REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227
Volume 6, Number 310 (2016), 53 – 61

UDC 536.75+681.513.8

V.P. Malyshev, Y.S. Zubrina, A.M. Makasheva

Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan
e-mail: eia_hmi@mail.ru

THE ROLE OF THE BOLTZMANN-SHANNON ENTROPY IN UNDERSTANDING THE PROCESSES OF SELF-ORGANIZATION

Abstract. Chaotic and ordered state are so intimately connected that their combination is subject to the law of conservation of sum of entropy H and information I, which are responsible, respectively, for the chaotic and orderly beginning. This law should be called the law of Boltzmann-Shannon, because the entropy is given by Boltzmann, and the interpretation of information is given by Shannon.

Interconnection of entropy and information is expressed in the law of conservation of maximum entropy. Display of any self-organizing system can be achieved by referring of entropy H and the information I to the maximum value of the entropy H_{max} with produce of interconnection of relative entropy h and relative information i through unity.

Examples of the implementation of self-organization systems are detected by the correlation with the ideal system not only achieved level of self-organization, but also the degree of approximation to the ideal system.

Keywords: the Boltzmann-Shannon entropy, processes, self-organization, chaotic state, ordered state, combination, implementation.

УДК 536.75+681.513.8

В.П. Малышев, Ю.С. Зубрина, А.М. Макашева

Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, Караганда, Казахстан

РОЛЬ ЭНТРОПИИ БОЛЬЦМАНА-ШЕННОНА В ПОНИМАНИИ ПРОЦЕССОВ САМООРГАНИЗАЦИИ

Аннотация. Хаотическое и упорядоченное настолько неразрывно, что их сочетание подчиняется закону сохранения суммы энтропии H и информации I, которые отвечают соответственно за хаотическое и упорядоченное начала. Этот закон должен называться законом Больцмана-Шеннона, т.к. выражение для энтропии дано Больцманом, а трактовка понятия информации Шенноном.

Взаимосвязь энтропии и информации выражается законом сохранения максимума энтропии. Отображение любых самоорганизующихся систем может быть достигнуто путем отнесения энтропии H и информации I к максимальному значению энтропии H_{max} с получением взаимосвязи относительной энтропии hи относительной информацииi через единицу.

Примеры реализации самоорганизующихся систем выявляют при корреляции с идеальной системой не только достигнутый уровень самоорганизации, но и степень приближения к идеальной системе.

Ключевые слова: энтропия Больцмана-Шеннона, процессы, самоорганизация, хаотическое состояние, упорядоченное состояние, сочетание, реализация.

Введение

Все, что происходит в мире – это процесс самоорганизации хаотического состояния в более упорядоченное с обретением той или иной степени устойчивости. Сочетание хаотического и упорядоченного настолько неразрывно, что подчинено закону сохранения максимума энтропии H_{max}, а точнее суммы энтропии H и информации I, которые отвечают соответственно за хаотическое (бесструктурное) и упорядоченное (структурное) начала

$$H + I = H_{max}. \tag{1}$$

С полным правом этот закон должен именоваться законом Больцмана-Шеннона, поскольку выражение для статистической энтропии дано Больцманом [1,2], а информационная трактовка получена Шенноном [3,4] в виде математически тождественных определений

$$H = -\sum_{i=1}^{n} P_i \log P_i. \tag{2}$$

Они отличаются лишь основанием логарифма, соответственно натуральным и двоичным.

В этом равенстве P_i означает долю элементов системы, обладающих тем или иным i-ым уровнем какого-либо признака различимости (по цвету, величине энергии, размеру и т.п.). По своей математической структуре выражение (2) представляет собой средневзвешенную по долевому содержанию P_i величину неопределенности этой доли, $\log\frac{1}{P_i}$. Таким образом, энтропия имеет смысл средневзвешенной неопределенности системы по какому-либо признаку различимости при общем числе занятых уровней различимости, равном n.

