

III. МАТЕМАТИКА В ОПИСАНИИ ХАОСА И СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

DOI: 10.12737/6724

ФРАКТАЛЬНО-КЛАСТЕРНАЯ ТЕОРИЯ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ АНАЛИЗА РЕСУРСОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ИЕРАРХИЧЕСКИХ САМООРГАНИ- ЗУЮЩИХСЯ СИСТЕМАХ

В.Т. ВОЛОВ

*Самарский филиал Современной гуманитарной академии,
ул. Физкультурная, д. 90, литер А, г. Самара, Самарская обл., Россия, 443058*

Аннотация. Изложены основы фрактально-кластерной теории, включающей фрактально-кластерные соотношения, динамические уравнения эволюции фрактально-кластерной системы и критерии управления сложными системами. На основе синтеза основных положений термодинамики структуры И. Пригожина к разработанной модели осуществлен анализ управления экономическими системами и развития биологических организмов.

Ключевые слова: фрактально-кластерное соотношение, энтропия, ресурсораспределение.

FRactal-Cluster Theory of Thermodynamic Principles of Analysis of Resources Distribution in Hierarchical Self-Organizing Systems

V.T. VOLOV

*Samara branch of Modern Arts Academy,
st. Physical training, d. 90, letter A, Samara, Samara region., Russia, 443058*

Abstract. The tenets of the fractal-cluster theory including fractal-cluster ratios, the dynamic equations of the evolution of fractal-cluster system and criteria of the complex systems control are presented. On the basis of the synthesis of main tenets of thermodynamics structure by I. Prigogine, we conducted the analysis of control by economic systems and development of living organisms.

Keywords: fractal-cluster ratio, entropy, resources distribution

Введение. Основой метода управления, анализа эффективности управления и функционирования *самоорганизующейся системы* (СС) в исследовании приняты термодинамический метод и *фрактально-кластерные соотношения* (ФКС) [1].

В результате длительных многолетних статистических исследований [1] удалось доказать, что в любых системах: технических, биологических системах, прошедших эволюционный путь развития, системах машина-человек всегда имеется пять основных кластеров. Это *энергетический* (C_3), *транспортный* ($C_{тр}$), *технологический*

(C_T), *экологический* (C_3) и *информационный* ($C_{и}$) кластеры, имеющие определенные (идеальные) значения, выраженные в процентах или долях целого для экстенсивного параметра системы (время, деньги, масса и т.п.). Для энергетического кластера это значение составляет 38%, транспортного – 27%, экологического – 16%, технологического – 13%, информационного – 6%.

Каждый из пяти кластеров имеет пять подкластеров, например: в C_3 – энергетическая поддержка самой энергетической системы, энергетическая поддержка транспорта, экологии, технологии, информатики и

т.д. И остальные подкластеры соответствующим образом подразделяются на пять подкластеров следующего уровня, т.е. имеет место иерархическая структура распределения ресурсов. Для анализа функционирования биологических, технических и антропогенных систем, как правило, достаточно второго или третьего уровня ФКС.

Такая кластеризация [1] позволила производить оценку функционирования сложной системы. Однако, теории или математических моделей на основе ФКС создано не было. Поэтому целью данного исследования являлась разработка теории анализа и структурного управления сложными системами на основе синтеза, ФКС и неравновесной термодинамики.

В настоящей работе под сложной самоорганизующейся системой будут подразумеваться исключительно системы, в которых можно выделить пять базовых вышеприведенных кластеров (потребностей). Такие системы будем называть «организмами».

В случае исследования ресурсораспределения в *экономической системе* (ЭС) на базе фрактально-кластерного подхода объект управления не декомпозируется, а представляет собой «черный ящик» (рис.1), что соответствует принципам и методологии термодинамики. В физическом пространстве реальный экономический объект управления располагает ресурсами X_i , необходимыми для функционирования и результатами своей деятельности (товары, продукты, услуги и т.д.). Известные экономико-математические модели (затраты-выпуск), как статические, так и динамические описывают функционирование экономической системы в физическом пространстве экономических переменных (рис. 1а). Данный класс экономико-математических моделей имеет ряд преимуществ перед другими классами моделей: наглядность, относительная простота. Однако, данные модели имеют недостатки: необходимость в значительных объемах дополнительной эмпирической информации, практическая невозможность на базе данных моделей проводить анализ устойчивости ресурсораспределения в экономических системах микро- и мезоуровня в долгосрочной перспективе.

При переводе из физического пространства экономических переменных в пятимерное фрактально-кластерное пространство осуществляется декомпозиция и классифицирование информации о ресурсах экономического объекта (рис. 1, 2), то есть фрактально-кластерная структуризация информации о ресурсах, необходимых для удовлетворения потребностей ЭС (энергетических, транспортных, экологических, технологических и информационных). При этом в данном пространстве удобно использовать универсальный аппарат термодинамики в ее информационной интерпретации. Использование законов и теорем термодинамики позволяет анализировать устойчивость ресурсораспределения в ЭС, не прибегая к дополнительной эмпирической информации. Однако у данного класса моделей имеются свои недостатки: нетрадиционность подхода – в явном виде без привлечения дополнительной эмпирической информации невозможно определить физические критерии деятельности ЭС (доход, прибыль, рентабельность и т.д.).

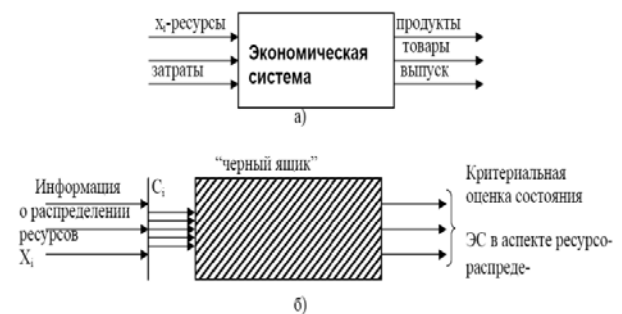


Рис. 1. Схема представления экономической системы в традиционной (а) и фрактально-кластерной (б) интерпретации

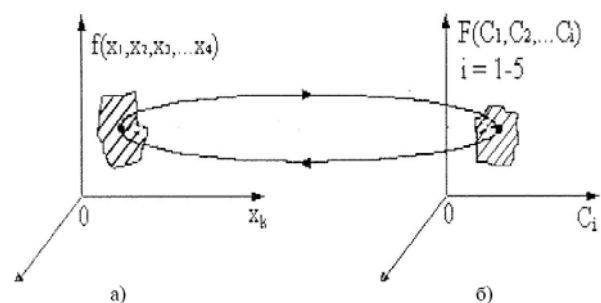


Рис. 2. Схема перевода из физического пространства экономических переменных во фрактально-кластерное пространство

Фрактально-кластерные критерии ЭС определяются нетривиальным образом в результате построения *фрактально-кластерной модели* (ФКМ).

Во фрактально-кластерном пространстве (рис. 2б) значения кластеров $\{C_i\}$ и подкластеров любого уровня есть величина положительная: $C_i > 0$.

Область допустимых значений изменений кластеров (подкластеров) определяется следующим образом:

$$R_C \in R_C^{доп} = \begin{cases} 0 < C_i < a_i; \\ 0 < C_{ij} < b_{ij}; \\ 0 < C_{ij\dots n} < d_{ij\dots n}; \\ \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 \sum_{m=1}^5 \dots \sum_{n=1}^5 \bar{C}_{ijm\dots n} = 1, \end{cases} \quad (1)$$

где $a_i, b_{ij}, d_{ij\dots n} > 0, \bar{C}_{ijm\dots n} = C_{ijm\dots n} / C^\Sigma$.

