

## Энтропийный метод мониторинга реализации экономических стратегий

**Крынев Александр Витальевич** — д.ф.-м.н., профессор Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

**Матохин Валентин Викторович** — заместитель руководителя направления «Системы управления инновационной деятельностью компании «ТЕКОРА».

**Харитонов Владимир Витальевич** — д.ф.-м.н., профессор, директор Экономико-аналитического института Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

*Состояния, далекие от равновесия, могут терять устойчивость и переходить к одному из многих возможных состояний. В этом мире неустойчивости и эволюции к новым организованным структурам решать «судьбу» системы могут очень малые факторы, часто выходящие за экспериментальный контроль.*

Пригожин И., Кондепуди Д.  
Современная термодинамика

### Введение

Реализация экономической стратегии предприятия, холдинга, отрасли или иной «экономической системы» нуждается в регулярном мониторинге для своевременного принятия управленческих решений. Сформировалась целая область деятельности, называемая «контроллинг» или «корпоративный навигатор» (1, 2). Контроллинг интегрирует в единую систему учет, планирование, контроль и анализ на основе целей функционирования. Основой контроллинга является текущее сопоставление плановых (нормативных) и фактических показателей. Цель контроллинга — дать возможность менеджерам всех уровней управления контролировать достижение целей и тем самым добиваться эффективности как в оперативном режиме, так и в стратегической перспективе.

В данной работе авторы развивают идеи нового энтропийного подхода к мониторингу экономических стратегий на основе характера распределения ресурсов в экономической системе (3–5). Динамическое равновесие системы может нарушаться под действием множества факторов. Если отклонения от равновесия принимают систематический характер, то они со временем могут накопиться и привести экономическую систему к кризисному состоянию. Важно поэтому уловить негативные тенденции на ранней стадии их развития, что дает больший запас времени для при-

нятия необходимых мер по предотвращению последствий перехода в новое состояние. Именно такую возможность предоставляет предлагаемый энтропийный метод.

**Распределение ресурсов как характеристика состояния системы**

Интуитивно понятно, что одной из характеристик системы как единого целого является распределение ресурсов внутри нее. Это распределение возникает как результат взаимодействия потребностей системы и внешних ограничений (как по ценам на ресурсы, так и по имеющемуся в распоряжении системы доходу от реализации своей деятельности). Оно может изменяться с сохранением или без сохранения общего количества распределяемого ресурса ( $S_N$ ) и числа позиций ( $N$ ), по которым ведется распределение. Распределение ресурсов по потребностям (позициям) часто представляют в виде таблицы (рис. 1) или в виде диаграмм долевого распределения (рис. 2). Очевидно, что любое локальное изменение в распределении видоизменяет доленое распределение, поскольку при построении диаграмм обычно используется нормировка на общую сумму всех ресурсов. Удобнее бывает сравнивать распределения в разные моменты времени с помощью диаграмм Лоренца, широко используемых в экономике, в частности для анализа степени неравномерности распределения семей по уровню их доходов (6).

Поясним методику построения диаграммы Лоренца для произвольной последовательности  $\{G_j\}$  из  $N$  чисел на конкретном примере. В качестве исходной числовой последовательности возьмем ряд из  $N = 5$  чисел: 600, 70, 100, 200, 30. Прежде всего упорядочим этот ряд чисел в порядке их возрастания:  $G_1 = 30; G_2 = 70; G_3 = 100; G_4 = 200; G_5 = 600$  и рассчитаем ряд частичных сумм  $\{S_n\}$  «нарастающим итогом» по формуле:

$$S_n = G_1 + \dots + G_n \quad (1 \leq n \leq N).$$

Т.е.  $S_1 = G_1 = 30, S_2 = 30 + 70 = 100, \dots, S_5 = 1000$ . На диаграмме Лоренца (рис. 3) значения, откладываемые по вертикальной оси  $Y$ , определяются нормированием частичных сумм  $S_n$  на сумму всех чисел рассматриваемой последовательности ( $y_n = S_n / S_N$ ) в процентах или в относительных единицах. Соответствующие значения координат по горизонтальной оси  $X$  определяются аналогичным способом ( $x_n = n / N$ ), где последовательность «номеров» (позиций) элементов систем берется в порядке возрастания элементов (кумулятивная кривая). В итоге, откладывая полученные точки ( $x_n, y_n$ ) внутри квадрата со сторонами, равными единице (или 100%), получаем диаграмму Лоренца для исследуемой последовательности (рис. 3).