Важной особенностью энтропии является то, что она может быть математически проанализирована и вычислена. Так, если все элементы системы принадлежат одному и тому же уровню различимости (все одного цвета), то $P_i = 1$ и $H = 0$. Этому соответствует отсутствие беспорядка. Наоборот, если все уровни различимости представлены равными долями носителей этих уровней (все расцветки имеют по равному числу шаров), то $P_i = 1/n$, и это максимальное разнообразие выразится как

$$H_{max} = -\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{n}\log\frac{1}{n} = \log n. \tag{3}$$

При таких пределах энтропии промежуточное ее состояние (2) вычисляется по конкретному распределению P_i, по которому можно судить о динамике изменения энтропии в том или ином процессе. Соответственно этому по (1) находится количество информации:

$$I = H_{max} - H, \tag{4}$$

откуда следует, что она может быть определена только через энтропию и является вторичной функцией состояния системы, отражающей меру устраненной ее неопределенности.

В этом содержится глубокий философский смысл, заключающийся в том, что хаотическое состояние первозданно, а самоорганизация и связанная с ней возникающая причинность вторичны [5]. Но можно ли определить динамику этого процесса, так сказать, реперные точки последовательного упорядочения системы, ее самонастройки, имея в виду участие в процессе всех носителей признаков различимости системы общим числом N при условии $n \le N$[5]?

Самоорганизация системы как гармоническая самонастройка ее хаотизированных и упорядоченных частей

Вполне очевидно, что устойчивое состояние системы может быть достигнуто при согласованном взаимодействии ее противостоящих сторон. В этом случае необходимо определить единую меру этих сторон, для чего следует прежде всего представить их взаимосвязь согласно (1) в нормированном по H_{max} виде

$$h + i = 1, \tag{5}$$

где $h = H/H_{max}$, $i = I/H_{max}$, являясь соответственно относительной энтропией и относительной информацией.

Далее из общего понятия меры как отношения наименьшей доли какой-либо переменной к самой переменной, dx/x, [6,7] получаем относительную меру энтропии в виде dh/hи относительную меру информации в виде di/i. Соизмеримость этих мер возможна в том случае, когда между ними имеется целочисленное соответствие

$$dh/h = ndi/i. \tag{6}$$

Подобное соответствие широко реализуется, например, в физических системах, таких как резонансное по дискретной частоте колебание струн, целочисленное по длине волн де Бройля заполнение периметра электронных оболочек и др. Резонансные состояния отличаются наибольшей устойчивостью и особой выраженностью и поэтому характерны для любых систем. В явном виде взаимосвязь резонирующих составляющих может быть найдена путем интегрирования обеих частей равенства (6)

$$\int \frac{dh}{h} = n \int \frac{di}{i}, \tag{7}$$

откуда следует

$$\ln h = n \ln i = \ln i^n. \tag{8}$$

Из равенства логарифмируемых выражений находим

$$h = i^n \tag{9}$$

и с заменой h по формуле (5) получаем уравнение

$$i^n + i - 1 = 0. \tag{10}$$

Данное уравнение позволяет определять соразмерные, а значит гармоничные соотношения информационной и энтропийной составляющих системы, отвечающих соответственно за структурную и адаптивную устойчивость, т.е. за целостность функционирующей системы.

Пределами существования самоорганизующейся системы являются состояния при $n = 0$, когда согласно (10) $i = 0$ (а по (5) $h = 1$) и система полностью хаотизирована, и при $n \to \infty$, когда по (10)$i \to 1$ ввиду $(i< 1)^\infty \to 0$, а $h \to 0$ и система оказывается полностью структурированной. Оба предельных состояния устойчивы. Первое является первозданным хаотизированным состоянием, и ему соответствует нулевой уровень самоорганизации. Второе относится к избыточно заорганизованной системе, лишенной адаптивности, но способной пребывать сколь угодно долго в неизменной среде. Промежуточные состояния реализуются при таком воздействии на систему (например, энергетическом), когда оно используется для самоорганизации по законам термодинамики неравновесных процессов при сильном (нелинейном) отклонении от равновесия [8-11]. Этим состояния могут быть сопоставлены уравнения (10) для различных значений n.

Так, для $n = 1$ получается $i = 0{,}5$, чему соответствует $h = 0{,}5$. Равенство структурных и бесструктурных начал в системе означает преодоление превосходства хаотического состояния уже на первом уровне самоорганизации системы в сравнении с нулевым, для которого $i = 0$ и $h = 1$. Однако равенство $h = i$ является подобием состояния неустойчивого равновесия и может рассматриваться как необходимое, но недостаточное ввиду легкости отклонения в сторону превосходства хаотического состояния.