Стоимость всех ресурсов, структурированных по кластерам равна:

$$C_i = \sum_{k=1}^n r_{ik} \cdot \beta_k; \quad \sum C_i = \sum_{i=1}^5 \sum_{k=1}^n r_{ik} \cdot \beta_k = B, \quad (2)$$

или $\sum_{i=1}^5 \vec{r}_i \cdot \vec{\beta} = \sum_{i=1}^5 \sum_{k=1}^n r_{ik} \cdot \beta_k = B$

где C_i – сумма различных ресурсов, отнесенных к i -му кластеру, $\vec{\beta}$ – стоимостной коэффициент единиц соответствующего ресурса, B – бюджет (консолидированный бюджет) системы, r_{ik} – k -я доля ресурсов, относящихся к i -му кластеру, C^Σ – суммарный ресурс ЭС в стоимостном отношении.

Предлагаемая теория базируется на:

1) аксиоме об универсальности ФКС (пятикластерная структуризация ресурсных потребностей ЭС);

2) допущении о том, что кластеры $\{\bar{C}_i\}$ и подкластеры любого уровня $\{\bar{C}_{ij}\}, \{\bar{C}_{ijk}\}, \dots, \{\bar{C}_{ij\dots m}\}$ не могут принимать нулевого значения: $\bar{C}_i > 0, \bar{C}_{ij} > 0, \dots, \bar{C}_{ij\dots m} > 0$;

3) предположении о том, что область эффективной работы ЭС в физическом пространстве соответствует также эффективному функционированию во фрактально-кластерном пространстве;

4) допущении о пассивном характере управления системой (пассивная модель).

Однако коррекция управления, то есть обратная связь, имеет место перед новым этапом трансформирования системы. Таким образом, имеет место модель с запаздывающей обратной связью.

Задача управления ресурсораспределением может в общем случае быть сформулирована следующим образом: $|u - u^{стаб}| \Rightarrow \min$, где $u^{стаб}$ – устойчивое ресурсораспределение в системе, полученное на основе информационно-термодинамического метода (определяется ниже).

Представленная фрактально-кластерная теория включает в себя:

- 1) ФКС В.П. Бурдакова [1];
- 2) динамические уравнения эволюции ФКС [2];
- 3) фрактально-кластерные критерии эффективности управления системой;
- 4) анализ устойчивости сложных самоорганизующихся систем.

2. Динамические уравнения ФКС.

Эволюция любой системы n -го уровня из неидеального кластерно-фрактального состояния в идеальное может быть записана в виде следующей системы уравнений [2,3]:

$$\begin{aligned} r=1; \quad \bar{C}_i(\bar{t}) &= \bar{C}_i^0 + u_i(\varepsilon_i, \bar{t}) \cdot \bar{C}_i^0; & 3 \\ r=2; \quad \bar{C}_{ij}(\bar{t}) &= \bar{C}_{ij}^0 + u_{ij}(\varepsilon_{ij}, \bar{t}) \cdot \bar{C}_{ij}^0; & 4 \\ r=3; \quad \bar{C}_{ijm}(\bar{t}) &= \bar{C}_{ijm}^0 + u_{ijm}(\varepsilon_{ijm}, \bar{t}) \cdot \bar{C}_{ijm}^0; & 5 \\ r=4; \quad \bar{C}_{ijm\dots n}(\bar{t}) &= \bar{C}_{ijm\dots n}^0 + u_{ijm\dots n}(\varepsilon_{ijm\dots n}, \bar{t}) \cdot \bar{C}_{ijm\dots n}^0; & 6 \\ \vdots & & 7 \\ r=n; \quad \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 \sum_{m=1}^5 \dots \sum_{n=1}^5 \bar{C}_{ijm\dots n} &= 1 \end{aligned}$$

r раз

при $0 \leq \bar{t} \leq 1$, где $\bar{t} = t / t_{кон}$, $t_{кон}$ – время окончания управления ЭС, где

$$\begin{cases} u_i = \left(\frac{C_i^{ид}}{C_i^0} - 1 \right) f_i(t) = \varepsilon_i f_i(t); & u_{ij} = \left(\frac{C_{ij}^{ид}}{C_{ij}^0} - 1 \right) f_{ij}(t) = \varepsilon_{ij} f_{ij}(t) \\ u_{ij} = \left(\frac{C_{ij}^{ид}}{C_{ij}^0} - 1 \right) f_{ij}(t) = \varepsilon_{ij} f_{ij}(t); & u_{ijm\dots n} = \left(\frac{C_{ijm\dots n}^{ид}}{C_{ijm\dots n}^0} - 1 \right) f_{ijm\dots n}(t) = \varepsilon_{ijm\dots n} f_{ijm\dots n}(t) \end{cases} \quad (8)$$

$$f_i(0) = f_{ij\dots n}(0) = 0$$

$$f_i(1) = f_{ij\dots n}(1) = 1$$

Здесь $u_i, u_{ij}, u_{ijm}, u_{ijm\dots n}$ – управляющие функции для кластеров и подкластеров первого, второго и $(n-1)$ уровня, $\bar{C}_{ij}^{ид}, \bar{C}_{ijm}^{ид}, \dots, \bar{C}_{ijm\dots n}^{ид}$ – идеальные относительные значения подкластеров первого, второго, ..., $(n-1)$ уровня, а $\bar{C}_{ij}^0, \bar{C}_{ijm}^0, \dots, \bar{C}_{ijm\dots n}^0$ – на-

чальные относительные значения соответствующих подкластеров, f – монотонная дифференцируемая функция $0 \leq f \leq 1$, вид которой задается либо находится из дополнительных условий устойчивости.

Уравнение (7) представляет собой аналог закона сохранения для фрактальной системы.

3. Энтропийно-кластерный метод управления структурой сложной системы. Предложенные в [2,3] методы оптимизации управления ФКС опираются на интуитивные или жестко формализованные понятия и аналогии. В связи с выше сказанным логично сформулировать критерий эффективности управления матрицы *фрактально-кластерной матрицы* (ФКМ) на основе фундаментальных принципов термодинамики устойчивых состояний.

Рассмотрим матрицу идеальных состояний ФКМ (табл. 1).

Таблица 1

Таблица идеальных значений

\bar{C}_i	\bar{C}_{ij}					
C_1	.38	.144	.1026	.0608	.0494	.0228
C_2	.27	.1026	.0729	.0432	.0351	.0162
C_3	.16	.0608	.0432	.0256	.0208	.096
C_4	.13	.0494	.0351	.208	.0169	.078
C_5	.06	.0228	.0169	.096	.078	.0036

Первая строка и первый столбец идеальной матрицы дают количественную информацию об общей доле энергетических ресурсов системы, которая составляет $\sim 0,615$, то есть является основным определяющим фактором эффективности функционирования системы:

$$\bar{C}_\Sigma^9 = \sum_{j=1}^5 \bar{C}_{1j} + \sum_{i=2}^5 \bar{C}_{i1} \approx 0,615 \quad (9)$$

Это число очень близко к так называемому «золотому» сечению $H_0 \approx 0,618$ известному из многочисленных публикаций как основа красоты и гармонии как в природных, так и в антропогенных явлениях.

ФКМ $\{\bar{C}_{ij}\}$ несет информацию об энергетическом состоянии исследуемой системы. В связи с выше сказанным представляется целесообразным энтропийный подход к анализу управления ФКС.

Связь между элементами ФКМ и информационной энтропией H позволяет найти критерий управления ФКМ с целью оптимальной эволюции из неидеального состояния системы (ФКМ неидеальные) в идеальное состояние (ФКМ – идеальные), при этом сумма элементов ФКМ первого столбца и первой строки (9) переходит в их идеальное значение, то есть достигается значение энтропии «золотого» сечения.

$$H = \sum_{j=1}^5 \bar{C}_{1j} + \sum_{i=2}^5 \bar{C}_{i1} \Rightarrow u_{ij} \Rightarrow \sum_{j=1}^5 \bar{C}_{1j}^{ideal} + \sum_{i=2}^5 \bar{C}_{i1}^{ideal} = H_0 \approx 0,61 \quad (10)$$

Таким образом, вводится гипотеза об определении условной энтропии (или квазиэнтропии) ФКС (10), опирающаяся на обобщение опытных данных по эволюционирующим системам [1] и структуре ФКМ.