Отметим, что описанный подход позволяет нанести в виде диаграмм Лоренца любые числовые последовательности. Можно сказать, что диаграмма Лоренца представляет собой своеобразное «ранговое распределение».

Использование процедуры упорядочения исходных последовательностей чисел по их возрастанию позволяет разместить все диаграммы Лоренца между двумя предельными конфигурациями: линией  $A$ , отражающей абсолютно равномерное распределение («Анар-

хия»), и линией  $M$ , характеризующей абсолютно неравномерное распределение («Монархия»).

Имея набор диаграмм Лоренца для различных моментов времени состояния выделенной экономической системы, можно судить о предпочтительных распределениях, позволяющих сделать вывод о положительном или негативном характере происходящих изменений.

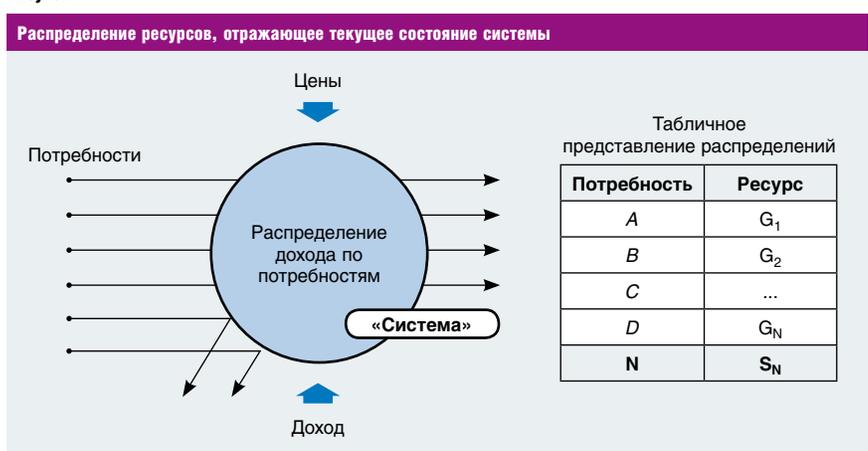
**Примеры состояний экономических систем с предпочтительным характером распределения ресурсов**

Несложно убедиться в том, что указанные предельные варианты ( $A$  и  $M$ ) достаточно редко встречаются в экономической практике. Принимая во внимание малую вероятность появления указанных предельных случаев и их граничное положение в иерархии всевозможных распределений, можно предположить, что существует промежуточный (наиболее вероятный) вариант распределения (рис. 4). Ниже даны примеры такого рода распределений.

**Распределение средств по проектам целевой программы**

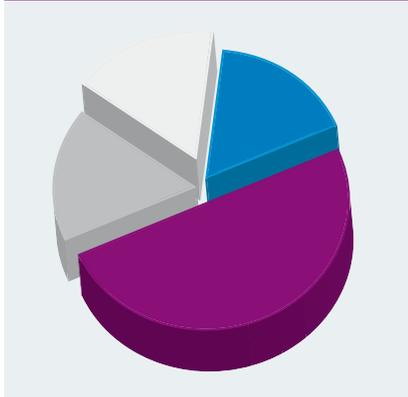
На рис. 5 приведены диаграммы Лоренца для ежегодных распределений средств по конкурсным проектам Государственной