Интересное решение получается для $n = 2$. Уравнение вида

$$i^2 + i - 1 = 0 \tag{11}$$

имеет положительный корень

$$i = \frac{-1+\sqrt{5}}{2} = 0{,}618\ \ldots, \tag{12}$$

строго соответствующий пропорции золотого сечения (0,618□0,382). При этом система приобретает состояние с преобладанием структурной составляющей, но сохраняет достаточно большие адаптивные возможности для обеспечения целостности при h =0,382. Вообще же неподавляющее преимущество структурного начала над адаптивным служит наилучшим условием самоорганизации самых разнообразных систем, и в этом состоит универсальная значимость пропорции золотого сечения [12].

Однако это не исключает возможностей дальнейшей самоорганизации системы, повышающей её информационную насыщенность во всё более рафинированной, наименее возмущающей окружающей среде, чему могут быть примером биологические системы и тем более разумные, включая устройство и функционирование головного мозга, а также искусственного интеллекта.

Решения уравнений третьей и четвертой степени в общем виде известны, однако общее решение уравнений выше четвертой степени в виде радикалов, согласно теореме Галуа, принципиально невозможно, поэтому в данном случае следует использовать методы численных решений, задавшись некоторой точностью, и это же можно использовать для уравнений низших степеней.

Результаты подобных расчетов представлены в таблице 1 с точностью вычисляемых величин до 0,001, вполне достаточной для оценки динамики изменения информационной и энтропийной составляющих по мере самоорганизации системы.

Таблица 1 – Зависимость информационной (i) и энтропийной (h) составляющих от уровня самоорганизации системы (n)

n	i	h	n	i	h	n	i	h
0	0	1	5	0,755	0,245	10	0,835	0,165
1	0,5	0,5	6	0,778	0,222	11	0,844	0,156
2	0,618	0,382	7	0,796	0,204	12	0,852	0,148
3	0,688	0,312	8	0,812	0,188	13	0,859	0,141
4	0,724	0,276	9	0,824	0,176	14	0,866	0,134

По данным этой таблицы видно замедление роста информационной составляющей в процессе самоорганизации системы, когда, начиная с десятого уровня, это изменение уменьшается до 0,01 (1%), т.е. становится мало различимым. Вероятно, по этой причине сложные системы редко образуют иерархическую структуру с числом уровней более десяти, тем более что энтропийная составляющая остается значимо заметной, порядка 15-20%, что позволяет ей осуществлять важную для эволюции адаптивную функцию.

Следует иметь в виду, что с каждым переходом на более высокий уровень, здесь представленный в относительных долевых единицах, в абсолютном информационном измерении емкость уровня резко возрастает в соответствии с законом прогрессивного увеличения разнообразия [13], благодаря чему как H_{max}, так и соответствующие значения Iи H становятся намного бо́льшими, сохраняя указанные в таблице 1 пропорции. Это можно отобразить в виде иерархической конической спирали с детализацией по данным таблицы 1 (рисунок 1).

Здесь длина окружности представляет собой общую энтропийно-информационную емкость системы ($H_{n,max}$) наn-ном уровне самоорганизации, причем пунктирная часть окружности соответствует энтропийной составляющей, а сплошная – информационной. При этом, несмотря на уменьшение относительной доли энтропийной составляющей, ее абсолютная величина увеличивается по мере перехода на более высокие уровни сложности системы. Эти переходы осуществляются скачком в непредсказуемый момент самонастройки при резонансе вновь образующихся более сложных элементов системы в пределах предыдущего уровня с хаотизированными элементами этого уровня. Порождение более сложных элементов из менее сложных является постоянным и обеспечивает сквозную иерархическую целостность системы, а также возможность ее неограниченного развития.

