

Жаксылыкова М.И.  
магистрант 2 курса специальности «Информатика»,  
КарГУ имени академика Е.А. Букетова

Кажикенова С.Ш.  
д.т.н., профессор, КарГУ имени академика Е.А. Букетова

## НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ В ИССЛЕДОВАНИИ ЗАДАЧ ПРОИЗВОДСТВА

Важнейшим шагом на пути постижения природы и механизмов энтропийно-информационных закономерностей следует введение количественной меры информации. При общей характеристике энтропийно-информационного анализа любых объектов широко используется статистическая формула Шеннона для выражения неопределенности любой системы:

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (1.1)$$

где  $p_i$  – вероятность обнаружения какого-либо однородного элемента системы в их множестве  $N$ ;  $\sum_{i=1}^N p_i = 1$ ,  $p_i \geq 0$ ,  
 $i = 1, 2, \dots, N$ ;

$i$  – количество информации;

$N$  – количество возможных событий;

Мы рассмотрим применение данной формулы для количественной оценки неопределенности качества продукта или технологического передела через неопределенность главного элемента системы. В качестве вероятности обнаружения главного элемента технологической системы можно принять его содержание в продукте, выраженное в долях единицы. То же самое относится и к процессу извлечения элемента в тот или иной продукт, так как в этом случае показатель извлечения тождествен вероятности перехода данного элемента из одного состояния системы в другое состояние. Для оценки качества продукта или технологических переделов могут быть в равной степени использованы оба этих показателя – содержание и извлечение.

До опубликования созданной К.Шенноном теории Р.Хартли предложил определять количество информации по формуле:

$$H_{\max} = \log_2 N, \quad (1.2)$$

где  $H_{\max}$  – количество информации;  $N$  – число элементов системы.

Рассмотрим технологическую схему с длиной кода  $k = 2^n$ , то есть  $k$  в данном случае это выборка из множества элементов – элемент и не элемент, содержащихся в продукте. Технологический смысл этого ограничения сводится к тому, что детерминация системы в первом приближении оценивается по одному какому-то элементу, главному и целовому, а остальные принимаются в каждом переделе как единый остаток, то есть не элемент. Тогда уравнение примет вид:

$$H_{n(\max)} = 2^n \log N_0 = 2^n \log_2 2^n = 2^n.$$

На основании формулы (1.2) найдем максимальную информацию на начальных 16-ти уровнях при  $k = 2^n$ :

$$H_{n(\max)} = 2^n. \quad (1.3)$$

Следовательно, технологическую неопределенность различных операций в пределах одной технологической схемы можно выразить системным показателем неопределенности:

$$H_{n(\max)} = \sum_{i=0}^n H_i = \sum_{i=0}^n 2^i \text{ бит/эл.}, \quad (1.4)$$

Из формул для детерминированной и максимальной информации следует, что детерминированная составляющая информации  $I_n(d)$  определяется равенством:

$$I_n(d) = H_{n(\max)} - \frac{H_{n(\max)}}{(n+1)!} = H_{n(\max)} \left[ 1 - \frac{1}{(n+1)!} \right] \text{ бит/эл.},$$

$$I_n(d) = 2^n \left[ 1 - \frac{1}{(n+1)!} \right] \text{ бит/эл.}, \quad (1.5)$$

Стохастическую составляющую информации технологической системы, на каждом уровне определим следующим образом:

$$I_n(h) = \frac{H_{n(\max)}}{(n+1)!} = \frac{2^n}{(n+1)!} \text{ бит/эл.}, \quad (1.6)$$

Определив степени детерминации и неустраняемой стохастичности на каждом уровне иерархической системы по формулам:

$$d_n = \frac{I_n(d)}{H_{n(\max)}}, \quad h_n = \frac{I_n(h)}{H_{n(\max)}} = 1 - d_n,$$

и вычислим их системные значения.

Результаты проведенных расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные оптимальные энтропийно-информационные характеристики в идеальной иерархической системе для случая  $k = 2$ ,  $N_0 = 2$ .

