода из Ω_i в Ω_k . Рассмотрим два способа перехода: 1) $\Delta U = 0$ и 2) $\Delta F = 0$.

Рассмотрим, например, случай, $\uparrow\uparrow\uparrow$, представленный на **Рисунке 7**. Тогда, $\Omega_k \equiv \Omega_k^+$.

1) В первом случае для перехода необходим прирост «потенциала», ΔF , должен удовлетворять следующему неравенству:

$$\Delta F > F_0 - \frac{U_0}{y_{-\infty}(\Omega_k)}. \quad (30)$$

2) Во втором случае ($\Delta F = 0$) должно выполняться неравенство:

$$\Delta U > F_0 \cdot y_{-\infty}(\Omega_k) - U_0. \quad (31)$$

Если прирост величины «условий» ограничен некоторым значением $\delta U < F_0 \cdot y_{-\infty}(\Omega_k) - U_0$, тогда для того чтобы переход произошел, необходимо уменьшение «потенциала» на величину:

$$\Delta F > F_0 - \frac{U_0 + \delta U}{y_{-\infty}(\Omega_k)}. \quad (32)$$

¹⁹ Система может сменить область развития не только за счет внешнего воздействия, но и за счет собственной мутации – резкого изменения значения параметров системы. Большие системы, слабо зависящие от внешнего окружения, выходят из кризисов через процесс мутации. В основе этого процесса лежит качественное обновление системы за счет усовершенствований и инноваций. Кризис оказывает стимулирующее действие на внедрение инноваций и как следствие это обнаруживается резким изменением параметров системы.

IV. Классификация систем на основе их «эволюционных свойств».

Расположим корни уравнений (25)-(27) $(y_F^{(1)}; y_F^{(2)}; \dots; y_U^{(1)}; y_U^{(2)}; \dots; y_Y^{(1)}; y_Y^{(2)}; \dots)$ по возрастанию. Обозначим их - $y_{A(i)}^{(k)}$, где $A(i) = \{Y; U; F\}$, $i = 1, 2, 3$, и верхний индекс – это новый номер корня. Каждая система характеризуется некоторым разбиением множества $y > 0$ на подмножества $y_{A(i)}^{(k)} < y < y_{A(n)}^{(m)}$. Каждое такое подмножество соответствует некоторому «варианту развития» системы.

Итак, упорядоченная последовательность «вариантов развития» системы полностью характеризует «эволюционные свойства» этой системы.

Системы с одинаковыми «эволюционными свойствами» можно назвать системами одного типа. Каждый тип систем соответствует некоторому методу разбиения множества $y > 0$ на подмножества $y_{A(i)}^{(k)} < y < y_{A(n)}^{(m)}$.

Для того чтобы описать метод разбиения достаточно перечислить «варианты развития» в направлении роста величины y .

Например, случай, изображенный на **Рисунке 7**, описывается посредством следующего множества «вариантов развития»:

$$\Xi_{\uparrow\downarrow\downarrow}; \Xi_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \Xi_{\uparrow\uparrow\uparrow}; \Xi_{\downarrow\uparrow\uparrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\downarrow}; \Xi_{\uparrow\downarrow\downarrow}.$$

В общем случае, каждому типу систем соответствует определенное упорядоченное множество «вариантов развития». Так как в «области» $0 < y < y_{A(n)}^{(1)}$ «потенциал» всегда убывает, то для этой области возможны лишь три «варианта развития»: $\Xi_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \Xi_{\uparrow\downarrow\downarrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\downarrow}$.

Не трудно видеть, что из шести возможных «вариантов развития» ($\Xi_{\uparrow\uparrow\uparrow}; \Xi_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \Xi_{\uparrow\downarrow\downarrow}; \Xi_{\downarrow\uparrow\uparrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\downarrow}$) три из них могут быть получены из других трех с помощью операции обращения времени. Введем следующие обозначения для трех основных «вариантов»: $3 \equiv \Xi_{\uparrow\uparrow\uparrow}$, $2 \equiv \Xi_{\uparrow\uparrow\downarrow}$, $1 \equiv \Xi_{\uparrow\downarrow\downarrow}$. Операцию обращения времени обозначим чертой сверху, $\bar{\Xi}$. Имеют место следующие соотношения: $\bar{3} \equiv \Xi_{\downarrow\downarrow\downarrow} = \bar{\Xi}_{\uparrow\uparrow\uparrow}$; $\bar{2} \equiv \Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow} = \bar{\Xi}_{\uparrow\uparrow\downarrow}$; $\bar{1} \equiv \Xi_{\downarrow\uparrow\uparrow} = \bar{\Xi}_{\uparrow\downarrow\downarrow}$.

Рассмотрим простейший случай:

1) Пусть функция $k(y)$ - выпуклая в области возрастания (при $k'(y) > 0$, выполняется $k''(y) < 0$) и пусть функция $k(y)$ имеет единственную точку максимума. (*)

2) Пусть все корни уравнений $F_F(y) = k(y)$, $F_U(y) = k(y)$ и $F_Y(y) = k(y)$ различны и функции $F_Y(y)$, $F_U(y)$ не имеют точек касания с функцией $k(y)$ (есть только точки пересечения). (**)

При этих предположениях не трудно перечислить все типы систем, имеющих одну и две «области развития». Рассмотрим следующие альтернативы:

1.1) Уравнение $F_F(y) = k(y)$ имеет два корня ($\frac{1}{b} > m$). Есть три области знакопостоянства функции $\dot{F}(t)$, которым соответствуют «варианты»: $\Xi_{**\downarrow}$; $\Xi_{**\uparrow}$; $\Xi_{**\downarrow}$, (Рис.1);

1.2) Уравнение $F_F(y) = k(y)$ имеет один корень ($\frac{1}{b} < m$). Есть две области знакопостоянства функции $\dot{F}(t)$, которым соответствуют «варианты»: $\Xi_{**\downarrow}$; $\Xi_{**\uparrow}$ (Рис.1);

2.1) Уравнение $F_U(y) = k(y)$ не имеет корней. Функция $U(t)$ убывает во всей области $y > 0$. Следовательно, имеется только одна возможность - $\Xi_{*\downarrow*}$ (Рис.2);

2.2) Уравнение $F_U(y) = k(y)$ имеет один корень. Последовательность «вариантов» следующая: $\Xi_{*\uparrow*}$, $\Xi_{*\downarrow*}$ (Рис.2);

3.1) Уравнение $F_Y(y) = k(y)$ не имеет корней. Функция $Y(t)$ убывает во всей области $y > 0$. Есть лишь один «вариант» - $\Xi_{\downarrow**}$ (Рис.3);

3.2) Уравнение $F_Y(y) = k(y)$ имеет хотя бы один корень (Рис.3).