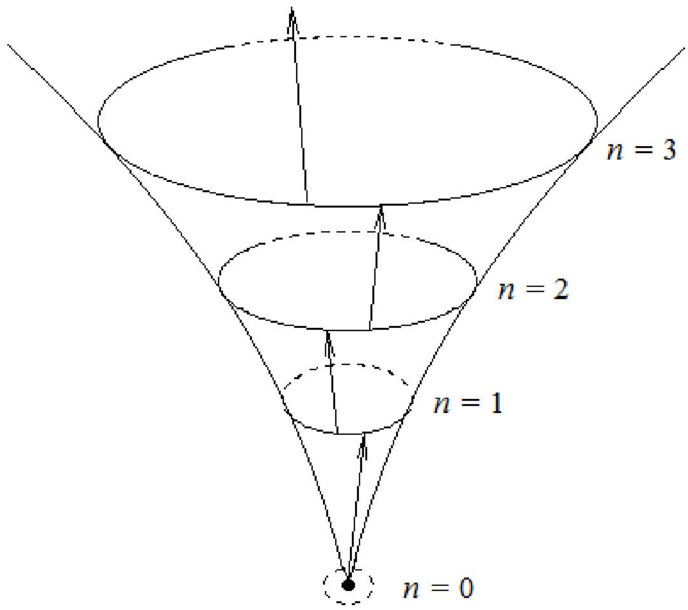

Рисунок 1 – Иерархическая спираль самоорганизации

Пример реализации многоуровневой самоорганизации систем

С точки зрения энтропийно-информационного анализа иерархических систем наиболее детальные исследования относятся к структуре текстов и языка по уровням организации букв (алфавита), слогов, слов, предложений, фраз, текстов различного масштаба и соответственно фонем, дифтонгов, морфем, лексем и т.д. [14]. Эти нормы рассчитывались для русских текстов с алфавитом N= 32 по формуле Шеннона (2) при пересчете натуральных логарифмов на двоичные

$$— \qquad (13)$$

по частоте появления различных букв во множестве различных текстов, а также по корреляции букв со слогами, словами, фразами. Найдено, что в расчете на одну букву неопределенность текстов составляет около 1 бита при максимально возможной неопределенности 5 бит [14]. Отсюда следует, что h = 1/5 = 0,2, аi = 0,8. Этому соответствует 7-8 уровень самоорганизации по данным таблицы 1, т.е. достаточно высокая смысловая детерминация текстов и речи при сохранении 20% резерва для дальнейшей адаптивности к совершенствованию языка (по грамматическому строю, неологизмам и т.п.).

Не менее разнообразны объекты для анализа технологического совершенства различных схем получения товарной продукции высокого уровня из природного или техногенного сырья [15-17]. В данном случае технологическое совершенство отождествляется с информационной составляющей технологии, а технологическое несовершенство (риски) – с энтропийной. Оценка этих составляющих ведется по всем последовательным переделам (операциям), которым соответствуют уровни самоорганизации. При этом под самоорганизацией понимается совершенствование технологии на всем историческом периоде ее становления с участием множества поколений разработчиков (творцов). В качестве эталона совершенства принимается долевое распределение информационной составляющей по уровням самоорганизации согласно уравнению (11) (таблица 1) или по более сложным вариантам этого распределения [18,19]. В любом случае первоначально определяется энтропийная составляющая, а затем по разности из формулы Больцмана-Шеннона (4) –информационная составляющая.

Например, переработка руды на металл характеризуется несколькими промежуточными переделами, каждый из которых содержит основные показатели по содержанию металла α и степени его извлечения в промежуточный продукт β. Эти показатели следует объединить для получения комплексной информационной оценки эффективности передела, но для этого необходимо раскрыть вероятностный смысл каждого показателя. Так, содержание металла α, если его выразить не в процентах, а в долях единицы, представляет собой вероятность обнаружения металла в передельном продукте, т.е. $\alpha = P_\alpha$. Тогда неопределенность этого единичного события выразится в информационных единицах как

$$H_\alpha = \log_2 \frac{1}{P_\alpha} = -\log_2 P_\alpha = -\frac{\ln P_\alpha}{\ln 2}, \text{ бит.} \quad (14)$$

Аналогично извлечение металла в передельный продукт β в долях единицы тождественно равно вероятности перехода его из сырья в данный продукт. Отсюда получаем энтропию извлечения, равную для единичного множества

$$H_\beta = \log_2 \frac{1}{P_\beta} = -\log_2 P_\beta = -\frac{\ln P_\beta}{\ln 2}, \text{ бит.} \quad (15)$$