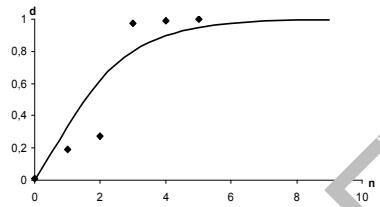
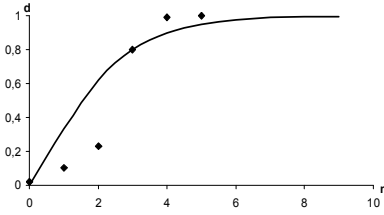
| $n$ | $I_n(d)$ | $H_{n(\max)}$ | $d_n$  | $I_{\Sigma_n}(d)$ | $H_{\Sigma_n}$ | $d_{\Sigma_n}$ |
|-----|----------|---------------|--------|-------------------|----------------|----------------|
| 0   | 0        | 1,0           | 0      | 0                 | 1,0            | 0              |
| 1   | 1,0000   | 2,0           | 0,5000 | 1,0000            | 3,0            | 0,3333         |
| 2   | 3,3333   | 4,0           | 0,8333 | 4,3333            | 7,0            | 0,6190         |
| 3   | 7,6667   | 8,0           | 0,9583 | 12,0000           | 15,0           | 0,8000         |
| 4   | 15,8667  | 16,0          | 0,9917 | 27,8667           | 31,0           | 0,8989         |
| 5   | 31,9556  | 32,0          | 0,9861 | 59,8222           | 63,0           | 0,9496         |
| 6   | 63,9873  | 64,0          | 0,9997 | 123,8095          | 127,0          | 0,9749         |
| 7   | 127,9968 | 128,0         | 1,0    | 251,8063          | 255,0          | 0,9875         |
| 8   | 255,9993 | 256,0         | 1,0    | 507,8056          | 511,0          | 0,9937         |
| 9   | 511,9999 | 512,0         | 1,0    | 1019,8055         | 1023,0         | 0,9969         |
| 10  | 1024,000 | 1024,0        | 1,0    | 2043,8055         | 2047,0         | 0,9984         |
| 11  | 2048,000 | 2048,0        | 1,0    | 4091,8055         | 4095,0         | 0,9992         |
| 12  | 4096,000 | 4096,0        | 1,0    | 8187,805          | 8191,          | 0,9996         |
| 13  | 8192,000 | 8192,0        | 1,0    | 16379,80          | 16383,         | 0,9998         |
| 14  | 16384,00 | 16384,        | 1,0    | 32763,80          | 32767,         | 0,9999         |
| 15  | 32768,00 | 32768,        | 1,0    | 65531,80          | 65535,         | 1,0            |
| 16  | 65536,00 | 65536,        | 1,0    | 131067,8          | 131071         | 1,0            |

В данной таблице приведены значения максимальных информационных, значения детерминированных составляющих информационных, их системные значения, рассчитанные на каждый уровень идеальной технологической схемы, а также уровневая и системная степени детерминации. При  $n = 0$  детерминация отсутствует, и вся информационная емкость системы относится к

стохастической части. Проведен энтропийно-информационный анализ качества технологических продуктов, а вместе с тем и технологических операций, приводящих к получению этих продуктов, по результатам технологических переделов производства меди (таблица 2) в зависимости от способа плавки. Сопоставление расчетных данных по интегральной модели с практическими данными производства цветных металлов на примере меди проиллюстрируем графически в координатах  $v$  и  $d$  в соответствии с рисунком 1, расположив графики по мере возрастания их корреляции с абстрактной иерархической системой.

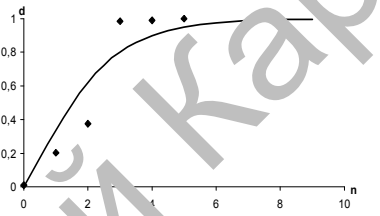
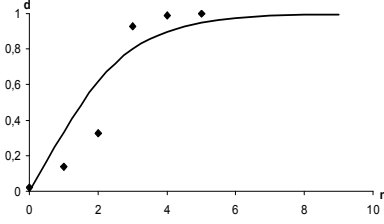
Таблица 2 – Содержание меди в продуктах технологических переделов

| Технология плавки                                                                              | Содержание меди на каждом уровне технологической схемы, % |            |       |               |              |               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------|-------|---------------|--------------|---------------|
|                                                                                                | Руда                                                      | Концентрат | Штейн | Чертог медный | Анодная медь | Катодная медь |
| Отражательная плавка                                                                           | 1,25                                                      | 19,0       | 27,5  | 97,5          | 99,2         | 99,99         |
| Шахтная плавка:<br>медно-серная<br>полупиритная                                                | 2,0                                                       | 10,5       | 23,0  | 80,0          | 99,2         | 99,99         |
|                                                                                                | 2,0                                                       | 10,0       | 22,5  | 93,0          | 99,2         | 99,99         |
| Электроплавка                                                                                  | 0,85                                                      | 20,5       | 37,5  | 98,5          | 99,2         | 99,99         |
| Автогенная плавка:<br>ПЖВ<br>КФП<br>ПВС<br>«Атлант»<br>КИЦЭТ<br>«Норда»<br>УСРКА<br>«Мицубиси» | 0,85                                                      | 24,0       | 59,5  | 97,5          | 99,3         | 99,99         |
|                                                                                                | 0,85                                                      | 26,5       | 57,0  | 97,5          | 99,3         | 99,99         |
|                                                                                                | 0,85                                                      | 30,0       | 39,0  | 97,5          | 99,3         | 99,99         |
|                                                                                                | 0,85                                                      | 30,5       | 62,0  | 97,5          | 99,3         | 99,99         |
|                                                                                                | 0,85                                                      | 25,0       | 61,0  | 97,5          | 99,5         | 99,99         |
|                                                                                                | 0,85                                                      | 22,0       | 62,5  | 97,5          | 99,3         | 99,99         |
|                                                                                                | 0,85                                                      | 21,5       | 59,0  | 98,85         | 99,3         | 99,99         |
|                                                                                                | 0,85                                                      | 24,0       | 59,5  | 98,5          | 99,3         | 99,99         |



