

# МЕТАЛЛУРГИЯ

---

МРНТИ 53.37

*С.Ш. Кажикенова<sup>1</sup>, С.Н. Шалтаков<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Карагандинский государственный технический университет,  
г. Караганда, Казахстан

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АВТОГЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СХЕМ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КАЗАХСТАНА

---

**Аннотация.** Составлены математические модели технологических схем производства меди на металлургических предприятиях Казахстана. Получены новые расчетные формулы для оценки каждого передела и технологической схемы в целом. Установлена высокая корреляция идеальной иерархической структуры сложных систем со структурой технологических схем реальных металлургических производств меди на предприятиях Жезказганцветмет, Балхашцветмет, Казцинк, KAZ Minerals Bozshakol. Как показывает опыт развития металлургического производства, технология переработки медных, никелевых и некоторых свинцово-цинковых руд совершенствуется на базе автогенных процессов. Данный факт подтверждается приведенными в данной работе расчетами, полученными на основе информационной энтропии Шеннона. Тем самым решена проблема по теоретическому обоснованию и практическому применению единых информационных закономерностей для сравнительной оценки конкурирующих технологических схем и совершенствования действующих металлургических производств.

**Ключевые слова:** энтропия, информация, информационные закономерности, технологические схемы, медь, автогенные процессы.

• • •

**Түйіндеме.** Қазақстанның металлургиялық кәсіпорындарында мыс ендірісінің технологиялық схемаларының математикалық модельдері құрастырылды. Әрбір қайта белу мен жалпы технологиялық схеманы бағалау үшін жаңа есептік формулалар алынды. Күрделі жүйелердің иерархиялық құрылымының идеалды математикалық моделі өзірленді. Жезказганцветмет, Балхашцветмет, Казцинк, KAZ Minerals Bozshakol Қазақстан кәсіпорындарында мыстың нақты металлургиялық ендірісінің технологиялық схемаларының құрылымы бар күрделі жүйелердің идеалды иерархиялық құрылымының жоғары корреляциясы орнатылды. Металлургиялық ендірісті дамыту тәжірибесі керсеткендей, мыс, никель және кейбір қорғасын-мырыш кендерін еңдеу технологиясы автогенді процестер негізінде жетілдірілуде. Бұл дерек Шеннонның ақпараттық энтропиясы негізінде алынған осы жұмыста келтірілген есептермен расталады. Осылайша, алға қойылған мақсатқа барынша технологиялық тәсілмен қол жеткізуді қамтамасыз ететін бәсекелес техноло-

гиялық схемаларды салыстырмалы бағалау және жұмыс істеп тұрған металлургиялық ендірістерді жетілдіру үшін бірыңғай ақпараттық заңдылықтарды теориялық негіздеу және практикалық қолдану бойынша мәселе шешілді.

**Түйінді сөздер:** Энтропия, ақпарат, ақпараттық заңдылықтар, технологиялық схемалар, мыс, автогенді процестер.

• • •

**Abstract.** We have compiled mathematical models of technological schemes for copper production at metallurgical enterprises of Kazakhstan. We worked out new calculation formulas for estimating the technological redivision and completeness of each process and the scheme as a whole. Ideal mathematical model of complex systems' hierarchical structure has been developed. A high correlation is established between the ideal hierarchical structure of complex systems and the structure of technological schemes for real metallurgical copper productions on Kazakh companies Zhezkazgantsvetmet, Balkhashtsvetmet, Kazzink, KAZ Minerals Bozshakol. As experience in metallurgical production development shows, technology for processing copper, nickel and some lead-zinc ores is being improved by autogenous processes. This fact is confirmed by calculations presented in this paper, obtained on Shannon's informational entropy basis. Thus, the theoretical substantiation problem and practical application of unified information laws for comparative assessment of competing technological schemes and improvement of existing metallurgical industries, ensuring the achievement of the goal in the most technological way, is solved.