Рассмотрим следующие четыре возможности: (1.1 и 2.1), (1.1 и 2.2), (1.2 и 2.1), (1.2 и 2.2):

$$(1.1 \text{ и } 2.1) \quad \Xi_{*\downarrow\downarrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow}; \Xi_{*\downarrow\downarrow}, \quad (A11)$$

(1.1 и 2.2) Возможны три цепочки:

$$a) \quad \Xi_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \Xi_{*\downarrow\downarrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow}; \Xi_{*\downarrow\downarrow}, \quad (A12a)$$

$$b) \quad \Xi_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \Xi_{*\uparrow\uparrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow}; \Xi_{*\downarrow\downarrow}, \quad (A12b)$$

$$c) \quad \Xi_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \Xi_{*\uparrow\uparrow}; \Xi_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \Xi_{*\downarrow\downarrow}, \quad (A12c)$$

$$(1.2 \text{ и } 2.1) \quad \Xi_{*\downarrow\downarrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow}, \quad (A21)$$

(1.2 и 2.2) Возможны две цепочки:

$$a) \quad \Xi_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \Xi_{*\downarrow\downarrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow}, \quad (A22a)$$

$$b) \quad \Xi_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \Xi_{*\uparrow\uparrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow}, \quad (A22b)$$

1. Пусть уравнение $F_Y(y) = k(y)$ не имеет корней. Тогда есть только одна «область развития». Возможны лишь случаи (A11), (A21):

$$A110. \quad 3; \bar{2}; \bar{3} (\Xi_{\downarrow\downarrow\downarrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\downarrow});$$

$$A210. \quad 3; \bar{2} (\Xi_{\downarrow\downarrow\downarrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow});$$

2. Пусть уравнение $F_Y(y) = k(y)$ имеет один корень. Есть две «области развития». Функция $y(t)$ возрастает increases в первой области и убывает во второй. Возможны ровно семь типов систем.

$$A111. \quad 1; \bar{3}; \bar{2}; \bar{3} (\Xi_{\uparrow\downarrow\downarrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\downarrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\downarrow});$$

$$A12a. \quad \bar{2}; 1; \bar{3}; \bar{2}; \bar{3};$$

$$A12b. \quad 2; 3; 1; \bar{2}; \bar{3};$$

$$A12c. \quad 2; 3; 2; 1; \bar{3};$$

A21 1; $\bar{3}$; $\bar{2}$;
 A22a. 2; 1; $\bar{3}$; $\bar{2}$;
 A22b. 2; 3; $\bar{1}$; $\bar{2}$;

Итак, системы, обладающие свойствами (*) и (**), и имеющие одну «область развития» могут быть только двух типов: A110 и A210, тогда как при двух «областях развития» есть уже 7 типов систем: A111, A12a, A12b, A12c, A21, A22a, A22b (Рис. 8.1 – 8.9).

Классификация систем с большим числом «областей развития» может быть выполнена аналогично.

V. Системы, состоящие из нескольких подсистем.

До сих пор мы рассматривали системы как одно целое. Но, как правило, любая система есть сложное соединение множества взаимодействующих подсистем. Число подсистем, формирующих исходную, и способ их взаимодействия задают структуру системы.

Рассмотрим систему, состоящую из нескольких подсистем. Пусть F_i и U_i , $i = 1, 2, \dots, N$ - «потенциал» и «условия» в подсистемах, F и U - «потенциал» и «условия» составной системы.

Назовем системы «идентичными», если выполняются следующие условия:

- 1) Функция $k(U, F)$ - одна и та же.
- 2) Параметры a, b, v, λ - равны.
- 3) Начальные условия одинаковые:
 $(F_1(0) = F_2(0) = \dots = F_N(0), U_1(0) = U_2(0) = \dots = U_N(0)).$

Системы, которые удовлетворяют лишь условиям 1) и 2), назовем «одинаковыми».

Чтобы описать на математическом языке операцию объединения нескольких «идентичных» систем в одну, предположим следующее:

Утверждение 7. Величина «потенциала» («условий») в системе, состоящей из нескольких «идентичных» подсистем, равна сумме величин «потенциалов» («условий») этих подсистем: $F = \sum_{i=1}^N F_i$, $U = \sum_{i=1}^N U_i$. (Н)

Предположение (Н) есть простейшее и наиболее естественное математическое истолкование логического отношения: «состоит из...». Как мы увидим дальше, предположение (Н) выполняется лишь для «идентичных» систем и должно быть скорректировано для случая «одинаковых», но не «идентичных» систем.

Эволюционные уравнения выражают универсальные свойства развития систем. Они должны выполняться в любых спонтанно возникающих в природе и обществе системах. Поэтому они должны быть применимы и для подсистем. Однако, вследствие нелинейности эволюционных уравнений, «потенциал» и «условия» составной системы не могут быть равны сумме соответствующих величин для подсистем.

Рассмотрим систему, состоящую из двух «одинаковых» подсистем. Пусть F_1 , U_1 и F_2 , U_2 - «потенциал» и «условия» этих подсистем, а F , U - «потенциал» и «условия» составной системы.

$$\begin{aligned}\dot{F}_1 &= a \cdot (b \cdot k(U_1, F_1) - 1) \cdot F_1; \\ \dot{U}_1 &= v \cdot k(U_1, F_1) \cdot F_1 - \lambda \cdot U_1\end{aligned}\quad (\text{I})$$

$$\begin{aligned}\dot{F}_2 &= a \cdot (b \cdot k(U_2, F_2) - 1) \cdot F_2; \\ \dot{U}_2 &= v \cdot k(U_2, F_2) \cdot F_2 - \lambda \cdot U_2;\end{aligned}\quad (\text{II})$$

$$\begin{aligned}\dot{F} &= A \cdot (B \cdot K(U, F) - 1) \cdot F; \\ \dot{U} &= \Gamma \cdot K(U, F) \cdot F - \Lambda \cdot U\end{aligned}\quad (\text{III})$$

где A, B, Γ, Λ - параметры составной системы, а $and K(U, F)$ - коэффициент реализации в ней.

Докажем следующее:

1°. Функции $K(U, F)$ и $k(U, F)$ совпадают.

2°. Параметры A, B, Γ, Λ составной системы равны соответствующим параметрам a, b, v, λ ее подсистем.