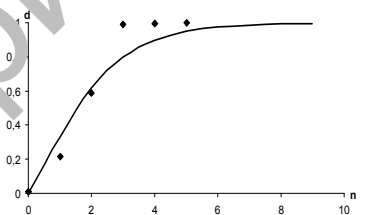
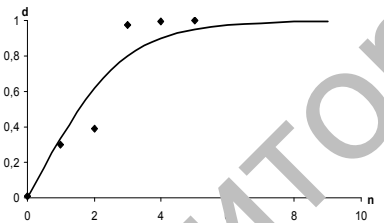
а) медно-серная

б) отражательная



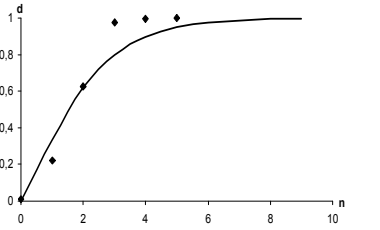
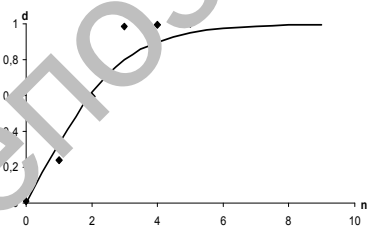
в) полупиритная

г) электроплавка



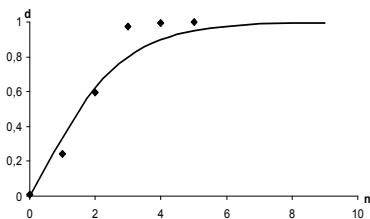
д) ПВХ

е) УОРКРА

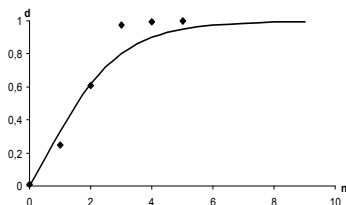


ж) Мицубиси

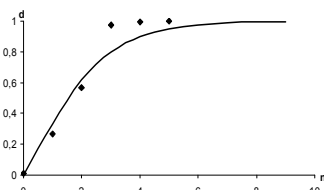
з) Норанда



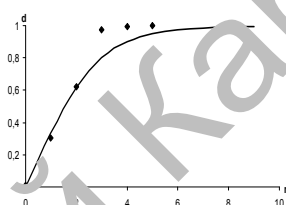
и) ПЖВ



л) КИВЦЭТ



к) КФП



м) Оуэкумпу

Рисунок 1 – Сопоставление расчетных данных по интегральной модели (линии), с практическими результатами технологий производства меди (точки)

Тесноту связи справочных и рассчитанных по предлагаемой модели данных оценим с помощью коэффициента нелинейной множественной корреляции и представим в таблице 3. Как показывает опыт развития металлургического производства, технология переработки руд цветных металлов совершенствуется на базе автогенных процессов взамен устаревших. Данный факт подтверждается приведенными в данной работе расчетами, полученными на основе информационной энтропии Шеннона.

Таблица 3 – Сравнительная оценка корреляционных данных по предлагаемой модели с показателями содержания меди в технологических переделах (в порядке возрастания  $R$ )

| Технология плавки              | Коэффициент корреляции $R$      |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Медно-серная плавка            | $R = 0,860793$ $t_R = 6,64613$  |
| Отражательная плавка           | $R = 0,861623$ $t_R = 6,694726$ |
| Полупиритная плавка            | $R = 0,903842$ $t_R = 9,874289$ |
| Электроплавка                  | $R = 0,922410$ $t_R = 12,36804$ |
| Плавка во взвешенном состоянии | $R = 0,934125$ $t_R = 14,6633$  |
| Процесс УОРКРА                 | $R = 0,958781$ $t_R = 27,7476$  |
| Процесс «Мицубиси»             | $R = 0,96251$ $t_R = 26,1673$   |
| Процесс «Норанда»              | $R = 0,962837$ $t_R = 26,39902$ |
| Плавка в жидкой ванне          | $R = 0,964729$ $t_R = 27,80619$ |
| Кислородно-факельная плавка    | $R = 0,965076$ $t_R = 28,625$   |
| КИВЦЭТ                         | $R = 0,965783$ $t_R = 28,71661$ |
| Процесс «Оутокумпу»            | $R = 0,968962$ $t_R = 31,71067$ |

На основании проведенных исследований по способам плавки цветных металлов на примере производства меди и свинца нами установлены, как наиболее адекватные, действительно приоритетные агломерационные процессы – Оутокумпу, КИВЦЭТ, КФП и ПЖВ. Наименьшей корреляционной зависимостью с информационной моделью связаны шахтная и отражательная плавки, что в действительности указывает на то, что эти способы плавки далеко не удовлетворяют чисто технологическим требованиям к современному металлургическому процессу.