**Рисунок 1**



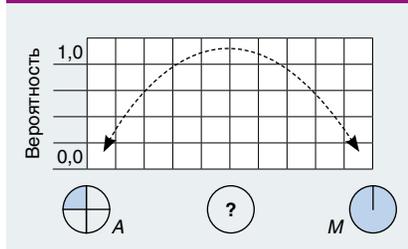
**Рисунок 2**

**Круговая диаграмма представления числовой последовательности**



**Рисунок 4**

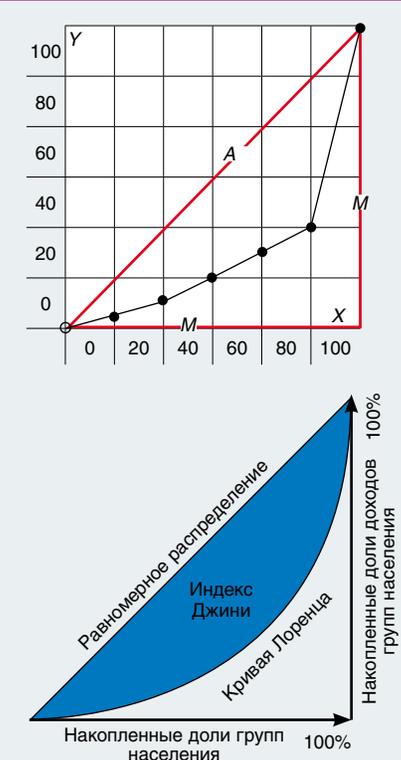
**Гипотеза о существовании предпочтительных числовых последовательностей**



научно-технической программы «Высокотемпературная сверхпроводимость (1988–1993 гг.)». Совпадение диаграмм Лоренца для шести ежегодных распределений, значительно отличающихся по числу финансируемых проектов  $N$  и величине распределяемых средств  $S_N$ , указывает на существование стационарного динамического состояния программы как экономической системы. Указанное состояние оставалось неизменным и в 1992–1993 гг. — время

**Рисунок 3**

**Диаграммы Лоренца для произвольного числового ряда и для двух предельных по неравномерности рядов**



особенно резких экономических изменений в России. Причем форма диаграммы Лоренца близка к окружности. Такая стабильность кривой Лоренца свидетельствует, по-видимому, о преобладании принципов распределения средств по проектам.

**Распределение расходов в рамках одной бизнес-функции**

В книге Филипа Котлера «Основы маркетинга» (7) приведены в

качестве примера усредненные данные по расходам при реализации бизнес-функции «Поставка товаров потребителю» (рис. 6). Данный пример отличается от предыдущего тем, что расходы в рамках целевой функции производятся в различные моменты времени. Видно, что и для данного распределения диаграмма Лоренца близка к окружности (пунктирная линия на рис. 6).

**Распределение средств по статьям консолидированного баланса**

В книге Эрика Хелферта «Основы финансового анализа» (8) приведены примеры распределений финансовых средств по пассивам и активам предприятия компании TRW.Inc. Как следует из рис. 7, диаграмма Лоренца для распределения пассивов и активов предприятия близка к окружности.

**Распределение рабочего времени менеджерами**

Еще один пример, указывающий на возможность существования предпочтительных состояний экономических систем и соответствующих распределений ресурсов, не имеет прямого отношения к распределению финансовых средств. В качестве объекта для анализа было взято распределение своего рабочего времени менеджерами ведущих американских компаний (табл. 1).

Как и в предыдущих примерах, фактическая диаграмма Лоренца близка к окружности (рис. 8).

**Таблица 1**

**Распределение рабочего времени менеджеров ведущих американских компаний**

Наименование статьи расхода времени у менеджеров	Доля времени, %	Номер статьи в порядке возрастания затрат времени	Кумулятивные суммы долей времени, Sn, %
Поездки, осмотры	3	1	3
Разговоры по телефону	6	2	9
Незапланированные встречи	10	3	19
Работа с бумагами	22	4	41
Запланированные встречи	59	5	100
Всего:	100	N=5	

Источник: Mintzberg H., *The Nature of Managerial Work*, New-York, Harper&Row, 1973, p. 39.