**Keywords:** entropy, information, information laws, technological schemes, copper, autogenous processes.

**Введение.** При проведении исследований в области химико-металлургических процессов и их практической реализации было установлено, что широко используются открытые в XIX в. всеобщие законы сохранения. Известно, что закон сохранения и превращения энергии воплощен в началах термодинамики и применяется на практике для составления тепловых балансов процессов. Закон сохранения массы обязательно учитывается в кинетике химических реакций и в материальных балансах процессов. Однако новый и столь же универсальный закон сохранения суммы информации и энтропии, сформулированный в середине XX в., пока что не используется для конкретных процессов при реализации сложных химико-металлургических схем. Добычу медьсодержащих руд на территории Казахстана осуществляют дочерние компании Казахмыс, дочерние структуры Казцинк, Актюбинская медная компания, Майкаинзолото. Основное количество производимого медного концентрата используется для выпуска рафинированной меди, часть выпущенного в республике

медного концентрата экспортируется. Мощности по выпуску рафинированной меди имеются на 4-х предприятиях. К ним, прежде всего, относятся дочерние подразделения компании Казахмыс - Жезказганцветмет и Балхашцветмет. Небольшое количество рафинированной меди производится на площадке Усть-Каменогорского свинцово-цинкового комбината. В 2015 г. дан старт работе Бозшакольского горно-обогатительного комбината KAZ Minerals Bozshakol в Павлодарской области.

**Цель исследований** - мониторинг качества автогенных производственных схем в зависимости от способа плавки на металлургических предприятиях.

**Методы исследований.** В качестве основных инструментов комплексного энтропийно-информационного анализа различных металлургических процессов производства цветных металлов с целью их усовершенствования использован новый метод оценки комплексной неопределенности технологической схемы, позволяющий установить её надежность на основе фундаментальных закономерностей теории информации. Отметим, что предлагаемый подход к определению объективной меры совершенства и полноты технологической самоорганизации любых процессов является дополнением к известным методам термодинамического, кинетического, теплотехнического, экономического и экологического анализа. В определенном отношении новый подход можно рассматривать как развитие энтропийного анализа, при котором учитывалось только стремление энтропии к максимуму. В данном подходе это стремление учитывается совместно с информационной составляющей, причем не в энергетических единицах, а в информационных битах.

В результате проведенных исследований с целью мониторинга реальных производственных схем на металлургических предприятиях Жезказганцветмет, Балхашцветмет, Казцинк, KAZ Minerals Bozshakol с точки зрения энтропийно-информационных закономерностей Шеннона предложены расчетные формулы, устанавливающие критерий качественной оценки рассматриваемых металлургических процессов.

Рассмотрим статистическую формулу Шеннона для выражения неопределенности любой системы [1,2]:

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

где  $p_i$  – вероятность обнаружения какого-либо однородного элемента

системы в их множестве  $N$ ;  $\sum_{i=1}^N p_i = 1$ ,  $p_i \geq 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ .

Рассмотрим формулу Р.Хартли для конкретного численного выражения степени детерминации и стохастичности, учитывая, что рассматриваемая технологическая схема с длиной кода  $k = 2$ :

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

Расчетные показатели определенности и неопределенности для первых десяти уровней построенной на основании формулы (2) приведены в таблице 1 [3].

**Таблица 1 - Показатели определенности и неопределенности на каждом уровне технологической схемы в иерархической системе для  $k, N_0 = 2$**

$n$	$I_n(d)$ бит/эл.	$H_{n(\max)}$ бит/эл.	$d_n = \frac{I_n(d)}{H_{n(\max)}}$	$I_{\sum_n}(d)$ бит/эл.	$H_{\sum_n(\max)}$ бит/эл.	$d_{\sum_n} = \frac{I_{\sum_n}(d)}{H_{\sum_n(\max)}}$
0	0	1,0	0	0	1,0	0
1	1,00	2,0	0,50	1,00	3,0	0,33
2	3,33	4,0	0,83	4,33	7,0	0,62
3	7,67	8,0	0,96	12,0	15,0	0,80
4	15,9	16,0	0,99	27,9	31,0	0,90
5	32,0	32,0	1,0	59,8	63,0	0,95
6	64,0	64,0	1,0	124,0	127,0	0,98
7	128,0	128,0	1,0	252,0	255,0	0,99
8	256,0	256,0	1,0	508,0	511,0	0,99
9	512,0	512,0	1,0	1020,0	1023,0	0,998
10	1024,0	1024,0	1,0	2044,0	2047,0	0,999