Доказательство:

1°. Пусть «потенциалы» и «условия» подсистем в начальный момент равны: $F_1(0) = F_2(0) = f(0)$ и $U_1(0) = U_2(0) = u(0)$. Тогда они будут равны при любом $t > 0$: $F_1(t) = F_2(t) \equiv f(t)$, $U_1(t) = U_2(t) \equiv u(t)$.

В этом случае «одинаковые» системы «идентичны» и выполняется предположение (H). Системы уравнений (I) and (II) сводятся к одной системе:

$$\dot{f} = a \cdot (b \cdot k(u, f) - 1) \cdot f, \quad (33)$$

$$\dot{u} = v \cdot k(u, f) \cdot f - \lambda \cdot u. \quad (34)$$

Учитывая свойство (G) функции $k(U, F)$, можно выписать следующую цепочку равенств:

$$F = \frac{F^{(R)}}{K(U, F)} = \frac{F^{(R)}}{K(2u, 2f)} = \frac{F^{(R)}}{K(u, f)} = F_1 + F_2 = \frac{F_1^{(R)} + F_2^{(R)}}{k(u, f)} = \frac{F^{(R)}}{k(u, f)}. \quad (35)$$

Утверждение 1° следует из (35).

$$K(u, f) = k(u, f). \quad (36)$$

2°. Заменяя $\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 = 2 \cdot \dot{u}$ и $\dot{F} = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 = 2 \cdot \dot{f}$ в (III) и учитывая (36) получаем:

$$\dot{f} = A \cdot (B \cdot K(2u, 2f) - 1) \cdot f = A \cdot (B \cdot k(u, f) - 1) \cdot f; \quad (37)$$

$$\dot{u} = \Gamma \cdot K(2u, 2f) \cdot f - \Lambda \cdot u = \Gamma \cdot k(u, f) \cdot f - \Lambda \cdot u. \quad (38)$$

Сравнивая (37)-(38) с (33)-(34) находим:

$$A = a, \quad B = b, \quad \Gamma = v, \quad \Lambda = \lambda. \quad (39)$$

Поскольку уравнения (I)–(III) должны выполняться при любом выборе начальных условий, уравнения (36) и (39) должны выполняться и в случае «одинаковых», но не «идентичных» систем. По индукции это доказательство можно распространить на произвольное число «одинаковых» систем.

Получаем следующий важный результат:

1) Параметры систем, составленных из произвольного числа «одинаковых» подсистем, равны соответствующим параметрам этих подсистем, 2) Функция коэффициента реализации составной системы такая же как функция коэффициента реализации ее подсистем

Рассмотрим случай двух «одинаковых, но не идентичных» систем. Составная система описывается уравнениями:

$$\begin{aligned}\dot{F} &= a \cdot (b \cdot k(U, F) - 1) \cdot F \\ \dot{U} &= v \cdot k(U, F) \cdot F - \lambda \cdot U\end{aligned}\quad (40)$$

Если $F = F_1 + F_2$ и $U = U_1 + U_2$, то выполняется соотношение²⁰:

$$k(U, F) = \frac{F_1}{F_1 + F_2} \cdot k(U_1, F_1) + \frac{F_2}{F_1 + F_2} \cdot k(U_2, F_2). \quad (41)$$

$$\text{Введем переменные: } y \equiv \frac{U}{F} = \frac{U_1 + U_2}{F_1 + F_2}, \quad y_1 \equiv \frac{U_1}{F_1}, \quad y_2 \equiv \frac{U_2}{F_2}. \quad (42)$$

Пусть $y_2 > y_1$. Введем обозначение:

$$\frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} = \frac{F_1}{F_1 + F_2} \equiv \alpha; \quad (43)$$

Не трудно видеть, что:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{F_2}{F_1 + F_2} = 1 - \alpha; \quad (44)$$

$$y = \alpha \cdot y_1 + (1 - \alpha) \cdot y_2. \quad (45)$$

В этих обозначениях соотношение (41) совпадает с условием линейности функции $k(U, F)$:

$$k(\alpha \cdot y_1 + (1 - \alpha) \cdot y_2) = \alpha \cdot k(y_1) + (1 - \alpha) \cdot k(y_2). \quad (46)$$

Однако, функция $k(y)$ не линейная функция, а значит:

$$F \neq F_1 + F_2 \text{ и } U \neq U_1 + U_2.$$

$$\text{Пусть } F = F_1 + F_2 + F_{12} \text{ и } U = U_1 + U_2 + U_{12}, \quad (47)$$

где F_{12} и U_{12} - дополнительные слагаемые, введенные с целью – обеспечить выполнение уравнений (I), (II) и (40). Эти дополнительные слагаемые можно интерпретировать как члены, описывающие **взаимодействие** подсистем внутри составной системы. Замечательно, что в нашем подходе *составная система имеет некоторые дополнительные возможности развития, связанные с взаимодействием ее подсистем*. Наличие этих дополнительных возможностей развития математически выражается введением дополнительных слагаемых: F_{12} и U_{12} . Вклад этих слагаемых в величину «потенциала» и «условий» можно интерпретировать как вклад структуры системы в ее «потенциал» и «условия». Назовем эти слагаемые структурными членами.

Итак, структурные члены удовлетворяют уравнениям:

²⁰ Это соотношение следует из (I), (II) и (40).

$$\dot{U}_{12} = v \cdot (F_1 + F_2) \cdot S(y, y_1, y_2) + v \cdot k(y) \cdot F_{12} - \lambda \cdot U_{12}, \quad (48)$$

$$\dot{F}_{12} = ab \cdot (F_1 + F_2) \cdot S(y, y_1, y_2) + a \cdot (bk(y) - 1) \cdot F_{12}, \quad (49)$$

$$S(y, y_1, y_2) = k(y) - \alpha \cdot k(y_1) - (1 - \alpha) \cdot k(y_2). \quad (50)$$

Выражение (50) назовем S - фактором. При $|y_2 - y_1| \rightarrow 0$, неравенство $S(y, y_1, y_2) > 0$ есть условие выпуклости функции $k(y)$ в точке y : $k''(y) < 0$. Пусть неравенство $k''(y) \neq 0$ выполняется во всей области $y_1 \leq y \leq y_2$ (функция $k(y)$ не имеет точек перегиба). Если $S(y, y_1, y_2) > 0$ ($S(y, y_1, y_2) < 0$), то функция $k(y)$ - выпуклая (вогнутая) в этой области.