Предложенное выражение фрактально-кластерной энтропии представляет собой в стоимостном отношении долю суммарных ресурсов системы, идущих на удовлетворение ее энергетических потребностей.

Структура ФКМ сложной системы фрактальна: это цепочки повторяющихся подкластеров, самоподобных по своей структуре. Как известно, изображение фракталов получается за счет итерационных процессов. Простейшим итерационным процессом является ряд Фибоначчи.

Оказалось, что ключом к управлению ФКМ является знаменитый ряд Фибоначчи $(0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, U_n \dots U_{n+1})$, в котором каждая последующая цифра равна сумме двух предыдущих. Замечательным свойством ряда Фибоначчи является то, что по мере увеличения чисел ряда отношение двух соседних чисел ряда асимметрически приближается к точной пропорции «золотого» сечения – основе красоты и гармонии как в природных, так и в многочисленных антропогенных проявлениях:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{U_n}{U_{n+1}} = H_0 \approx 0,618 \quad (11)$$

В связи с вышесказанным возникла гипотеза об оптимальном управлении ФКМ при помощи ряда Фибоначчи. Для управления ФКМ используется аппроксимация итераций ряда Фибоначчи. При этом итерации соответствуют отрезкам времени, кратным периоду затухания колебания, то есть аппроксимация итераций ряда Фибо-

наччи является шаблоном для управления матрицы $\{u_{ij}\}$ (рис. 3).

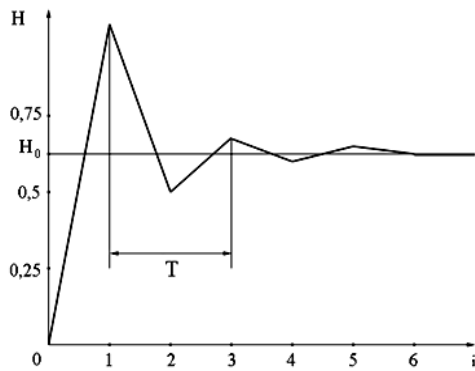


Рис.3а. Итерация членов ряда Фибоначчи:
i – номер итерации, T = 2 – период,
H₀ ≈ 0,618 – «золотое» сечение

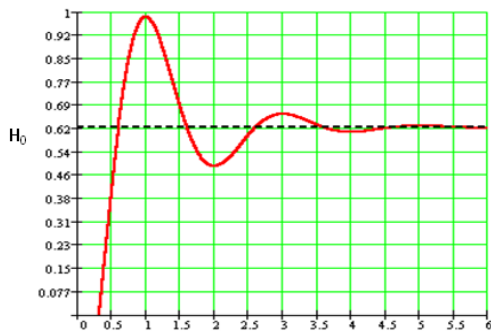


Рис. 3б. Аппроксимация итераций членов ряда Фибоначчи

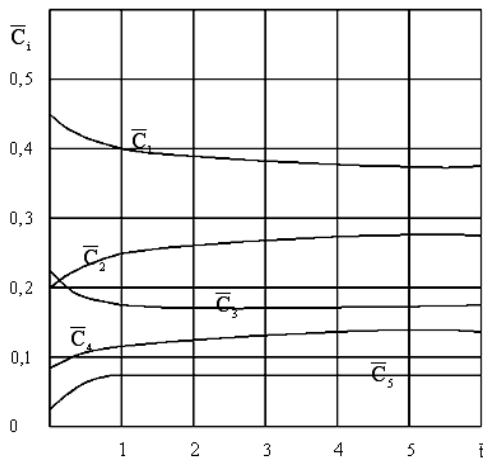


Рис. 4. Эволюция кластеров ЭС по ряду Фибоначчи и сшивки (14)

Управляющая матрица $\{u_{ij}\}$ при одинаковых временах начала и конца эволюции $\bar{t}_{ij}^0 = \bar{t}_{ji}^0 = \text{const}$ и $\bar{t}_{ij}^{\text{fin}} = \bar{t}_{ji}^{\text{fin}} = \text{const}_2$ принимает вид: $u_{ij} = \left(\bar{C}_{ij}^{\text{ideal}} / \bar{C}_{ij}^0 - 1 \right) \cdot f(\bar{t} - \bar{t}_0)$ (12)

Функция $f(\bar{t} - \bar{t}_0)$ удовлетворяет условиям (8).

Аппроксимация итераций ряда Фибоначчи (рис. 3) дает следующее выражение:

$$f(\bar{t} - \bar{t}_0) = \frac{H}{H_0} = 1 + H_0 \cdot \exp(-\alpha(\bar{t} - \bar{t}_0)) \times \cos(\pi(\bar{t} - \bar{t}_0) + \varphi_0) \quad (13)$$

при начальной фазе $\varphi_0 = 0$, $H_0 = 0,618$, $\alpha = 1,05$, $\bar{t}_0 = 1$.

Выражение (13) не удовлетворяет начальным условиям при $\bar{t} = \bar{t}_0$. Для удовлетворения второго граничного условия введем новую управляющую функцию u^* на отрезке времени от нуля до некоторого t :

$$u^*(\bar{t} - \bar{t}_0) = 1 - \exp(-\beta(\bar{t} - \bar{t}_0)) \quad (14)$$

и осуществим сшивку решений для $U(\bar{t} - \bar{t}_0)$:

$$\begin{cases} u_1^*(\bar{t} - \bar{t}_0) = f(\bar{t} - \bar{t}_0) \\ (u^*(\bar{t} - \bar{t}_0))' = f'(\bar{t} - \bar{t}_0) \end{cases} \quad (15)$$

при $\bar{t} = \bar{t}_{\text{сшивки}}$.

Видно, что управление $u^*(\bar{t} - \bar{t}_0)$ удовлетворяет условию (8) при $\bar{t} = \bar{t}_0$. После несложных преобразований получаем систему трансцендентных уравнений:

$$\begin{cases} \beta = \alpha - \frac{\ln(-\cos[\pi(\bar{t}_{\text{сшивки}} - \bar{t}_0)] \cdot H_0)}{\bar{t}_{\text{сшивки}} - \bar{t}_0} \\ \ln\left[-\frac{1}{\cos \pi(\bar{t}_{\text{сшивки}} - \bar{t}_0) \cdot H_0}\right] = \text{tg}(\pi(\bar{t}_{\text{сшивки}} - \bar{t}_0)) \end{cases} \quad (16)$$

где $\cos(\pi(\bar{t}_{\text{сшивки}} - \bar{t}_0))_0 < 0$

Численно из уравнений (16) определяется значение $\bar{t}_{\text{сшивки}}$ и показатель β . Оказалось, что $\bar{t} - \bar{t}_0 \approx 1,19$; $\beta \approx 1,53$.

На рис. 4 показана эволюция кластеров с управлением по (13, 14).

Как видно из рис. 3а, имеют место устойчивые (выпуклые траектории H , $d^2H/dt^2 < 0$) и неустойчивые (вогнутые траектории H , $d^2H/dt^2 > 0$), соответствующие полученному энтропийно-кластерному решению на основе ряда Фибоначчи. В связи с этим фактом была предложена гипотеза о структурных волнах малой интенсивности: режимы, при которых $\Delta H \ll H_0$, $dP/dt > 0$ являются режимами функциональной неустойчивости, представляющий собой атрибут любой развивающейся самооргани-

зующейся системы. При неустойчивых режимах ($d^2N/dt^2 > 0$ и $\Delta N \sim N_0$) имеет место аномальная структурная неустойчивость, говорящая о серьезных кризисных структурных процессах, протекающих в ЭС.