В качестве характеристики вероятности обнаружения главного элемента системы приняли его содержание на каждом уровне технологической схемы, или на каждом переделе, выраженное в долях единицы. Тогда если  $p$  – вероятность обнаружения в продукте или перехода при извлечении контролируемого элемента, то неопределенность каждого из этих событий равна обратной величине от его определенной идентификации. В данном варианте оценки неопределенности поведения только одного элемента системы эта неопределенность выразится следующей формулой:

$$H = \log_2 \frac{1}{p} = -\log_2 p = -\frac{\ln p}{\ln 2}. \quad (3)$$

Определим качество технологических переделов и передельных продуктов на основании сравнительного анализа конкурирующих схем по единому обобщенному критерию комплексной неопределенности и завершенности технологической схемы производства меди. Поскольку извлечение любого компонента пропорционально его содержанию в исходном веществе и обратно пропорционально содержанию в продукте, то  $\beta_0 \cong \frac{\alpha_{з.к.}}{\alpha_{р.м.}} \cdot 100\%$ , где  $\beta_0$  – показатель

извлечения на нулевом уровне схемы,  $\alpha_{з.к.}, \alpha_{р.м.}$  – показатели содержания в земной коре и в рудном месторождении. Так как по справочным данным [1] для меди  $\alpha_{з.к.} = 0,010\%$ ,  $\alpha_{р.м.} \cong 1,0\%$ , то в первом приближении извлечение меди из земной коры в рудное месторождение

будет  $\beta_{0,медь} \cong \frac{0,010}{1,0} \cdot 100\% = 1,0\%$ .

Чтобы определить комплексную неопределенность  $H_k$  на основе аддитивных свойств энтропии можем этот показатель посчитать как сумму вкладов неопределенности по извлечению и содержанию, также и по переделам технологической схемы:

$$H_k = \sum_{i=0}^n H_i, \text{ бит/эл.} \quad (4)$$

Показатель комплексной определенности можно рассчитать с помощью обращенной формулы [3]

$$p_k = \exp(-H_k \ln 2) = 2^{-H_k}, \text{ доли единицы (д.е.).} \quad (5)$$

Следует подчеркнуть, что данная величина  $p_k$ , будучи рассчитанна через информационную характеристику  $H_k$ , учитывает ценность каждого добавленного процента или его доли не аддитивно, а синергетически [4-7].

Проведём мониторинг качества технологических продуктов, а вместе с тем и технологических операций, приводящих к получению этих продуктов, по результатам технологических переделов в зависимости от способа плавки (таблицы 2-5). Сопоставление расчетных данных с практическими данными проиллюстрируем в координатах  $n, d$  в соответствии с рисунками 1-4. Тесноту связи справочных и рассчитанных по предлагаемой модели данных оценим с помощью коэффициента нелинейной множественной корреляции.

**Таблица 2 - Мониторинг технологической схемы производства меди ПЖВ на предприятии Балхашцветмет**

Технологические переделы	Содержание $\alpha$		Извлечение $\beta$		$H_{ср}$	$P_{ср}$
	$\alpha$	$H_{\alpha}$ , бит	$\beta$	$H_{\beta}$ , бит		
Добыча	0,0100	6,6439	0,0100	6,6439	13,2878	0,0001
Обогащение	0,2400	2,0589	0,9610	0,0574	2,1163	0,2306
Плавка	0,5950	0,7490	0,9730	0,0395	0,7885	0,5789
Конвертирование	0,9750	0,0365	0,9470	0,0786	0,1151	0,9233
Огневое рафинирование	0,9930	0,0101	0,9810	0,0277	0,0378	0,9741
Электролитическое рафинирование	0,9999	0,0001	0,9999	0,0001	0,0002	0,9998
$H_k$ , бит	-	9,4985	-	6,8472	16,3457	-

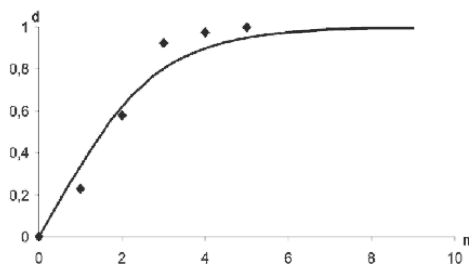


Рисунок 1 – Зависимость расчетных показателей от реальных показателей технологической схемы ПЖВ,  $R=0,978691$