Пусть в некоторый момент t_0 в результате объединения двух «одинаковых» систем возникает составная система. До этого момента взаимодействие между подсистемами отсутствовало и, следовательно: $F_{12}(t) = 0$ и $U_{12}(t) = 0$ при $t \leq t_0$. В силу непрерывности функций $F_{12}(t)$ и $U_{12}(t)$, при рассмотрении ранней стадии развития составной системы можно пренебречь «структурными членами» F_{12} и U_{12} в правой части формул (48)-(49). По этой причине, изменение структурных членов на ранней стадии эволюции составной системы определяется лишь S - фактором. Поэтому, если функция $k(y)$ - выпуклая и $v > 0$, объединение подсистем в одно целое приведет к дополнительному увеличению «потенциала» и «условий»²¹. Как видно из **Рисунка 1**, функция $k(y)$ - выпуклая лишь внутри ограниченной области значений. Отсюда следует важный вывод:

Объединение нескольких систем в одну ведет к росту «потенциала» и «условий», только если величина «условий», приходящихся на единичный «потенциал», в исходных системах не слишком мала, но при этом не превышает некоторую определенную величину.

Прирост «потенциала» составной системы (по сравнению с простой арифметической суммой) означает, что величина «потенциала» зависит от структуры системы. Этот дополнительный прирост является результатом действия универсальных принципов эволюции в отношении составных систем. Наличие структуры означает существование фактора организации (упорядочения) в составной системе. Именно фактор организации простых систем внутри составной делает эту составную систему новой системой, к которой применимы

²¹ Этот общий вывод о связи выпуклости функции $k(U; F)$ с «выгодностью» объединения нескольких одинаковых систем в одно целое замечательно согласуется с более поздними результатами. Именно, системы МСП делятся на два типа – системы, показывающие циклическую динамику, и так называемые «стагнирующие» системы. У первого типа систем функция $k(y)$ - вогнутая, у второго типа – выпуклая. Первый тип систем развивается циклически, второй нет. Системы первого типа содержат внутри себя стимул регулярного качественного обновления, вследствие наличия фазы кризиса системы, второй тип систем не имеет такого стимула и нуждается в определенных мерах принудительного внедрения инноваций. Первый тип не дает прироста потенциала при объединении нескольких идентичных составляющих в одно целое, второй тип позволяет нарастить свой потенциал за счет такого объединения. Ансамбль систем первого типа – ансамбль, в котором главенствует индивидуалистическое начало. Ансамбль систем второго типа – ансамбль, который для «выживания» нуждается в объединении в одно целое с подчинением отдельных подсистем некоторой инстанции, которая должна выполнять функцию двигателя инновационного процесса в такой системе. Возможно, именно это различие систем лежит в основе отличия Западного и Восточного путей развития.

уравнения эволюции. Следовательно, объединение нескольких систем в одну нельзя рассматривать как формальную процедуру. Универсальные принципы эволюции будут работать, только если в процессе объединения формируется некоторая структура. Следовательно, в основе самоорганизации систем лежат два аспекта: 1) действие универсальных принципов эволюции, 2) объединение нескольких систем в одно целое. Обзор литературы на тему самоорганизации систем содержится, например, в статье [1].

Если рассматривать отдельных людей как системы, то одним из основных показателей величины условий, приходящихся на единичный «потенциал», является доход на душу в семье. Область, внутри которой объединение ведет к росту «потенциала» составной системы, может быть описана здесь как «стабильно низкий или средний доход». Хорошо известно, что люди с низким и средним доходом более общительны и более склонны образовывать группы, союзы, клубы, партии и т.п., тогда как слои населения с слишком низким или слишком высоким доходом стремятся держаться особняком, одни – в своих трущобах, другие – в дворцах. Другой пример – сплочение людей в трудные периоды их жизни: во время кризисов, войн и природных катаклизмов. И наоборот, стремление к независимости и обособленности в хорошие периоды процветания.

VI. Заключение.

Изложенный здесь метод описания систем имеет свои преимущества и недостатки.

К достоинствам можно отнести саму возможность математического описания эволюции системы в виде процесса реализации ее «потенциала».

Многие авторы (например, [9], [3]) указывают на существование универсальных принципов эволюции систем. Мы думаем, что законы эволюции, описанные посредством терминов «потенциал» и «условия реализации», есть именно такие универсальные принципы.

В заключение, мы бы хотели коснуться некоторых вопросов философского характера. Может показаться, что предлагаемый подход не имеет какого-либо практического значения в силу слишком абстрактного характера используемых терминов. Может также возникнуть сомнение об объективном существовании таких абстрактных свойств систем. Существуют ли на самом деле такие сущности, как «потенциал» и «условия»? Можно ли приписывать объективный статус логической структуре, существующей в нашем отражении мира? Мы склонны ответить на эти вопросы положительно. Причина в следующем. Анализируя историю развития разных систем, мы, пытаясь понять, что происходит, используем абстрактные термины, такие как «потенциал системы», «кризис развития», «прогресс», «регресс» и др. Наше мышление при этом движется внутри некоторой логической структуры, внутри некоторой системы категорий, посредством которой мы воспринимаем существующую реальность как нечто понятное нам. Сам тот факт, что мы понимаем (доходим до состояния понимания реальности) именно этим, а не каким-либо иным способом, используя именно такие понятия, а не какие-либо иные, сам этот факт и означает как раз, что есть некая Реальность, которая прячется под этими определениями и что существует некоторая структура соотношений, которая может быть «схвачена» только на таком абстрактном уровне. И *Реальность эта действует*, в том

смысле, что все спонтанно возникающие в природе и обществе системы эволюционируют в соответствии с законами, присущими этой Реальности. Мы сами есть такие же эволюционирующие системы, и законы этой Реальности действуют через нас, побуждая упорядочивать мир через определенную *логическую структуру* абстрактных терминов. Именно по этой причине описание того, что происходит, в терминах этой логической структуры и воспринимается нами как нечто понятное, как объяснение. Понимание мышления (и его логической структуры) как результата эволюционного процесса содержится в работе [6].

Есть несколько уровней Реальности. Первый уровень – это то, что мы воспринимаем органами чувств. Второй уровень – то, что становится доступно с помощью приборов. Третий уровень – это абстрактные структуры, которые мы воспринимаем с помощью мышления. Этот третий уровень так же реален, как и первые два. Реальность третьего уровня существует и действует, хотя и лежит вне сферы сенсорного восприятия.

В чем слабость нашего подхода? Это – отсутствие методов, которые связывали бы абстрактные величины с наблюдаемыми данными о системе. Очевидно, что такие методы должны существовать. Мы должны найти процедуры сведения информации о системе к двум абстрактным величинам. Однако, это – предмет уже другого большого исследования, которое, надеемся, нам удастся предпринять в будущем.

Литература.