4. Фрактально-кластерные критерии эффективности управления сложной системой. Для оценки управления ЭС с точки зрения предлагаемого подхода необходимо разработать статические и динамические критерии эффективности ее управления. К статическим критериям можно отнести выше предложенный критерий условной фрактально-кластерной энтропии H (10). Кроме того, к статическим критериям эффективности ЭС следует отнести критерий полной эффективности η^Σ , предложенный в [1]. Но данные критерии являются малочувствительными.

Расчет подкластерных эффективностей $\eta_{ij\dots m}$ (m-1)-уровня начинается с последнего (m-1)-уровня. Номер уровня меняется следующим образом: $m-1 \leq n \leq 1$. (19)

Но данные критерии являются малочувствительными.

Для определения высокочувствительного критерия эффективности управления $D_{эфф}$ ФКМ использовался подход Ф. Хаусдорфа. В отличие от чисто фрактальных структур фрактально-кластерные n-мерные матрицы ФКМ⁽ⁿ⁾ имеют существенное отличие от геометрических фрактальных структур, так как количественные распределения по подкластерам любого уровня могут отличаться от идеального распределения и тем самым изменяется качество системы. Однако все перераспределения в кластерах и подкластерах любого уровня подчиняются законам сохранения (7).

Поэтому предлагается следующий алгоритм определения высокочувствительного критерия эффективности фрактально-кластерной n-мерной матрицы ФКМ⁽ⁿ⁾.

Фрактально-кластерный критерий эффективности управления (D-критерий) определяется по формуле:

$$D_{эфф} = \frac{\log \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 \sum_{K=1}^5 \dots \sum_{m=1}^5 \delta^*_{ijK\dots m}}{\log N}, \quad (20)$$

где ФКМ является m-мерная матрица.

В формуле (17) величины $\delta^*_i, \delta^*_{ij}, \delta^*_{ijk\dots m}$ подсчитываются по соотношениям:

$$\delta^*_{ijk\dots m} = 1 - \sqrt{\left(\frac{\overline{C}_{ijk\dots m}^{ideal}}{\overline{C}_{ijk\dots m}} - 1 \right)^2} \quad (21)$$

Для определения эффективности управления предложен смешанный критерий функционирования самоорганизующейся системы:

$$\chi = \frac{H \cdot D_{эфф} \cdot \eta^\Sigma}{H_0 \cdot D_{эфф}^{max}} \quad (22)$$

Критерии $H, D_{эфф}$ и η^Σ позволяют определять необходимые и достаточные условия оптимальности ресурсораспределения в экономических системах в статическом состоянии (табл. 2).

5. Анализ устойчивости состояния и трансформирования сложной системы. Используя результаты и основные положения термодинамики структуры [4] и неравновесной нелинейной флуктуационно-диссипативной термодинамики [5], проведен анализ устойчивости сложных саморазвивающихся систем.

Рассмотрим кластеры $\{\overline{C}_i\}$ и подкластеры $\{\overline{C}_{ij}\}$, составляющие ФКС, как случайные внутренние параметры $C_i(t), C_{ij}(t)$, то есть изменяющиеся флуктуационным образом. Если система изолирована, то информационная энтропия $H(\{\overline{C}_{ij}\})$ не убывает со временем. Однако, как показано в [5], флуктуационная составляющая информационной (условной) энтропии $H(\overline{C}_{ij}(t))$ может убывать на величину, не превышающую k (k – постоянная Больцмана).

$$\sqrt{(\delta H(\overline{C}_{ij}(t)))^2} < k \quad (23)$$

Выражение (23) представляет собой микронарушение II начала термодинамики для ФКС.

Таблица 2

Необходимые и достаточные условия оптимальности состояния экономической системы

Необходимые условия оптимального состояния экономической системы	Достаточные условия оптимальности состояния экономической системы	Примечания
$H \rightarrow H_0$ или $H^* = \begin{cases} H - H_0 \\ 0 \end{cases} \rightarrow 0$	$D_{эф} \rightarrow D_{эф}^{max}$	Имеется полная финансовая информация об экономической системе (точная оценка)
$H \rightarrow H_0$ или $H^* \rightarrow 0$	$\eta^\Sigma \rightarrow 1$	Не имеется полной финансовой информации об экономической системе (грубая оценка)

Усредненные значения подкластеров по некоторому интервалу времени τ равны:

$$\sum_{j=1}^5 \langle \bar{C}_{ij} \rangle = \left\langle \sum_{j=1}^5 \bar{C}_{ij} \right\rangle = \int_0^\tau \bar{C}_{ij}(t) dt / \tau \quad (24)$$

Условная энтропия $H(A(t))$ ФКС в случае несимметричной ФКМ имеет следующий вид:

$$H(A(t)) = \left\langle \bar{C}_1 + \sum_{j=2}^5 \bar{C}_{ij} \right\rangle = \langle \bar{C}_1 \rangle + \sum_{j=2}^5 \langle \bar{C}_{ij} \rangle, \quad (25)$$

где $A(t)$ – усредненные внутренние параметры, $\langle \rangle$ – знак усреднения по некоторому промежутку времени τ существенно меньшему времени эволюции T из начального состояния $\{\bar{C}_{ij}^0\}$ в конечное (идеальное) состояние системы $\{\bar{C}_{ij}^{fin(ideal)}\}$:

$$\tau \ll T \quad \langle \bar{C}_{ij}^0 \rangle \Rightarrow \langle \bar{C}_{ij} \rangle^{fin(ideal)} \quad (26)$$

В симметричном случае подкластеры $\langle \bar{C}_{ij} \rangle$ определяются по соотношениям:

$$\langle \bar{C}_{ij} \rangle = \langle \bar{C}_{ji} \rangle \quad \text{и} \quad \langle \bar{C}_{ij} \rangle = \langle \bar{C}_i \rangle \cdot \langle \bar{C}_j \rangle, \quad \text{т.е.} \quad (27)$$

$$\langle \bar{C}_{ij} \rangle = \langle C_i \rangle^2$$

Условная энтропия в этом случае равна:

$$H = 2\langle \bar{C}_1 \rangle - \langle \bar{C}_1 \rangle^2 \quad (28)$$

В соответствии с критерием термодинамической устойчивости [4] определим

второй дифференциал условной энтропии H для симметричного случая:

$$\delta^2 H = \frac{\partial^2 H}{\partial \langle \bar{C}_1 \rangle^2} (\delta \langle \bar{C}_1 \rangle)^2 = -2(\delta \langle \bar{C}_1 \rangle)^2 \leq 0 \quad (29)$$

Таким образом, для состояний, близких к ветви термодинамического равновесия в симметричном случае ФКМ, второй дифференциал энтропии $\delta^2 H$ отрицателен, то есть ФКС устойчива.

Граница потери устойчивости для симметричной ФКМ $\delta^2 H = 0$ реализуется только при $\delta \langle \bar{C}_1 \rangle = 0$, то есть при полном отсутствии флуктуаций энергетического кластера $\langle \bar{C}_1 \rangle$.

Во всех остальных случаях при симметричной ФКМ при состояниях, близких к ветви термодинамического равновесия удовлетворяется критерий устойчивости: $\delta^2 H < 0$.