**Таблица 3 - Мониторинг технологической схемы производства меди ПВС на Жезказганцветмет**

Технологические переделы	Содержание $\alpha$		Извлечение $\beta$		$H_{ср}$	$P_{ср}$
	$\alpha$	$H_{\alpha}$ , бит	$\beta$	$H_{\beta}$ , бит		
Добыча	0,0100	6,6439	0,0100	6,6439	13,2878	0,0001
Обогащение	0,2650	1,9159	0,9215	0,1179	2,0338	0,2442
Плавка	0,5700	0,8110	0,9625	0,0551	0,8661	0,5486
Конвертирование	0,9750	0,0365	0,9385	0,0916	0,1281	0,9150
Огневое рафинирование	0,9930	0,0101	0,9825	0,0255	0,0356	0,9756
Электролитическое рафинирование	0,9999	0,0001	0,9999	0,0001	0,0002	0,9998
$H_k$ , бит	-	9,4175	-	6,9341	16,3516	-

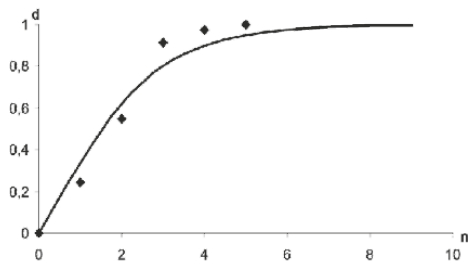


Рисунок 2 – Зависимость расчетных показателей от реальных показателей технологической схемы ПВС  $R=0,979230$

**Таблица 4 - Мониторинг технологической схемы производства меди КФП на предприятии KAZ Minerals Bozshakol**

Технологические переделы	Содержание $\alpha$		Извлечение $\beta$		$H_{эф}$ , т	$P_{эф}$
	$\alpha$	$H_{\alpha}$ , бит	$\beta$	$H_{\beta}$ , бит		
Добыча	0,0100	6,6439	0,0100	6,6439	13,2878	0,0001
Обогащение	0,2650	1,9159	0,9215	0,1179	2,0338	0,2442
Плавка	0,5700	0,8110	0,9625	0,0551	0,8661	0,5486
Конвертирование	0,9750	0,0365	0,9385	0,0916	0,1281	0,9150
Огневое рафинирование	0,9930	0,0101	0,9825	0,0255	0,0356	0,9756
Электролитическое рафинирование	0,9999	0,0001	0,9999	0,0001	0,0002	0,9998
$H_L$ , бит	-	9,4175	-	6,9341	16,3516	-

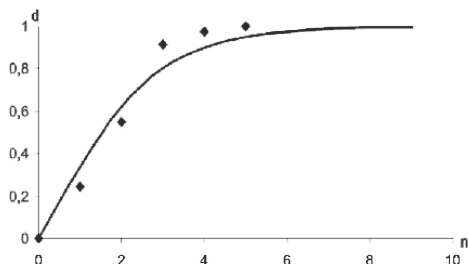


Рисунок 3 – Зависимость расчетных показателей от реальных показателей технологической схемы КФП  $R=0,980230$

**Таблица 5 - Мониторинг технологической схемы производства меди КИВЦЭТ на предприятии Казцинк**

Технологические переделы	Содержание $\alpha$		Извлечение $\beta$		$H_{эф}$	$P_{эф}$
	$\alpha$	$H_{\alpha}$ , бит	$\beta$	$H_{\beta}$ , бит		
Добыча	0,0100	6,6439	0,0100	6,6439	13,2878	0,0001
Обогащение	0,2500	2,0000	0,9650	0,0514	2,0514	0,2413
Плавка	0,6000	0,7370	0,9810	0,0277	0,7647	0,5886
Конвертирование	0,9750	0,0365	0,9215	0,1179	0,1544	0,8984
Огневое рафинирование	0,9950	0,0072	0,9870	0,0189	0,0261	0,9821
Электролитическое рафинирование	0,9999	0,0001	0,9999	0,0001	0,0002	0,9998
$H_k$ , бит	-	9,4247	-	6,8599	16,2846	-

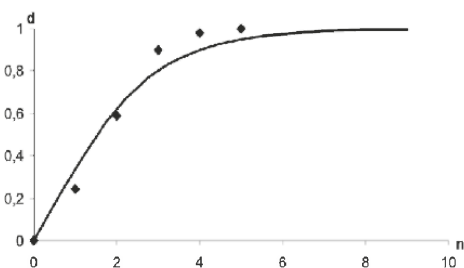


Рисунок 4 – Зависимость расчетных показателей от реальных показателей технологической схемы КИВЦЭТ  $R=0,982618$

**Результаты.** В результате проведенных исследований с целью мониторинга реальных технологий производственных схем на металлургических предприятиях Жезказганцветмет, Балхашцветмет, Казцинк, KAZ Minerals Bozshakol выявляется высокая корреляционная зависимость для автогенных процессов, среди которых ведущее место занимает плавка КИВЦЭТ. Как показывает опыт развития металлургического производства, технология переработки медных, никелевых и некоторых свинцово-цинковых руд совершенствуется на базе автогенных процессов [8,9]. Данный факт подтверждается приведенными в данной работе расчетами, полученными на основе информационной энтропии Шеннона.