1. Bausch C. 2002. Roots and Branches: A Brief, Picaresque, Personal History of Systems Theory. J. Systems Research and Behavioral Science, V. 19, N.5, Sept.-Oct. 2002.
2. Bergson A. Creative Evolution.
3. Csanyi V. 1989. Evolutionary Systems and Society. Duke University Press: Durham, NC.
4. Hegel GWF. Science of Logic.
5. Eigen M. 1992. Steps Towards Life. Oxford University Press: New York.
6. Goertzel B. 1994. Chaotic Logic: Language, Thought, and Reality from the Perspective of Complex Systems Science. Plenum Press: New York.
7. Kampis G. 1991. Self-Modifying Systems in Biology and Cognitive Science. Pergamon Press: New York.
8. Kauffman SA. 1993. The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution. Oxford University Press: New York.
9. Laszlo E. 1995. The Interconnected Universe: Conceptual Foundations of Transdisciplinary Unified Theory. World Scientific: New Jersey.
10. Meadows DH, Meadows D, Randers J. 1972. The Limits to Growth. Universe Books: New York.
11. Prigogine I, Stengers I. 1984. Order out of Chaos. Bantam Books: New York.

Рисунки.

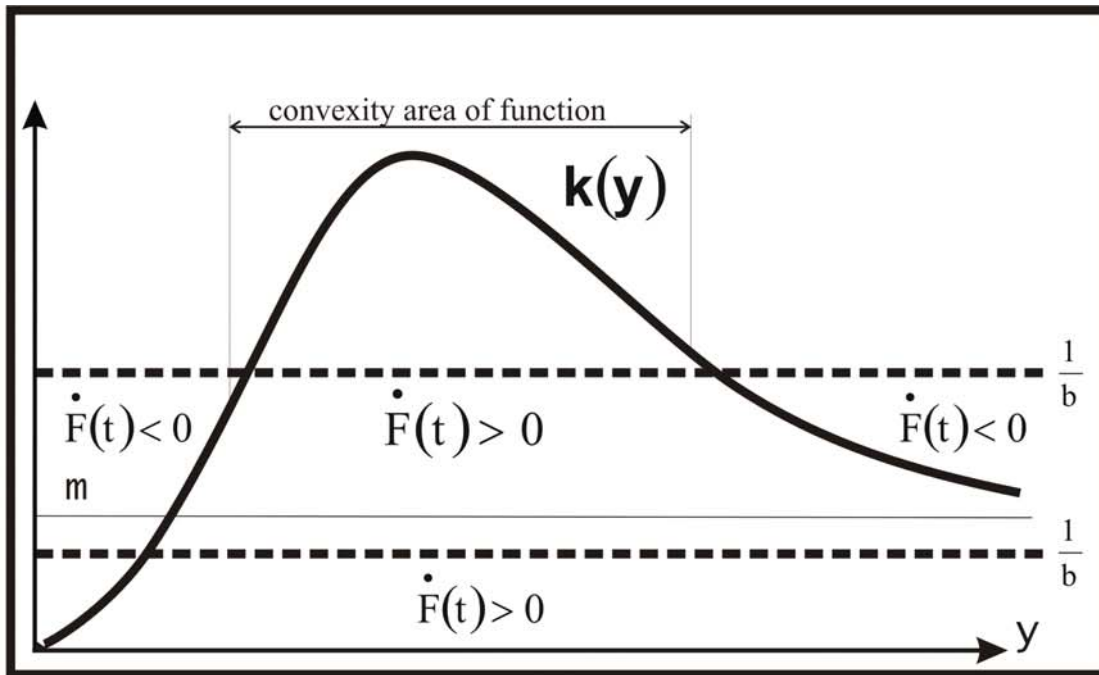


Figure 1. Functions $F_F(y) = \frac{1}{b}$ for the different values b and roots of equation $F_F(y) = k(y)$

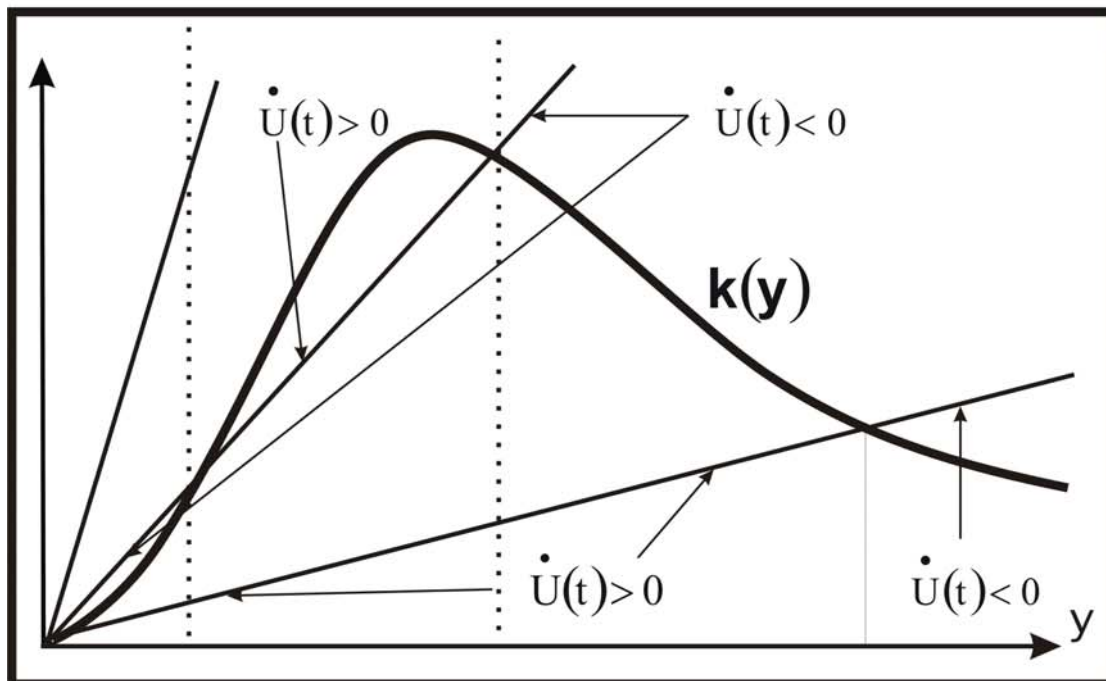
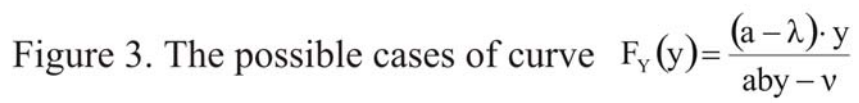