**Аппроксимация диаграмм Лоренца однопараметрической функцией**

Для дальнейшего анализа удобно аппроксимировать диаграмму Лоренца однопараметрической функцией  $y = F(x, \alpha)$ :

$$y = F(x, \alpha) = 1 - \sqrt{1 - x^\alpha} [1].$$

Здесь параметр  $\alpha$  может изменяться от 1 до  $\infty$ . При  $\alpha = 1$

функция  $F(x, \alpha) = x$  и характеризует равномерное распределение ( $A$ ). При  $\alpha = 2$  функция  $F(x, \alpha)$  совпадает с фрагментом окружности, а при  $\alpha \gg 2$  — описывает существенно неравномерное распределение, приближающееся к  $M$  (рис. 9).

Напомним, что отношение площади, ограниченной кривой Лоренца и линией абсолютного равенства  $A$  (рис. 3), к площади треугольника, лежащей под линией абсолютного равенства  $A$ , называют коэффициентом Джини (Gini coefficient) —  $G$ . Иногда индексом Джини называют коэффициент Джини, выраженный в процентах. Коэффициентом (индексом) Джини обычно характеризуют степень расслоения общества данной страны или региона по отношению к какому-либо изучаемому признаку (как правило, по уровню годового дохода). В этом случае коэффициент Джини именуют индексом концентрации доходов. Он принимает значения от 0 до 1 (0 — в случае абсолютного равенства в распределении доходов, 1 — в случае абсолютного неравенства). Возрастание индекса Джини указывает на рост неравенства.

Аппроксимация фактических диаграмм Лоренца функцией  $F(x, \alpha)$  позволяет найти связь параметра  $\alpha$  с коэффициентом Джини, то есть использовать вместо коэффициента Джини параметр  $\alpha$  и упорядочить числовые последовательности по степени неравномерности (характера) распределения последовательностей чисел. Согласно определению коэффициента Джини при достаточно большом числе  $N$ , имеем:

$$G = 1 - 2 \int_0^1 y(x) dx = \left( 1 - 2 \int_0^1 (1 - \sqrt[1/\alpha]{1-x^\alpha}) dx \right) = 2 \int_0^1 (1 - x^\alpha)^{1/\alpha} dx - 1 \quad [2].$$

В общем случае этот интеграл аналитически не берется и определяется численными методами. В частном случае при  $\alpha = 2$ , когда

Рисунок 5

Диаграммы Лоренца для ежегодных распределений средств по проектам ГНП «Высокотемпературная сверхпроводимость» в 1988–1993 гг.

Год	$N$	$S_N$ (млн руб.)
1988	273	143,1
1989	362	137,6
1990	432	136,9
1991	553	109,4
1992	345	411,2
1993	353	930,0

$S_N$  — ежегодный объем финансирования  
 $N$  — число проектов в программе

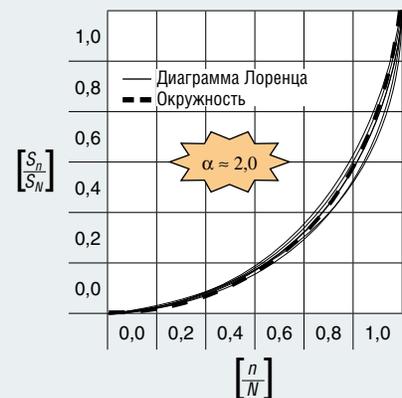


Рисунок 6

Диаграмма Лоренца для распределений расходов, разнесенных по времени

Наименование статьи расходов	Доля расходов
Упаковка	5
Административные расходы	4
Обработка заказов	3
Складирование	26
Получение и отгрузка товара	6
Поддержание товарно-материальных запасов	10
Транспортировка за пределы региона	46