Рассмотрим несимметричный случай ФКМ. Второй дифференциал условной энтропии в несимметричном случае ФКМ имеет вид:

$$\delta^2 H(\langle \bar{C}_1 \rangle, \langle \bar{C}_{21} \rangle, \langle \bar{C}_{22} \rangle, \langle \bar{C}_{23} \rangle, \langle \bar{C}_{24} \rangle) = \frac{\partial^2 H}{\partial \langle \bar{C}_1 \rangle^2} (\delta \bar{C}_1)^2 + \sum_{j=2}^5 \frac{\partial^2 H}{\partial C_{1j}^2} (\delta \langle \bar{C}_{1j} \rangle)^2 + 2 \frac{\partial}{\partial \langle \bar{C}_1 \rangle} \sum_{j=2}^5 \left(\frac{\partial H}{\partial \langle \bar{C}_{1j} \rangle} \cdot \delta \langle \bar{C}_{1j} \rangle \right) (\delta \langle \bar{C}_1 \rangle) + 2 \sum_{i=2}^5 \sum_{j \neq i}^5 \frac{\partial^2 H}{\partial \langle \bar{C}_{1i} \rangle \partial \langle \bar{C}_{1j} \rangle} \delta \langle \bar{C}_{1i} \rangle \delta \langle \bar{C}_{1j} \rangle \quad (30)$$

Второй дифференциал условной энтропии $\delta^2 H$ определяется в случае независимости энергетического кластера $\langle \bar{C}_1 \rangle$ и энергетических подкластеров $\langle \bar{C}_{12} \rangle$, $\langle \bar{C}_{13} \rangle$, $\langle \bar{C}_{14} \rangle$ и $\langle \bar{C}_{15} \rangle$ следующим образом: $\delta^2 H = 0$, (31) то есть даже при наличии флуктуаций имеет место нейтральная устойчивость эволюции сложной системы.

В случае линейной зависимости $\langle \bar{C}_1 \rangle$ и энергетических кластеров $\langle \bar{C}_{12} \rangle$, $\langle \bar{C}_{13} \rangle$, $\langle \bar{C}_{14} \rangle$ и $\langle \bar{C}_{15} \rangle$ также имеет место нейтральная устойчивость.

В случае нелинейной зависимости подкластеров $\{\langle \bar{C}_{ij} \rangle\}$ ($i > 1$) от энергетического кластера могут возникать как устойчивые, так и неустойчивые режимы эволюции

фрактально-кластерной матрицы ФКМ сложной системы, то есть:

$$\delta^2 H \begin{cases} < 0 & - \text{устойчивый режим} \\ = 0 & - \text{нейтральная устойчивость} \\ > 0 & - \text{неустойчивый режим} \end{cases} \quad (32)$$

Проведенный выше анализ структурной устойчивости сложной системы на основе обобщенной термодинамики необратимых процессов И. Пригожина [4] и предлагаемой *фрактально-кластерной теории* относится к состояниям, близким к термодинамической ветви равновесия, то есть к линейной термодинамике необратимых процессов.

Критерием устойчивости для сложных систем, соответствующих понятию «диссипативных структур» И. Пригожина, является квадратичная знакопеременная форма, называемая производством приращения энтропии [4]. Для устойчивых диссипативных структур производство избыточной энтропии есть величина положительно определенная: $P[\delta H] > 0$, (33)

$$\delta H = \frac{\partial H}{\partial \langle \bar{C}_1 \rangle} \delta \langle \bar{C}_1 \rangle + \sum_{j=2}^5 \frac{\partial H}{\partial \langle \bar{K}_{1j} \rangle} \delta \langle \bar{C}_{1j} \rangle$$

где

Как отмечено в [4], однозначно знак производства избыточной энтропии в общем случае определить невозможно. Для конкретных систем необходимо использование феноменологических законов для определения знака $P[\delta H]$.

Для фрактально-кластерного описания структуры ЭС, находящейся вдали от равновесия, получено следующее выражение для квадратичной знакопеременной формы, то есть, для производства избыточной энтропии (или квазиэнтропии) для симметричного случая ФКМ ($\bar{C}_{ij} = \bar{C}_{ji}$):

$$P[\delta H] = \begin{cases} \delta \langle \bar{C}_1 \rangle < \frac{B}{1 - \langle \bar{C}_1 \rangle}, B > 0 & - \text{устойчивый режим} \\ \delta \langle \bar{C}_1 \rangle = \frac{B}{1 - \langle \bar{C}_1 \rangle} & - \text{нейтральный режим} \\ \delta \langle \bar{C}_1 \rangle > \frac{B}{1 - \langle \bar{C}_1 \rangle} & - \text{неустойчивый режим} \end{cases} \quad (34)$$

$H < H_0$

где B определяется по начальным значениям $\langle \bar{C}_1 \rangle^0$ и $\delta \langle \bar{C}_1 \rangle^0$.

Таким образом, можно сделать вывод, что синтез *фрактально-кластерной теории* и обобщенной термодинамики необратимых процессов позволяет в явном виде оп-

ределить вид критерия устойчивости вдали от состояния равновесия ЭС.

Рассмотрим вопрос об устойчивости траектории перевода сложной системы из произвольного в идеальное состояние в соответствии с основными положениями фрактально-кластерной теории. Очевидно, что через две точки в фазовой плоскости энтропия – время ($H - t$) могут проходить как устойчивые, так и неустойчивые траектории трансформирования системы с точки зрения фрактально-кластерной теории.

Рассмотрим фрактально-кластерную структуру сложной системы, находящейся в состоянии, близком к термодинамической ветви равновесия, то есть при анализе эволюции можно использовать линейную термодинамику неравновесных процессов.

В соответствии с данным фактом можно использовать теорему о минимуме производства энтропии [4].

Для простоты рассмотрим симметричную ФКМ топологической структуры сложной системы, тогда энтропия системы определяется по (31).

Используя теорему И. Пригожина о минимуме производства энтропии [4], определим вид функции $f(\bar{t})$ из условия нейтральной устойчивости:

$$\frac{dP}{d\bar{t}} = 0, \quad \text{где} \quad P = \frac{dH}{d\bar{t}} \quad (35)$$

Выражение трансформационной функции $f(\bar{t})$, осуществляющей перевод из произвольного в идеальное состояние фрактально-кластерной структуры сложной системы, по траектории нейтральной устойчивости имеет следующий вид:

$$f(\bar{t}) = \{\exp(\alpha) - 1\}^{-1} (\exp[\alpha \cdot \bar{t}] - 1) \quad (36)$$

В общем случае ненулевой правой части в выражении для производства энтропии получаем следующее выражение для трансформационной функции $f(\bar{t})$:

$$f(\bar{t}, \varepsilon) = -\frac{\varepsilon}{\alpha} \bar{t} + \left(1 + \frac{\varepsilon}{\alpha}\right) \cdot \{\exp(\alpha) - 1\}^{-1} (\exp[\alpha \cdot \bar{t}] - 1) \quad (37)$$

Выражение для функции $f(\bar{t}, \varepsilon)$ соответствует следующим качественно различным режимам трансформирования топологической фрактально-кластерной структуры сложной системы из неидеального в

идеальное состояние:

$$\varepsilon = \begin{cases} = 0 - \text{трансформирование сложной системы} \\ \quad \text{по траектории нейтральной устойчивости} \\ > 0 - \text{неустойчивая траектория трансформирования} \\ \quad \text{сложной системы} \\ < 0 - \text{устойчивая траектория трансформирования} \\ \quad \text{сложной системы} \end{cases} \quad (38)$$

6. Апробация ФК-теории для ЭС микро-, мезо- и макроуровня. В качестве первого примера в табл. 3 приведен ретроспективный фрактально-кластерный анализ управления муниципальными структурами для Московской области и муниципального департамента г. Нешуа США. Из данной таблицы видно, что для американского муниципального департамента ФКС практически идеальны, критерий эффективности управления $D_{эфф}$ и полная эффективность системы близки к 100%. Для муниципальных структур Московской области наиболее удачным с точки зрения управления является 1993 г.