Figure 2. Functions $F_U(y) = \frac{\lambda}{v} \cdot y$ for the different values $\frac{\lambda}{v}$ and roots of equation $F_U(y) = k(y)$



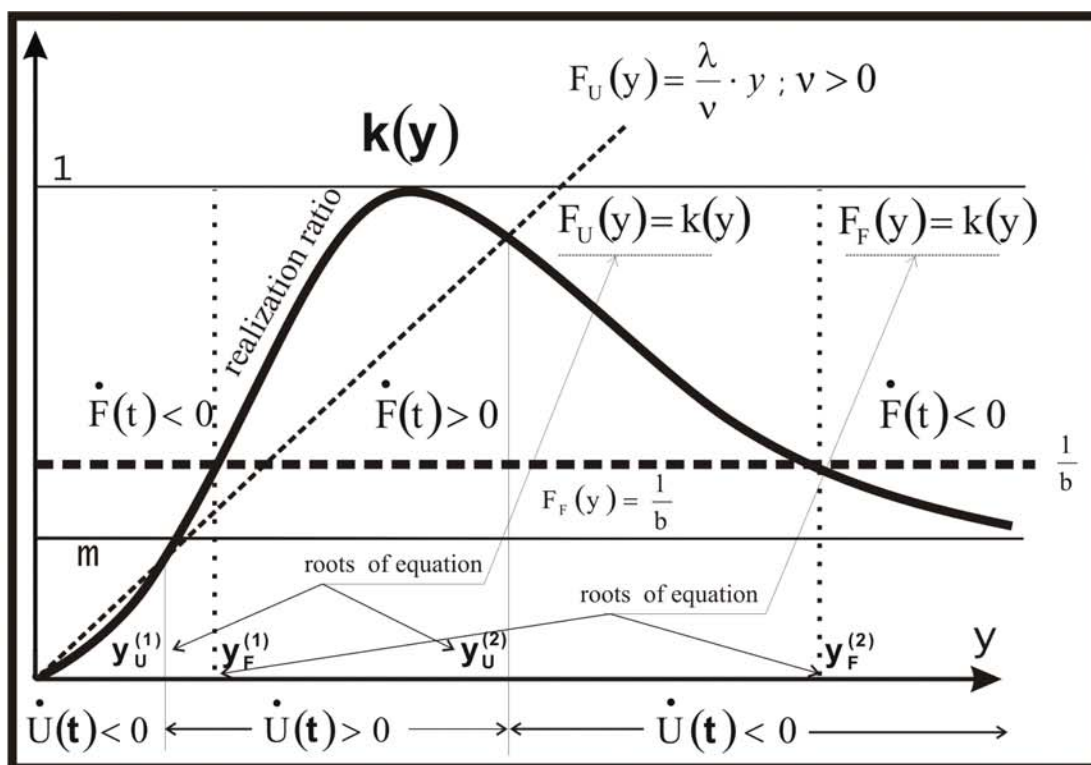


Figure 4.

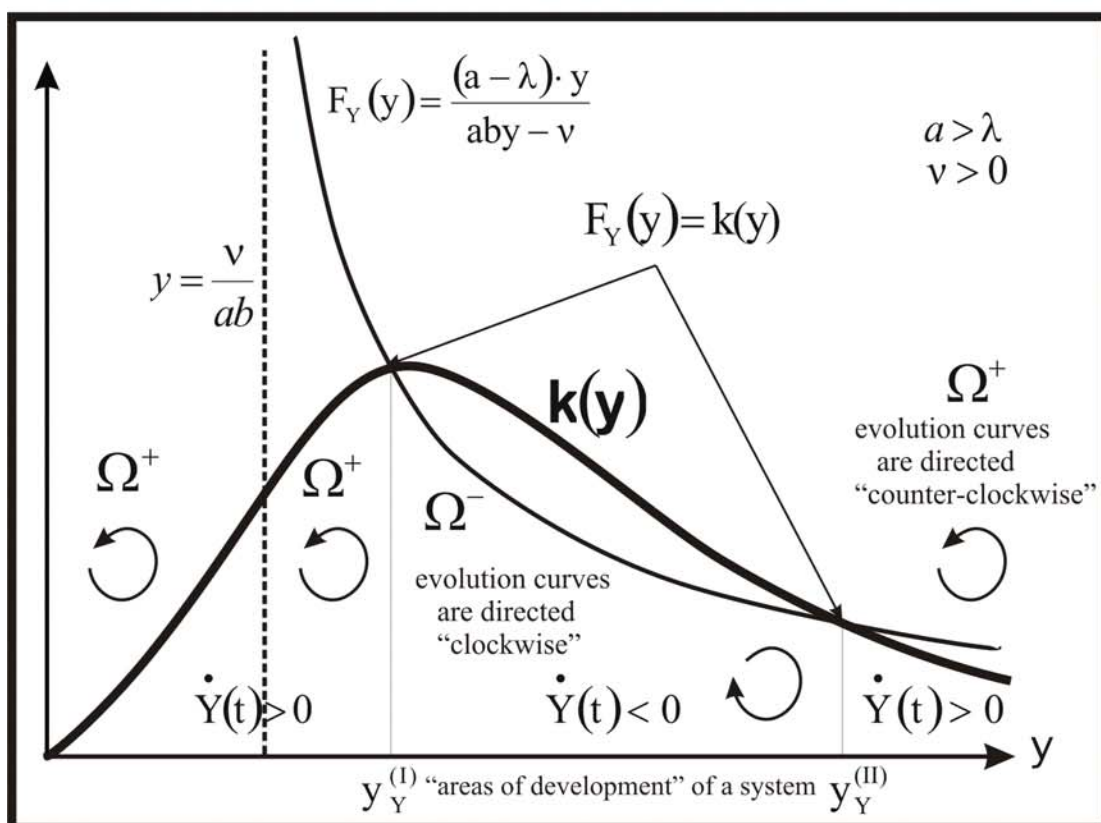


Figure 5.