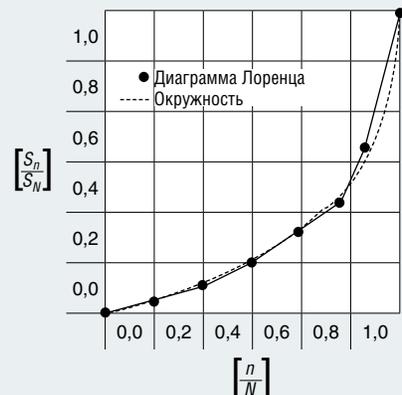
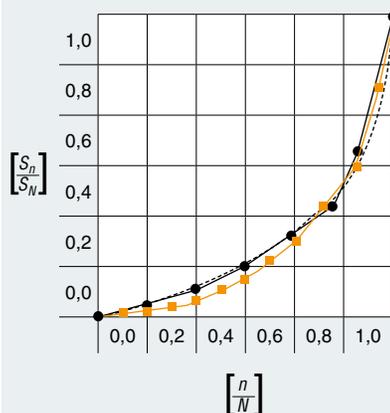


Рисунок 7

Диаграммы Лоренца пассивов и активов компании TRW Inc., 1991 г.



● Диаграмма Лоренца  
----- Окружность

диаграмма Лоренца совпадает с фрагментом окружности, имеем  $G = \pi/2 - 1 \approx 0,57$ . При  $\alpha < 2$  коэффициент Джини меньше 0,57, а при  $\alpha > 2$  получим  $G > 0,57$ .

По данным (9, 10), индекс Джини, рассчитанный по годовому доходу жителей, для Москвы равен 0,58, для России — более 0,41. Для ряда стран Европы и Австралии  $G = 0,25 - 0,3$ , для США — около 0,5, а для некоторых стран Африки и Латинской Америки индекс Джини превышает 0,6.

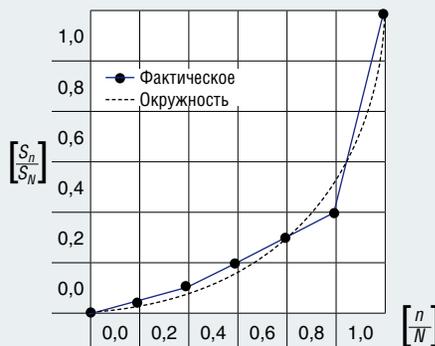
### Энтропия числовых последовательностей

Весьма продуктивным оказался подход, опирающийся на физиче-

Рисунок 8

Диаграммы Лоренца распределений времени менеджерами

Наименование статьи расходов времени	Доля (%)
Поездки, осмотры	3
Запланированные встречи	59
Разговоры по телефону	5
Незапланированные встречи	10
Работа с бумагами	22



ские методы определения состояния сложных систем с помощью энтропии. Энтропия характеризует вероятность состояния системы. У И.Р. Пригожина и Дилипа Кондепуди по этому поводу сказано: «В обычной механике обычными переменными являются координаты и импульсы. У нас же основной переменной будет статистическая функция распределения  $\rho$ , с помощью которой можно вычислять средние значения любых функций координат и импульсов. Таким образом, можно сказать, что знание  $\rho$  обеспечивает полное знание «состояния» системы» (11).

При известной плотности распределения вероятностей  $\rho(g, \alpha)$  некоторой непрерывной числовой последовательности, такой, что  $\rho(g, \alpha)dg$  есть вероятность попадания относительной величины ресурса  $g = G_n / G^* = G_n N / SN$

в интервал  $(g, g + dg)$ , энтропия определяется интегралом:

$$S(\alpha) = - \int \rho(g, \alpha) \ln \rho(g, \alpha) dg \quad [3].$$

Здесь величина  $g$  является величиной ресурса, приведенной к средней величине ресурса  $G^* = S_N / N$ , т.е. нормирована на величину  $S_N / N$ .