**Выводы.** Полученные информационные формулы для расчета уровневой и комплексной неопределенности и завершенности тех-



нологических переделов и схем могут быть использованы не только в металлургической, но и в любой другой технологии [10,11]. Исследуемая проблема является весьма актуальной, направлена на объединение разрозненных до сих пор показателей по содержанию и извлечению ценных компонентов в технологических продуктах и их использованию для выбора рациональных технологических схем и процессов в цветной и черной металлургии. Практическая значимость полученных на основе подобного подхода результатов для науки состоит в возможности использования единых информационных критериев для экспертной оценки конкурирующих схем на стадии выбора альтернативных проектов, так и способов усовершенствования существующих технологий, что особенно важно в условиях рыночных отношений.

### Список литературы

- 1 S.Sh. *Kazhikenova*, Information estimation on extraction and contents of technological redistribution at steel production // Geomaterials. - Scientific Research Publishing, USA, 2012. - Vol.2. - №1. - P.24-27.
- 2 *Кажикенова С., Малышев В.П.* Синергетическое совершенство производства стали путем рафинирования чугуна // Известия вузов. Черная металлургия. - М., 2012. - №1. - С.5-8.
- 3 *Хартли Р.* Передача информации / Теория информации и ее приложения. - М.: ИЛ, 1959. - С. 5-35.
- 4 *Кажикенова С.Ш.* Мониторинг технологических схем в производстве черных металлов // Новые огнеупоры. - 2016.-№7. -С. 33-36.
- 5 *V.P. Malyshev, S.Sh. Kazhikenova, A. Turdukozhaeva* A Qualitative and Quantitative Evaluation of the Technological Processes in the Metallurgy of Nonferrous Metals // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. - 2009. - Vol. 50. - No. 4. - pp. 335-337. [Электронный ресурс]: <http://link.springer.com/article/10.3103/S106782120904004X>
- 6 *Гудима Н. В., Шейн Я. П.* Краткий справочник по металлургии цветных металлов. - М.: Металлургия, 1975. - 536 с.
- 7 *Kazhikenova S.Sh.* Monitoring of Process Flow Diagrams in the Production of Ferrous Metals // Refractories and Industrial Ceramics. - SpringerLink, 2016. - Vol.57, - № 4. - P. 360-363, [Электронный ресурс]: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11148-016-9984-8>
- 8 *Тарасов А. В.* Производство цветных металлов и сплавов. Справочник в 3-х томах. - М.: Металлургия, 2001.
- 9 *С.М. Кожухметов* Исследования в области теории и технологии автогенных процессов: Избранные труды. - Алматы, 2005. - 460с.

10 *Malyshev, V. P.; Makasheva, A. M.* Distribution and entropy of Boltzmann as infinite convergent consequences //Bulletin of the University of Karaganda-Physics. – 2018. – Vol.3, (91). - P. 42-58, [Электронный ресурс]: [http://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=WOS&search\\_mode=DaisyOneClickSearch&qid=10&SID=C3bSCh9L77r3PbndrjG&page=1&doc=1](http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=DaisyOneClickSearch&qid=10&SID=C3bSCh9L77r3PbndrjG&page=1&doc=1)

11 *Malyshev, V. P.; Makasheva, A. M. Zubrina, Yu. S* Gambling as a Social Evil Which Has Been Grown on the Real Probability of a Random Win //Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2015. – Vol.5. - P.115-118, [Электронный ресурс]: [http://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=WOS&search\\_mode=DaisyOneClickSearch&qid=12&SID=C3bSCh9L77r3PbndrjG&page=1&doc=3](http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=DaisyOneClickSearch&qid=12&SID=C3bSCh9L77r3PbndrjG&page=1&doc=3)

**Кажикенова С.Ш.** - доктор технических наук, профессор,  
e-mail: sauleshka555@mail.ru

**Шалтаков С.Н.** - старший преподаватель, профессор