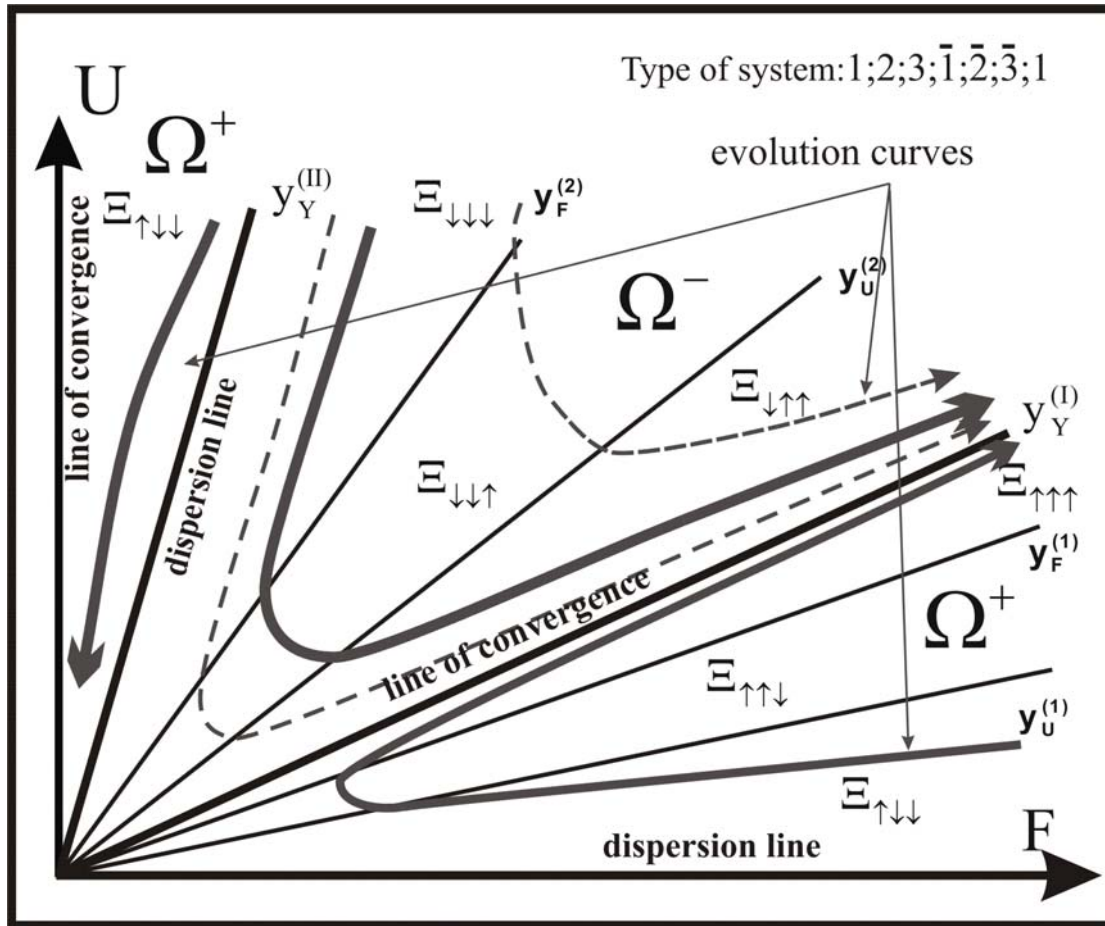


Figure 6. Evolution curves, "options of development" and "areas of development"

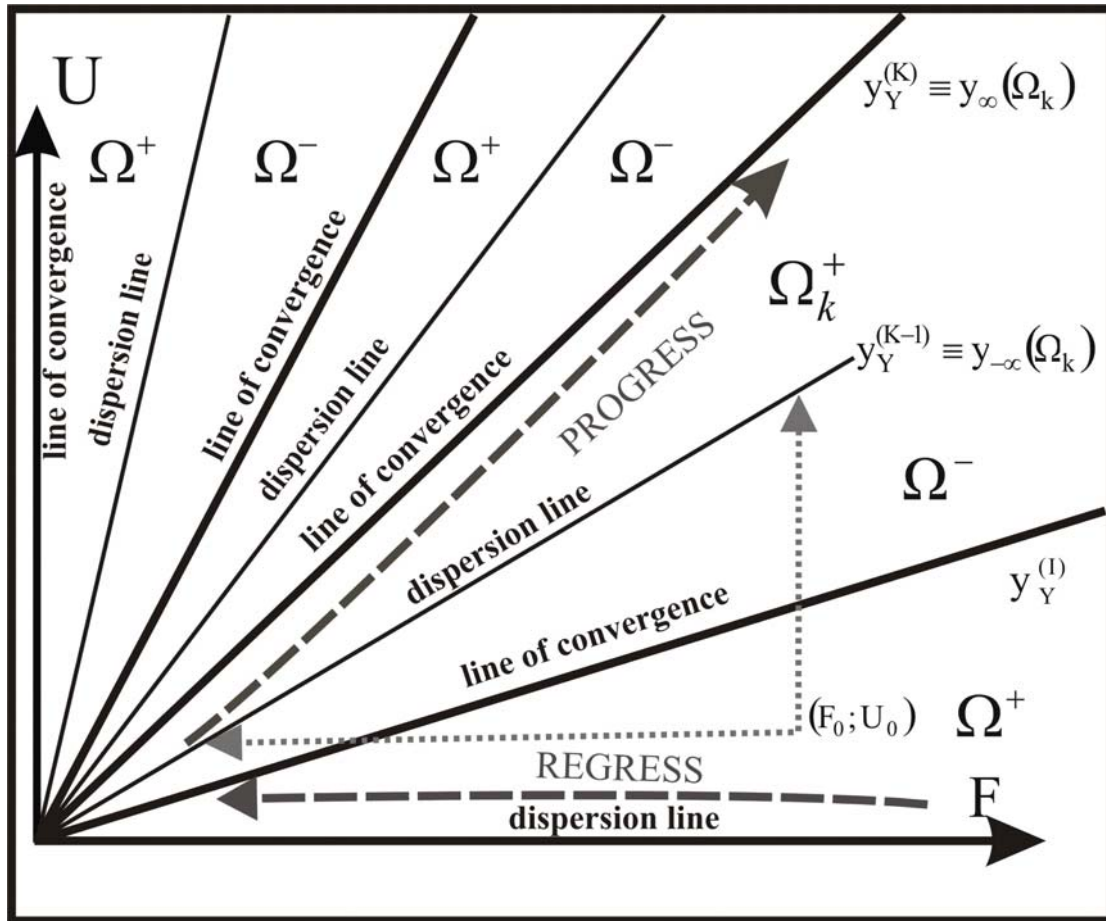


Figure 7. "Areas of development" and transitions from one "area" to the other.

Figure 8. The different types of the systems.