В нашей работе «Статистические функции распределения ресурсов в экономике», на которую мы ссылались выше, показано, что для однопараметрического распределения числовой последовательности в виде [1] плотность вероятности определяется выражением:

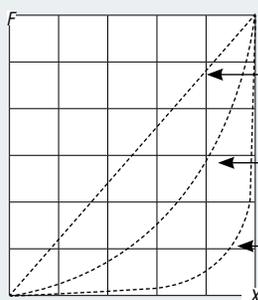
$$\rho(g, \alpha) = \frac{1}{\alpha - 1} \frac{g^{\frac{2-\alpha}{\alpha-1}}}{\left(1 + g^{\frac{\alpha}{\alpha-1}}\right)^{\alpha+1}} \quad [4],$$

Рисунок 9

Функция  $F(x, \alpha)$  для различных значений параметра  $\alpha$

Аппроксимирующая функция  $F(x, \alpha)$  для различных значений параметра  $\alpha$

$$F(x, \alpha) = 1 - \sqrt{1 - x^\alpha}$$



Характер распределения

Абсолютно равномерный А

Равномерный Р

Существенно неравномерный М

подстановка которого в выражение [3] дает искомую зависимость энтропии системы от параметра распределения  $\alpha$ . Как следует из рис. 10, зависимость энтропии от параметра  $\alpha$ , определяющего характер диаграммы Лоренца, имеет максимум в окрестности  $\alpha \approx 1,8$ . Следовательно, можно утверждать, что среди числовых последовательностей, описывающих распределение ресурсов в выделенной произвольной экономической системе, есть предпочтительные последовательности или предпочтительные состояния экономической системы, при которых энтропия [3] максимальна. Интересно, что существование оптимального распределения никак не связано с природой рассматриваемого распределения, т.е. обладает некоей универсальностью.

### О практическом применении энтропийного подхода к анализу состояния экономических систем

Приведем пример практического применения энтропийного подхода к анализу устойчивости экономических систем. Так, в частности, был проведен анализ баланса предприятия Enron в период, предшествующий официальному признанию банкротства компании 2 декабря 2001 г. На рис. 11 показана динамика изменения  $\alpha$ -параметра для активов и пассивов компании. Обращает на себя внимание тот факт, что состояние компании с позиций энтропийного подхода распадается на два периода: до и после 1 декабря 1999 г. В период «до» значения  $\alpha$ -параметров пассивов и активов находились вблизи теоретического максимума энтропии ( $\alpha \approx 1,8$ ; см. рис. 9, 10) и были близки по значениям. В период «после» отмечается изменение состояния активов компании, что отразилось в снижении  $\alpha$ -параметра активов компании. Ликвидация такого снижения потребовала привлечения дополнительных средств и наращивания активов

компании, что и демонстрирует линия резкого нарастания активов в период «после». Такая ситуация не могла способствовать устойчивому развитию компании и могла послужить причиной потери управляемости компании и ее банкротства.

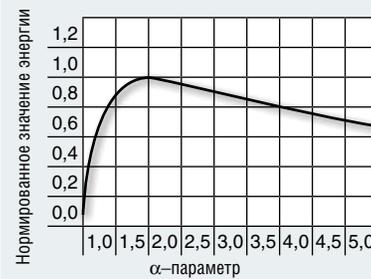
### Заключение. Адаптационный потенциал экономических систем

В данной работе на основе энтропийного анализа распределения ресурсов в произвольной экономической системе показано, что существует оптимальное распределение, удаленное как от равномерного, так и от существенно неравномерного распределений ресурсов. Предпочтительному распределению ресурсов соответствует значение параметра  $\alpha \approx 1,8$ , входящего в функцию [1], аппроксимирующую кривую Лоренца. Интересно, что существование оптимального распределения никак не связано с природой рассматриваемого распределения, т.е. обладает некоей универсальностью.