Принципиально важным свойством энтропии частей системы является то, что ее можно складывать (непосредственное сложение α и β не имеет смысла), поэтому комплексная энтропия содержания и извлечения, т.е. по двум признакам различимости, равна

$$H_{\alpha\beta} = H_\alpha + H_\beta = -\frac{\ln P_\alpha}{\ln 2} - \frac{\ln P_\beta}{\ln 2} = -\frac{\ln(P_\alpha P_\beta)}{\ln 2}, \text{ бит.} \quad (16)$$

Исходя из общего выражения энтропии для единичного множества $H = \log_2 \frac{1}{P} = -\frac{\ln P}{\ln 2}$ освобождением $P = \exp(-H\ln 2)$, находим выражение комплексной определенности передела строго в долях единицы

$$P_{\alpha\beta} = \exp(-H_{\alpha\beta} \ln 2) = 2^{-H_{\alpha\beta}} = 2^{\frac{\ln(P_\alpha P_\beta)}{\ln 2}}, \text{ д.е.} \quad (17)$$

Отсюда путем логарифмирования и отождествления логарифмируемых частей находим информационную составляющую передела

$$i = P_{\alpha\beta} = P_\alpha P_\beta = \alpha\beta, \text{ д.е.} \quad (18)$$

Этот показатель характеризует информационную определенность передела и может быть непосредственно сопоставлен с соответствующим уровнем самоорганизации для идеальной иерархической системы по ее информационной составляющей.

Следует отметить, что в отличие от более детальной оценки информации и энтропии, где использовался показатель передельного извлечения $\beta_{пер}$ (из предыдущего передела в последующий), в предлагаемом подходе необходимо учитывать информационное совершенство передела по **сквозному** извлечению $\beta_{скв}$ (из месторождения в рассматриваемый передел), для чего нужно перемножить все передельные извлечения вплоть до данного. Этим обеспечится абсолютная оценка передела в соответствии с абсолютным распределением информационной составляющей i по модели (10) для всей схемы, а также для любой ее части. Тем самым можно будет более определенно судить о необходимости и перспективе совершенствования того или иного передела, а также о достаточности самого количества переделов (уровней самоорганизации). В методологическом отношении необходимость учета сквозного извлечения целевого компонента по переделам следует из неразрывности сквозной иерархической структуры самоорганизованной динамической системы, иллюстрированной на рисунке 1.

Для примера рассмотрим производственную схему переработки медной сульфидной руды на катодную медь по двум способам – старой отражательной плавки и современной японской по процессу «Мицубиси» [20].

В таблице 2 приведены исходные данные и результаты расчета относительной информационной составляющей $i = P_{\alpha\beta_{скв}} = \alpha\beta_{скв}$ для способа производства меди с использованием отражательной плавки.

Коэффициент нелинейной множественной корреляции с соответствующими значениями информации i для идеальной схемы по шести уровням самоорганизации (таблица 1) составил R = 0,537. При этом последний передел (получение катодной меди) также характеризует схему в целом ввиду использования на этом переделе сквозного извлечения меди из месторождения. Здесь относительная информация дает представление о технологическом совершенстве схемы с показателем i_5 = 0,6998. Соответственно неопределенность схемы (степень ее несовершенства, рискованности) выразится как $h_5 = 1 - i_5$ = 0,3002.

Таблица 2 – Информационные показатели способа производства меди с использованием отражательной плавки

n	Передельный продукт	*α*, д. е.	$\beta_{пер}$, д. е.	$\beta_{скв}$, д. е.	$i = \alpha\,\beta_{скв}$, д. е.
0	руда	0,0125	0,9800	0,9800	0,0122
1	концентрат	0,1900	0,8250	0,8085	0,1536
2	штейн	0,2750	0,9490	0,7673	0,2110
3	черновая медь	0,9750	0,9280	0,7120	0,6942
4	анодная медь	0,9920	0,9830	0,6999	0,6943
5	катодная медь	0,9999	0,9999	0,6998	0,6997