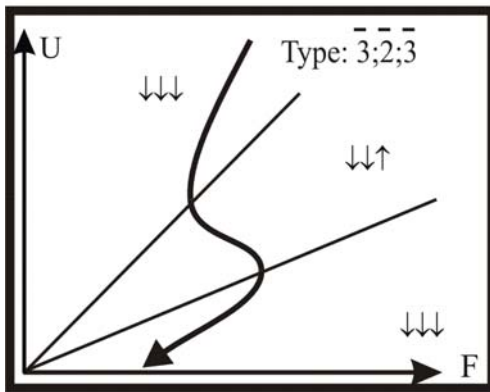


Figure 8.1. A110.

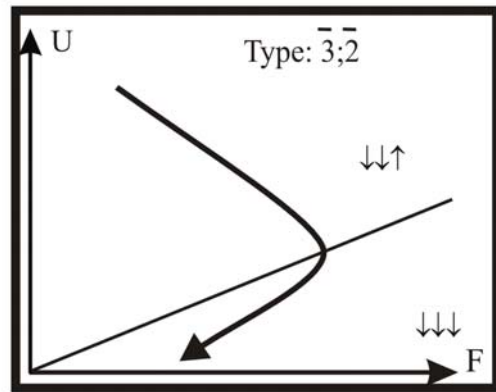


Figure 8.2. A210.

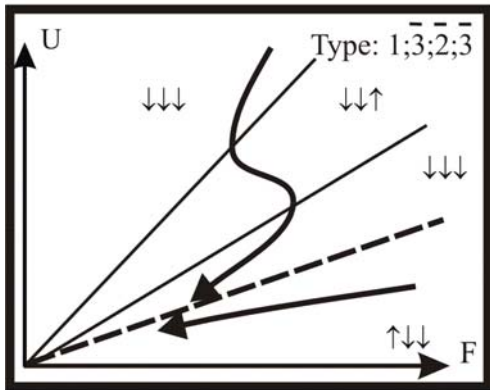


Figure 8.3. A111.

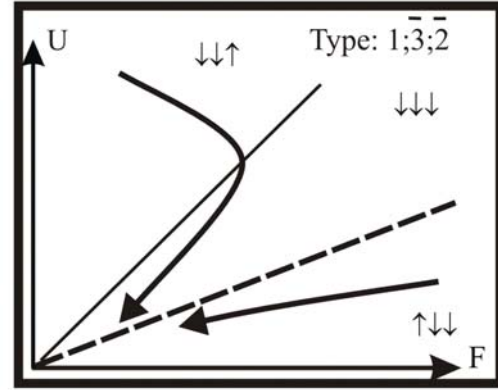


Figure 8.4. A21.

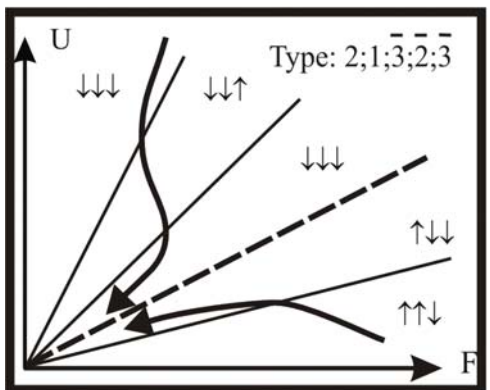


Figure 8.5. A12a

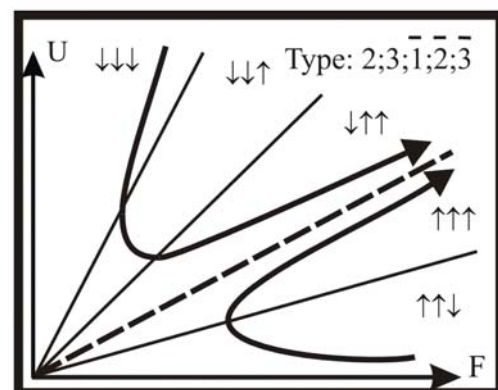


Figure 8.6. A12b

Figure 8. The different types of the systems.

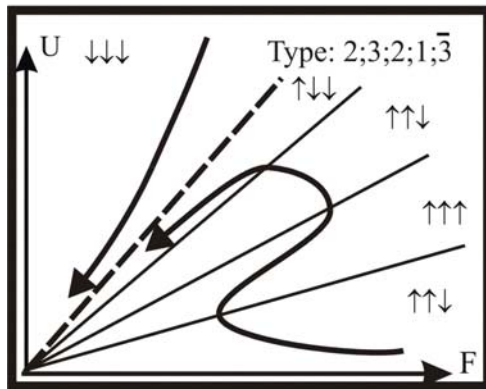


Figure 8.7. A12c

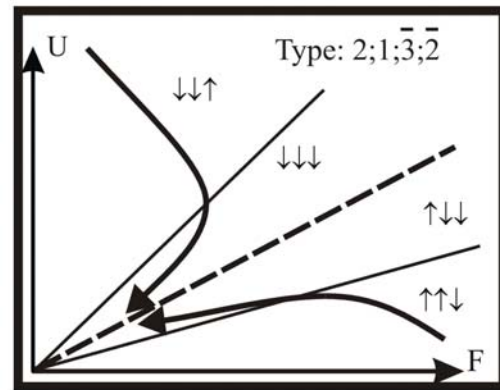


Figure 8.8. A22a

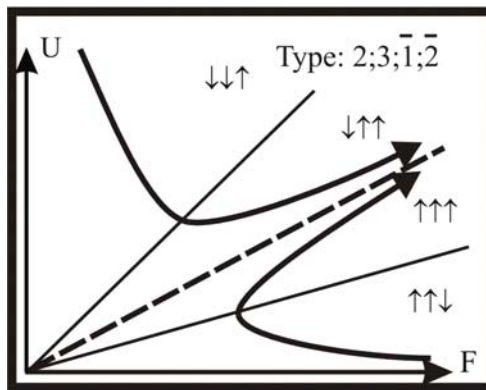


Figure 8.9. A22b

Таблицы.

Таблица 1. Варианты развития.

↑ - увеличение

↓ - уменьшение.

Варианты развития (обозначения)	Оснащенность (интенсивное - экстенсивное)	Условия реализации (эффективное - неэффективное)	Потенциал (прогрессивное - регрессивное)	Названия вариантов
↑↑↑≡3	↑	↑	↑	интенсивный эффективный прогресс
↑↑↓≡2	↑	↑	↓	интенсивный эффективный регресс
↑↓↓≡1	↑	↓	↓	интенсивный неэффективный регресс
↓↓↓≡3	↓	↓	↓	экстенсивный неэффективный регресс
↓↓↑≡2	↓	↓	↑	экстенсивный неэффективный прогресс
↓↑↑≡1	↓	↑	↑	экстенсивный эффективный прогресс