Для жизнеспособной экономической системы в процессе ее жизнедеятельности характерны минимальные затраты ресурсов и кратчайшие сроки приспособления к новым условиям. Использование предпочтительного распределения ресурсов (числовых последовательностей с максимумом энтропии) для управления экономической системой дает определенную свободу выбора вариантов принятия управленческих решений и, следовательно, наилучшую возможность адаптироваться к происходящим изменениям. При распределениях ресурсов, близких к равномерному (вариантам А) и существенно неравномерному (вариантам М) у системы имеются ограниченные возможности для адаптации к изменяющимся внешним условиям, о чем свидетельствует снижение энтропии [3].

Рисунок 10

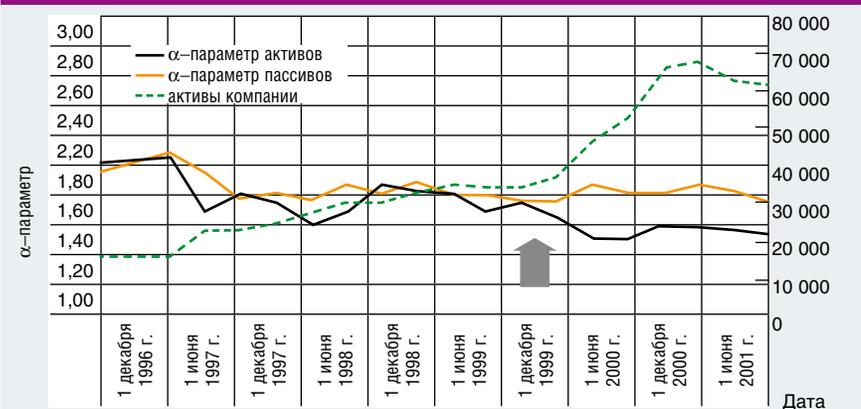
Зависимость нормированной энтропии числовой последовательности от характера распределения  $\alpha$  числовой последовательности



В силу вышесказанного вместо термина «энтропия» применительно к экономической системе удобнее использовать термин «индикатор адаптационной эффективности»  $S(\alpha)$ . Отслеживание в динамическом режиме числовых значений индикатора адаптационной эффективности (или величины параметра  $\alpha$ ) позволяет оценивать текущее состояние исследуемой экономической системы и дает возможность прогнозировать ее состояние в будущем. Речь может идти только о попытке найти такое статистическое распределение, к которому система постоянно стремится, но никогда в нем долго не находится. В каком-то смысле ситуация подобна маятнику, стремящемуся в процессе колебаний к точке покоя. Этой точкой покоя является состояние с максимумом функции  $S(\alpha)$ . вс пэс...

Рисунок 11

Динамика изменения  $\alpha$ -параметра для активов и пассивов компании Enron Corp. в период, предшествующий официальному признанию банкротства компании 2 декабря 2001 г.



### Примечания

1. Концепция контроллинга: Управленческий учет. Система отчетности. Бюджетирование. М.: Альпина Бизнес Букс, 2008.
2. <http://www.intalev.ru/>
3. Крынев А.В., Матохин В.В., Климанов С.Г. Статистические функции распределения ресурсов в экономике. М.: Препринт МИФИ, 1998.
4. Antoniou I., Ivanov V.V., Korolev Yu.L., Kryanev A.V., Matokhin V.V., Suchanecki Z. Analysis of resources distribution in economics based on entropy. Physica A 304 (2002), pp. 525–534.
5. Antoniou I., Ivanov V.V., Kryanev A.V., Matokhin V.V., Shapovalov M.V. On the efficient resources distribution in economics based on entropy. Physica A 336 (2004), pp. 549–562.
6. Гусев А.Б. Доходное и жилищное неравенство граждан: механизм поддержания социальной стабильности // Проблемы теории и практики управления. 2007. № 4, с. 50–59.
7. Котлер Ф. Основы маркетинга. М.: Прогресс, 1989.
8. Хелферт Э. Техника финансового анализа. М.: Аудит, ЮНИТИ, 1996.
9. <http://monitoring.iis.ru>
10. <http://www.business-magazine.ru>
11. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. М.: Мир, 2002.