Информационная оценка переработки медной руды по способу «Мицубиси» приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Информационные показатели способа производства меди по процессу «Мицубиси»

n	Передельный продукт	*α*, д. е.	$\beta_{пер}$, д. е.	$\beta_{скв}$, д. е.	$i = \alpha\,\beta_{скв}$, д. е.
0	руда	0,0085	0,9800	0,9800	0,0083
1	концентрат	0,2400	0,9235	0,9050	0,2172
2	штейн	0,5950	0,9710	0,8788	0,5229
3	черновая медь	0,9850	0,9310	0,8182	0,8059
4	анодная медь	0,9930	0,9870	0,8075	0,8019
5	катодная медь	0,9999	0,9999	0,8074	0,8073

Коэффициент корреляции с показателями самоорганизации по идеальной схеме составил *R* = 0,8752, а относительная информация для последнего передела и схемы в целом достигла значения i_5 = 0,8073. Соответственно неопределенность схемы уменьшились до величины $h_5 = 1 - i$ = 0,1927.

Более наглядное сопоставление информационных показателей рассматриваемых схем приведено на рисунке 2.

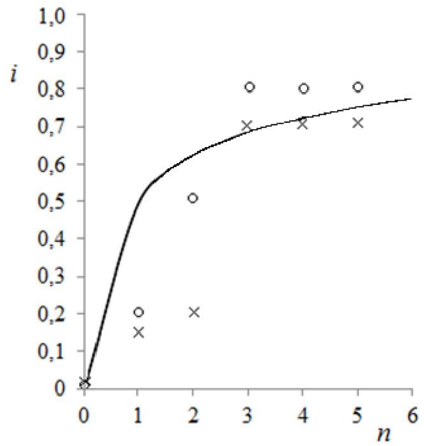

Рисунок 2 – Изменение информационной составляющей *i* по мере самоорганизации:
линия – для идеальной системы, х – для технологической схемы с отражательной плавкой, о – по способу «Мицубиси»

Наиболее существенные отличия обеих схем от идеальной выявляется на первом уровне самоорганизации (получение концентрата из руды), причем для способа с отражательной плавкой они наихудшие. На втором уровне самоорганизации (получение штейна) по процессу «Мицубиси» достигается наиболее существенное улучшение в сравнении с отражательной плавкой, и именно этот передел дает название обеим схемам в целом.

Выводы

- Энтропия Больцмана-Шеннона в математическом выражении определяет количество неопределенности системы по распределению в ней долевого содержания какого-либо признака различимости в процессе эволюционной самоорганизации и характеризуется максимальным значением, которое относится к полностью хаотизированному состоянию. Тем самым информационная определенность эволюционирующей системы может быть вычислена только по разности между максимальным и текущим значениями энтропии, чем подчеркивается смысл информации как меры устраненной неопределенности, возникающей в процессе самоорганизации. Взаимосвязь энтропии и информации выражается законом сохранения максимума энтропии Больцмана-Шеннона.

- Наиболее универсальное отображение любых самоорганизующихся систем может быть достигнуто в безразмерном виде путем отнесения энтропии H к информации Iи максимальному значению энтропии H_{max} с получением взаимосвязи относительной энтропии hи относительной информацииi в форме

$$h + i = 1.$$

- Самоорганизация системы характеризуется иерархической структурой с последовательным повышением доли информационной составляющей, которая отвечает за структурную целостность системы. Устойчивость системы должна определяться соразмерным, гармоничным отношением hиi на каждом уровне самоорганизации, начиная с нулевого и до любого более высокого n. Решение получено на основе целочисленного (резонансного) соответствия мер изменения h иi

$$dh/h = ndi/i$$

в виде уравнения

$$i^n + i - 1 = 0.$$

- Результаты расчета по данному уравнению с вариацией n дают такое распределение относительной информации i, при которой для $n = 0$ получается $i = 0$ (исходный уровень предельно хаотизированной системы), для $n = 1$ достигается положение неустойчивого равновесия $i = h = 0{,}5$, но для $n = 2$ формируется уровень, соответствующий пропорции золотого сечения i□h = 0,618 □ 0,382, обеспечивающий неподавляющее преимущество структурообразующей составляющей с дальнейшим построением иерархической системы при более высоких значениях i с сужением зоны для адаптирующей составляющей h.