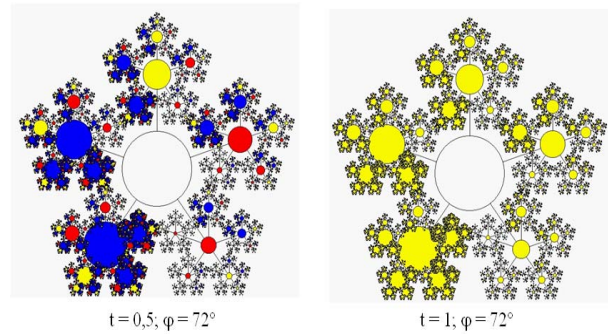


Рис. 5. Эволюция ФКС шестого уровня $\varphi=72^\circ$

Первым предприятием ОАО «Форра» был крупнейший в России производитель маргаринов, жиров и майонезов, в недавнем прошлом лидер масложировой отрасли России, ОАО «Самарский жиркомбинат».

В работе проанализирована динамика его развития с 1999 по 2001 г. по модели экономического роста Дюпон и Ольсон. Согласно показателям этих моделей, до 2000 г. комбинат работает достаточно эффективно,

Таблица 3

Сравнительный анализ управления муниципальными структурами

Наименование структуры	Энтропия		Критерий эффективности $D_{эфф}$	Полная эффективность η^Σ	Относительное отклонение от идеального		
					ε_H	ε_D	ε_η
Муниципальные структуры Московской области	1990 г.	0,360	0,1132	0,83	41,7%	88,6%	17%
	1993 г.	0,564	0,8755	0,969	8,7%	12,5%	3,1%
	1996 г.	0,407	0,7227	0,9257	3,4%	27,8%	7,5%
Municipal Department USA, t. Nessua	1993 г.	0,603	0,97	0,99	2,42%	3%	1%
	1994 г.	0,6156	0,9875	0,9957	0,4%	1,2%	0,4%

Обобщенный критерий χ для г. Нешуа США максимален, что свидетельствует об оптимальности управления.

На рис. 5 показаны различные сценарии топологических структур ФКМ для различных временных этапов эволюции ФКМ к ее идеальному значению. В качестве второго примера иллюстрации разработанной теории ресурсораспределения в ЭС микроуровня представлены результаты анализа для предприятий Самарского регионального холдинга «Форра».

чем свидетельствует рост рентабельности продаж, рентабельности чистых активов и собственного капитала, рост капитализации фирмы.

Однако уже в 2000 г. наблюдается, что наряду с вышеупомянутыми

показателями растет и кредитный портфель организации (с 1999 г. рост кредитной массы составил 8,7 раза). Отрицательное значение рабочего капитала также свидетельствует о неустойчивом состоянии предприятия.

В 2001 г. происходит резкое падение всех показателей. За счет роста текущих пассивов падает величина чистых активов, падает объем продаж, предприятие начинает работать в убыток, растет отрицательная величина рабочего капитала и средневзвешенная стоимость капитала. Таким обра-

зом, к 2001 г. комбинат становится зависим от кредиторов, а, следовательно, более уязвим и финансово неустойчив.

Используя модель стоимости компании, было получено, что с 1998 по 2000 г. происходит рост стоимости компании, однако в 2001 г. наблюдается резкое падение стоимости комбината.

Такая тенденция достаточно закономерна и связана с увеличением кредитного портфеля, уменьшением стоимости чистых активов и получением отрицательного финансового результата.

После того, как были проанализированы внешние показатели деятельности предприятия, был проведен структурный анализ деятельности комбината на основе фрактально-кластерной теории. Такой анализ позволяет проанализировав структуру затрат организации, показать, устойчиво ли она работает и каковы тенденции ее развития.

Таким образом, данные, полученные при анализе с помощью моделей Дюпона и Ольсона, согласуются с данными, полученными при информационно-термодинамическом анализе, – предприятие работает неэффективно и теряет структурную устойчивость.

Далее было проанализировано еще одно предприятие холдинга – ОАО «Самарстройдеталь». Предприятие занимается производством деревянных окон, дверей, бруса и других изделий из древесины.

Проанализировав данную организацию с помощью модели Дюпон и Ольсон, было показано, что почти все показатели предприятия имеют положительную динамику, а, значит, предприятие работает устойчиво и стабильно. Предприятие получает прибыль, реинвестирует, наращивает свои активы, налицо явный экономический рост.

Однако проведенный анализ деятельности предприятия на основе ФК-теории показал, что, несмотря на устойчивый характер эволюции ФК – энтропии ($d^2N/dt^2 < 0$), уровень фрактально-кластерной энтропии низкий ($N < N_0$) и продолжает падать, а это значит, что если не осуществить перераспределения ресурсов в расходной части бюджета в соответствии с рекомендациями ФКМ, пред-

приятие может вскоре оказаться в структурном кризисе.

Таким образом, анализ состояния предприятия на основе предложенной теории позволил заблаговременно выявить кризисные тенденции в развитии фирмы.

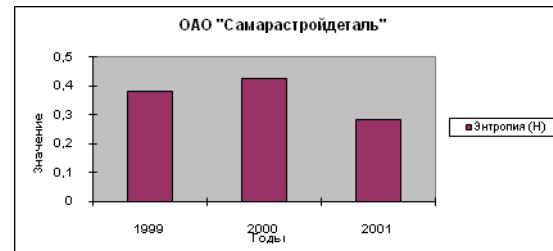


Рис. 7. Гистограмма энтропии (H) управления ОАО «Самарстройдеталь»

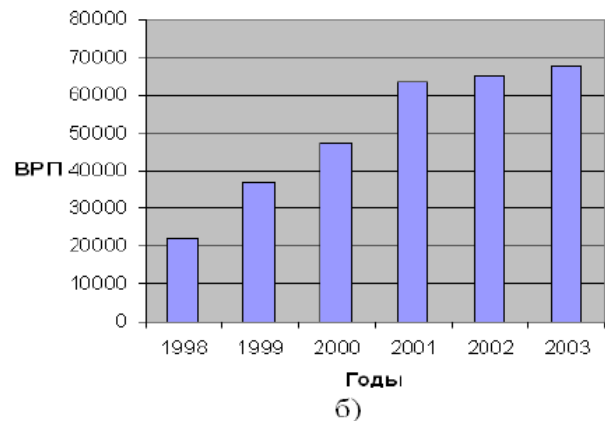
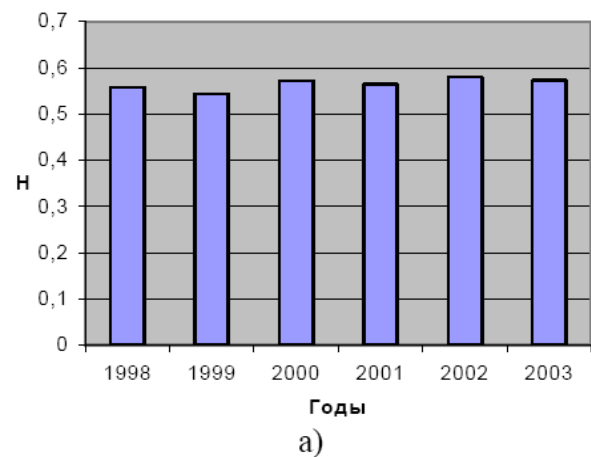


Рис. 8. Гистограмма энтропии бюджета Самарской области

Фрактально-кластерный анализ бюджета Самарской области по данным структуры бюджета Самарской области за 1995-2001 годы представлен на гистограммах (рис.8-9). Из данных иллюстраций следует, что имеет место слабое осциллирование фрактально-кластерной энтропии N около значения $N_0 \approx 0,618$ – «золотого сечения»

($\Delta H/H_0 \approx 0,01 \div 0,03$), это свидетельствует о нормальном распределении ресурсов бюджета области в период с 1995 по 2001 г. Результаты фрактально-кластерного анализа подтверждаются статистическими данными по ВРП, темпам экономического роста, инвестиций, повышению уровня жизни в Самарской области (Самарская область входит в тройку наиболее успешных в экономическом плане регионов России).

Как видно из рис. 8а и 9, имеет место подтверждение гипотезы о волнах малой интенсивности H (функциональная неустойчивость) для успешно развивающейся ЭС.

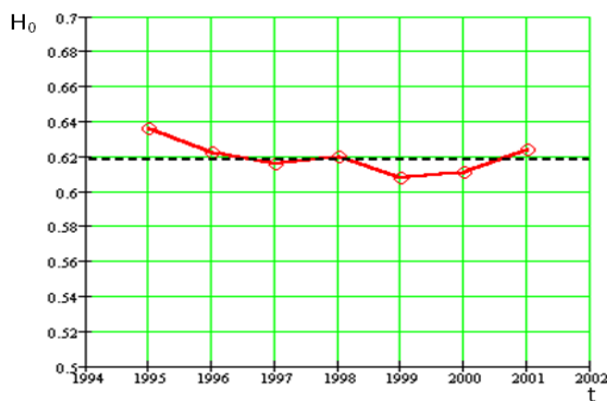


Рис. 9. Изменения ФК – энтропии структуры бюджета за период 1995-2001 гг. по Самарской области

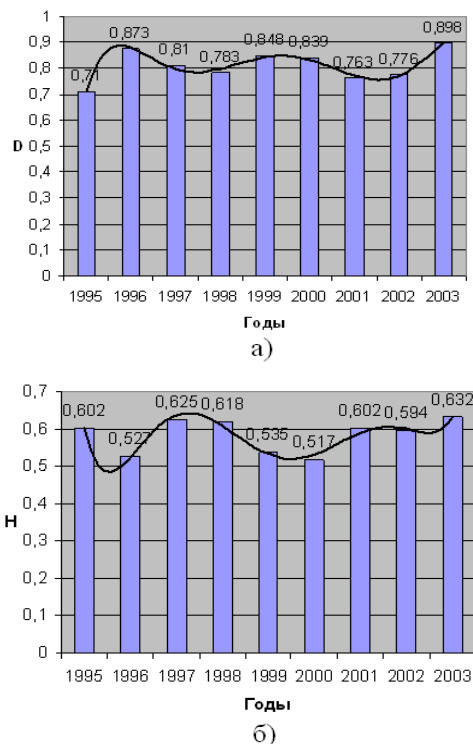


Рис. 10. Динамика фрактально-кластерных критериев (а) — $D_{эф}$, б) — H для ВВП России

Анализ ресурсораспределения ВВП на базе разработанной теории показывает, что качество ресурсораспределения улучшается ($D_{эф} = 0,898$), наблюдается уменьшение амплитуды структурных колебаний H во времени, т.е. имеют место устойчивые этапы развития экономики России (рис. 10).

7. Обобщенный критерий оптимизации управления ЭС на базе фрактально-кластерной системы.

В результате проведенного информационно-термодинамического анализа ресурсораспределения в экономических системах на базе фрактально-кластерных моделей можно сделать вывод, что сформулирован новый обобщенный критерий оптимизации управления экономическими системами — оптимальное управление экономической системой с точки зрения фрактально-кластерных моделей — это, в отличие от традиционных представлений (максимум прибыли), устойчивое бескризисное развитие экономической системы, соответствующее экстремальности статических фрактально-кластерных критериев ($D_{эф}, \eta^z, H$) и полученным решениям устойчивого трансформирования (динамические критерии устойчивости).

Данный обобщенный критерий оптимизации управления представляет собой совокупность статических и динамических фрактально-кластерных критериев ($D_{эф}, H, d^2H/dt^2, \chi, \delta^2H, P[\delta H]$) и решений по устойчивому трансформированию экономической системой микро- и мезоуровня (13 - 16, 37), то есть, представляет условия устойчивого бескризисного функционирования ЭС. Однако данный критерий ни в коей мере не отвергает традиционных критериев — максимальной прибыли и минимальности издержек, а дает возможность синергетического (совместного) решения задач оптимизации управления ЭС.

8. ФК-анализ биологических организмов. Помимо апробации предложенной теории для экономических систем в статье представлены результаты применения фрактально-кластерной теории для анализа генезиса биологических организмов (табл. 4). По данным исследованиям В.П. Бурдакова оп-

ределялись значения фрактально-кластерных критериев энтропии (H), F-критерия и критерия эффективности $D_{эф}$.

В результате проведенного анализа были выявлены три фундаментальных закономерности на основе фрактально-кластерного подхода для биологических организмов:

1) вероятностный закон, определяющий вероятность возникновения биологических организмов (как видно из рис. 11, имеется биекция – наиболее древние биологические организмы – хламидомонады, гидры, имели наибольшую вероятность возникновения $\sim 0,01$);

2) эволюционный закон (рис. 12, 13), иллюстрирующий увеличивающуюся сложность и совершенство возникающих организмов;

3) энергетический закон (рис. 11), характеризующий энергетическое совершенство биологических организмов (зависимость фрактально-кластерной энтропии H или F-критерия от энергопотребления на 1 кг веса в сутки).

Вероятностный FK – закон развития биологических организмов получается за счет распределения возможных состояний фрактально-кластерной системы в зависимости от критерия $D_{эф}$ и соотнесения данного распределения с обработанными значениями $D_{эф}$ – критерия для биологических организмов (табл. 4).

Из данного рис. 11 видно, что фрактально-кластерная вероятность появления человека на Земле имеет вполне ощутимое значения $P \sim 6 \cdot 10^{-4}$.

Вторая фундаментальная закономерность показывает рост эффективности распределения ресурсов в организмах ($D_{эф}$) во времени (рис. 12).

На рис. 11 представлена третья выявленная фундаментальная закономерность определяющая связь свободной фрактально-кластерной энергии биологического организма и уровнем энергопотребления на 1 кг веса. Данная закономерность представляет собой в определенном смысле термодинамический ответ на вывод маятника Вольтера-Лотки (дичь – хищник): судя по уровню свободной фрактально-

кластерной энергии (F) у биологических организмов (включая млекопитающих, рыб, насекомых и т.д., за исключением червей – крайние правые точки на рис. 11) – она имеет в среднем одно и тоже значение, т.е. имеется в среднем баланс между хищниками и дичью.

Важно отметить, что математическое выражение для второй и третьей закономерности имеет один и тот же вид:

$$Z = a - \frac{b^n}{c} \tag{39}$$

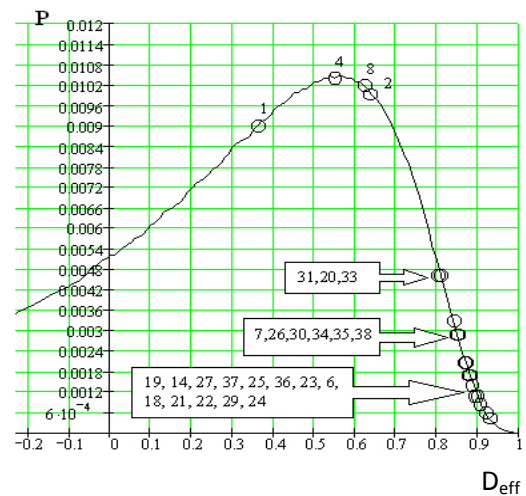


Рис. 11. Вероятностный FK закон для биологических организмов

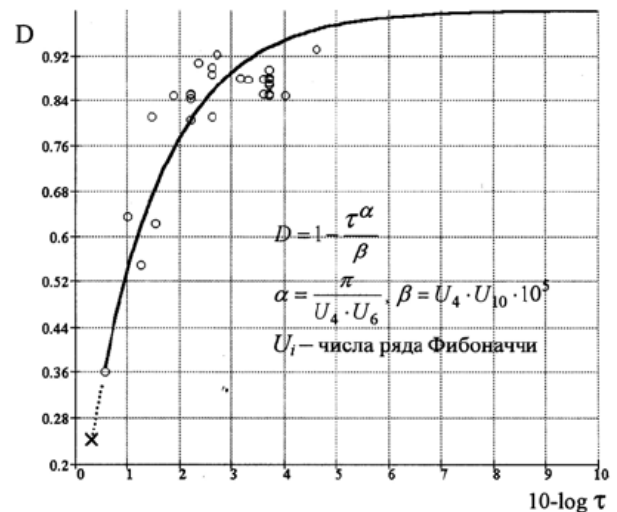


Рис. 12. Эволюционный FK закон для биологических организмов

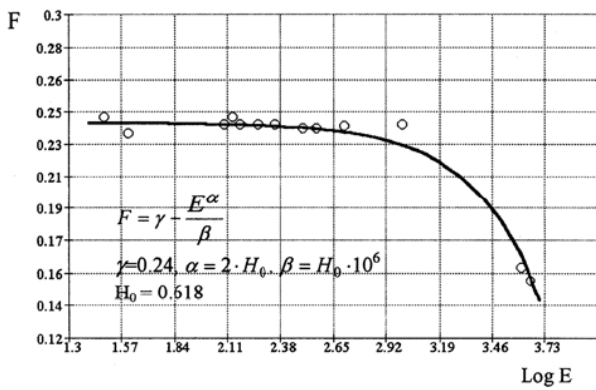


Рис. 13. Энергетический ФК закон для биологических организмов

Таблица 4

Продолжение таблицы 4

	Species of Biological organism	D	H	χ	C_1	F
1	<i>Chlamydomonas</i>	0,361	0,622	0,324	0,387	-0,235
2	<i>Hydra vulgaris</i>	0,636	0,637	0,619	0,4	-0,237
3	<i>Scorpiones ingrelicus</i>	0,833	0,561	0,726	0,338	-0,223
4	<i>Oligochaeta</i>	0,549	0,342	0,281	0,19	-0,152
5	<i>Anisoptera libellula depressa</i>	0,832	0,832	0,827	0,4	-0,238
6	<i>Micromys minutus</i>	0,882	0,639	0,886	0,4	-0,239
7	<i>Ronaidibunda</i>	0,849	0,639	0,852	0,4	-0,239
8	<i>Testudo horsefieldi</i>	0,624	0,614	0,579	0,38	-0,234
9	<i>Cuculus canorus</i>	0,882	0,639	0,886	0,4	-0,239
10	<i>Procellariida</i>	0,872	0,662	0,904	0,42	-0,242
11	<i>Larus argentatus</i>	0,883	0,627	0,872	0,39	-0,237
12	<i>He-roestes edwardsi</i>	0,879	0,639	0,882	0,4	-0,239
13	<i>Ciconia ciconia</i>	0,868	0,664	0,902	0,421	-0,243
14	<i>Lepus timidus</i>	0,871	0,639	0,875	0,4	-0,239
15	<i>Grus grus</i>	0,868	0,664	0,902	0,421	-0,243
16	<i>Paralithodes camtchatica</i>	0,553	0,359	0,282	0,2	-0,159
17	<i>Pelecanida onocrotalus</i>	0,871	0,639	0,875	0,4	-0,239

18	<i>Vulpes vulpes</i>	0,895	0,639	0,9	0,4	-0,239
19	<i>Castor fiber</i>	0,868	0,664	0,902	0,421	-0,243
20	<i>Acinonyx jubatus</i>	0,811	0,639	0,81	0,4	-0,239
21	<i>Canis lupus</i>	0,9	0,639	0,905	0,4	-0,239
22	<i>Pan troglodytes</i>	0,907	0,627	0,897	0,39	-0,237
23	<i>Oryctoropus afer</i>	0,881	0,633	0,879	0,395	-0,238
24	<i>Homo sapiens</i>	0,932	0,614	0,906	0,38	-0,234
25	<i>Ursus arctos</i>	0,879	0,639	0,882	0,4	-0,239
26	<i>Cervina nippon</i>	0,852	0,639	0,855	0,4	-0,239
27	<i>Sus scrofa</i>	0,878	0,639	0,881	0,4	-0,239
28	<i>Pongo pygmaeus</i>	0,883	0,627	0,871	0,39	-0,237
29	<i>Gorilla gorilla</i>	0,922	0,627	0,913	0,39	-0,237
30	<i>Equida burchelli</i>	0,849	0,636	0,845	0,4	-0,239
31	<i>Tursiops</i>	0,806	0,659	0,827	0,42	-0,242
32	<i>Equus caballus</i>	0,849	0,636	0,845	0,4	-0,239
33	<i>Galeocerdo cuvieri</i>	0,811	0,639	0,81	0,4	-0,239
34	<i>Camelus bactrianus</i>	0,851	0,639	0,853	0,4	-0,239
35	<i>Giraffa camelopardalis</i>	0,852	0,639	0,854	0,4	-0,239
36	<i>Hippopotamus amphibius</i>	0,878	0,639	0,881	0,4	-0,239
37	<i>Loxodonta africana</i>	0,878	0,639	0,881	0,4	-0,239
38	<i>Balaena mysticetus</i>	0,849	0,663	0,881	0,42	-0,243
39	<i>Balaenoptera musculus</i>	0,849	0,663	0,881	0,42	-0,243

Заключение. Разработанная фрактально-кластерная теория позволяет анализировать и оптимизировать ЭС в аспекте ресурсораспределения. Сформулирован новый обобщенный критерий оптимизации управления ЭС на базе разработанных фрактально-кластерных критериев и решений устойчивого трансформирования. Апробация разработанной теории для анализа процессов ресурсораспределения в ЭС

микро- и мезоуровня подтвердила ее основные положения и рекомендации. Фрактально-кластерная теория и модели, разработанные на ее основе, будут являться доминирующими при прогнозе развития ЭС, в которых нельзя или затруднительно оценить в стоимостном отношении продукт данной системы (образовательные заведения, фундаментальные исследования и т.д.). для ЭС – «затраты – выпуск», где с высокой степенью вероятности можно прогнозировать выпускаемый продукт и оценивать эффективность ЭС (рентабельность производства, продаж, ВРП, ВВП и т.д.), будут доминировать традиционные экономико-математические модели межотраслевого баланса. Для данного класса ЭС предложенная фрактально-кластерная теория и разработанные на ее основе модели могут использоваться в качестве вспомогательного инструментария анализа управления ЭС. Анализ развития биологических организмов на основе разработанных фрактально-кластерных критериев позволил выявить три фундаментальных закономерности: вероятностный закон возникновения биологических организмов; эволюционный и энергетический.

Литература

1. Бурдаков В.П. Эффективность жизни.– М.: Энергоиздат, 1997.

2. Волов В.Т. Фрактально-кластерная теория управления образовательными структурами.– Казань: Изд-во Казанского гос. ун-та, 2000.

3. Волов В.Т. Экономика. Флуктуации и термодинамика.– Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2001.

4. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации.– М.: Мир, 1973.

5. Стратонович Р.Л. Нелинейная неравновесная термодинамика.– М.: Наука, 1985.

References

1. Burdakov VP. Effektivnost' zhizni. Moscow: Energoizdat; 1997. Russian.

2. Volov VT. Fraktal'no-klasternaya teoriya upravleniya obrazovatel'nymi strukturami. Kazan': Izd-vo Kazanskogo gos. un-ta; 2000. Russian.

3. Volov VT. Ekonomika. Fluktua-tsii i termodinamika. Samara: Izd-vo SNTs RAN; 2001. Russian.

4. Glensdorf P, Prigozhin I. Termodinamicheskaya teoriya struktury, ustoychivosti i fluktuatsii. Moscow: Mir; 1973. Russian.

5. Stratonovich RL. Nelineynaya neravnovesnaya termodinamika. Moscow: Nauka; 1985. Russian.