- Примеры реализации самоорганизующихся систем в области построения текстов и металлургических технологий выявляют при корреляции с идеальной системой не только достигнутый уровень самоорганизации, но и степень приближения к идеальной системе, т.е. уровень совершенства реальной системы, резервы и перспективы ее дальнейшей самоорганизации.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Boltzman L. WeitereStudienьber das WдrmegleichgewichtunterCasmole – kьlen // Sitzber. Acad. Wiss. Wien. – 1872. – Bd. 66. – P. 275-376.

[2] Больцман Л. Избранные труды. Молекулярно-кинетическая теория газов. Термодинамика. Статистическая механика. Теория излучения. Общие вопросы физики. – М.: Наука, 1984. – 590 с.

[3] Shannon C.E. A mathematical theory of communication // Bell Systems Tech. J. – 1948. – V. 27. – P. 623-656.

[4] Шеннон К.Э. Математическая теория связи / Работы по теории информации и кибернетике. – М.: ИЛ, 1963. – С. 243-332.

[5] Малышев В.П. Вероятностно-детерминированное отображение. – Алматы: Ғылым, 1994. – 376 с.

[6] Сороко Э.М. Структурная гармония систем. – Минск: Наука и техніка, 1984. – 264 с.

[7] Сороко Э.М. Управление развитием социально-экономических структур. Минск: Наука и техника, 1985. 144 с.

[8] Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 393 с.

[9] Пригожин И.Р. От существующего к возникающему. – М.: Наука, 1985. – 328 с.

[10] Бак Пер. Как работает природа: теория самоорганизованной критичности. Пер. с англ. Изд. стереотип. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. – 276 с.

[11] Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б., Подлазов А.В. Нелинейная динамика: Подходы, результаты, надежды. Изд. Стереотип. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016. – 280 с.

[12] Ливио М. φ – Число Бога. Золотое сечение - формула мироздания. – М.: АСТ, 2015. 268 с.

[13] Седов Е.А. Эволюция и информация. – М.: Наука, 1976. – 232 с.

[14] Харкевич А.А. Очерки общей теории связи. – М.: Гостехтеоретиздат, 1955. – 268 с.

[15] Малышев В. П., Турдукожаева (Макашева) А.М., Кажикенова С.Ш. Обоснование информационной оценки качества технологических переделов и продуктов // Доклады НАН РК. – 2008. – № 6. – С. 62-65.

[16] Malyshev V.P., KazhikenovaS.Sh. Information–entropy analysis of the quality of manufacturing process of technological products // Eurasian Physical Technical Journal. 2009. – V.6. No 11. – Pp. 38-45.

[17] Malyshev V.P., KazhikenovaS.Sh.,Turdukozhaeva A.M. A Qualitative and Quantitative Evaluation of the Technological processes in the metallurgy of non-ferrous metals // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2009. – Vol. 50. – № 4. – P. 335-337.

[18] KazhikenovaS.Sh. A new interpretation of information analysis of quality of technological process and products // Nauka I Studia (Poland). – 2009. – Vol. 18. – № 6. – P. 6-13.

[19] Кажикенова С.Ш. Энтропийно-информационный анализ иерархической структуры технологических переделов в металлургии: автореф. дисс. докт. техн. наук: 05.16.08. – Караганда. – 36 с.

[20] Гудима Н.В., Шейн Я.П. Краткий справочник по металлургии цветных металлов. – М.: Металлургия, 1975. – 536 с.

REFERENCES

[1] Boltzman L. Sitzber. *Acad. Wiss. Wien*, **1872**, Bd. 66, 275-376 (in Eng.).

[2] Bol'cman L. Selected works. The molecular-kinetic theory of gases. Thermodynamics. Statistical mechanics. Radiation Theory. General questions of physics. M.: Nauka, 1984, 590 p. (in Russ.).

[3] Shannon C.E. *Bell Systems Tech. J.*, **1948**, 27, 623-656 (in Eng.).

[4] ShennonK.Je.The Mathematical Theory of Communication / Works on information theory and cybernetics. – M.: IL, 1963, 243-332 (in Russ.).

[5] Malyshev V.P. Probabilistic and deterministic mapping. Almaty: Fylym, 1994, 376 p. (in Russ.).

[6] Soroko Je.M. Structural harmony of systems. Minsk: Naukaitehnika, 1984. 264 p. (in Russ.).

[7] Soroko Je. M. Management of development of socio-economic structures. Minsk: Naukaitehnika, 1985. 144 p. (in Russ.).

[8] Haken G. Synergetics. M.: Mir, 1980. 393 p.(in Russ.).

[9] Prigozhin I.R. From Being to Becoming. M.: Nauka, 1985. 328 p.(in Russ.).

[10] Bak Per. How does the nature: the theory of self-organized criticality. Trans. from English. Ed. Stereotype. M.: Knizhnyjdom «LIBROKOM», 2015. 276 p.(in Russ.).

[11] Malineckij G.G., Potapov A.B., Podlazov A.V. Nonlinear Dynamics: Approach, results, hopes. Ed. Stereotype. M.: Knizhnyjdom «LIBROKOM», 2016. 280 p.(in Russ.).

[12] Livio M. φ – the Number of God. Golden Section - the formula of the universe. M.: AST, 2015. 268 p.(in Russ.).

[13] Sedov E.A. Entropy and information. M.: Nauka, 1976. 232 p.(in Russ.).

[14] Harkevich A.A. Essays of general theory of communication. M.: Gostehteoretizdat, 1955. 268 p.(in Russ.).

[15] Malyshev V. P., Turdukozhaeva (Makasheva) A.M., KazhikenovaS.Sh. *Doklady NAN RK*, **2008**, 6, 62-65(in Russ.).

[16] Malyshev V.P., KazhikenovaS.Sh. *Eurasian Physical Technical Journal*, **2009**, 6, 11, 38-45 (in Eng.).

[17] Malyshev V.P., KazhikenovaS.Sh.,Turdukozhaeva A.M. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, **2009**, 50, 4, 335-337 (in Eng.).

[18] KazhikenovaS.Sh. *Nauka I Studia (Poland)*, **2009**, 18, 6, 6-13 (in Eng.).

[19] KazhikenovaS.Sh. Entropy and information analysis of the hierarchical structure of technological processes in metallurgy: Abstract of diss. doctor. tehn. sciences: 05.16.08, Karaganda. 36 p.(in Russ.).

[20] Gudima N.V., ShejnJa.P. Quick reference to non-ferrous metals. M.: Metallurgija, 1975. 536 p.(in Russ.).

В.П. Малышев, Ю.С. Зубрина, А.М. Макашева

Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды қ., Қазақстан Республикасы

ӨЗІНДІК ҰЙЫМДАСТЫРУ ҮРДІСТЕРІНІҢ ТҮСІНІГІНДЕ БОЛЬЦМАН-ШЕННОН ЭНТРОПИЯСЫНЫҢ РӨЛІ

Аннотация. Ретсіз және ретке келтірілген жағдайларының беріктігі соншалықты, олардың үйлесімі I ақпараттары мен H энторпия бағасының сақталу заңына бағынады, жәнеде ол ретсіз және ретке келтірілген бастамаға сәйкес жауап береді. Бұл заң Больцман-Шеннон заңы деп аталуы керек, өйткені этропия үшін өрнек Больцманмен, ал ақпараттың түсіндірмесі Шеннонмен берілген.

Энтропия мен ақпараттың арақатынасы энтропия максимумын сақтау заңымен көрсетіледі. Кез келген өзіндік ұйымдастыру жүйелерінің кескіні салыстырмалы ақпарат пен H салыстырмалы энтропияның өзара байланысын алу арқылы H энтропиясын H_{max} энтропия мағынасының максимумына, I ақпаратына жатқызу жолымен жеткізілуі мүмкін.

Өзіндік ұйымдастырылған жүйелерді жүзеге асыру мысалдары идеалды жүйемен өзара байланыстылықта болуында тек өзіндік ұйымдастыру деңгейіне ғана жетіп қойған жоқ, сонымен қатар идеалды жүйеге жетудің жуықтау дәрежесі айқындалды.

Түйін сөздер: Больцман-Шеннон энтропиясы, үрдістер, өзіндік ұйымдастыру, ретсіз жағдай, ретке келтірілген жағдай, үйлесім, жүзеге асыру.