

5. Зубков А. В. Горнотехнические условия отработки колчеданных месторождений // Уральский горнопромышленный форум: V: Колчеданные месторождения – геология, поиски, добыча и переработка руд: материалы Всерос. науч. конф. Челябинской памяти С. Н. Иванова / УрО РАН, Институт геологии и геохимии УрО РАН и др. Екатеринбург, 2013. С. 60–62.
6. Зубков А. В. Геомеханика и геотехнология. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2001. 333 с.

## INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

## THE EFFECT OF CHANGES OF HORIZONTAL STRESSES IN ROCK MASS ON SHAFT SUPPORTS

**Zubkov A.V.** – D.Sc. (Eng), Chief Researcher, FGBUN Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Phone: +7 (343) 350 94 24. Yekaterinburg, Russia. E-mail: sentyabov1989@mail.ru

**Sentyabov S.V.** – Junior Researcher, FGBUN Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Yekaterinburg, Russia. E-mail: sentyabov1989@mail.ru

**Biryuchev I.V.** – Junior Researcher, FGBUN Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Yekaterinburg, Russia. E-mail: sentyabov1989@mail.ru

**Abstract.** This article presents results of the research and calculations performed by the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences in the underground mine of Gaisky Ore Dressing Plant. The observed phenomenon of expansion and contraction of the Earth occurring in sync with easily tracked changes of the Sun's size requires further examination and precise definition of correlation dependences. The article shows calculations and measurements of stresses in shaft supports which depend not only on the physical and mechanical properties of solid rock, but also on the time of shaft sinking and stops in the construction of the support for a period while concrete gained its full strength. There is a risk of destroying the integrity of shaft supports.

**Keywords:** conditionally permanent tectonic stresses, stress-strain state of the shaft supports, astrophysical stresses, concrete support, rock mass.

### References

- Zubkov A.V., Zoteev O.V. and others. Regularities of formation of the stress- strain state of the Earth's crust in the Urals in time. *Litosfera* [Lithosphere]. 2010, no. 1, pp. 84-93
- Yakovlev D.V., Tarasov B.G. About the interrelation between geodynamic events in mines and pits and the cycles of solar activity. *Geodinamika i napryazhennoe sostoyanie nedr Zemli. Tr. mezhdunar. konf* [Geodynamics and stress state subsoil of the Earth. Third International conference]. Novosibirsk: Institute of Mining SB RAS, 2001, pp. 56-65.
- Milanovsky E.E. Development and current state of issues on expansion and pulse of the Earth. *Problemy rasshireniya i pul'satsii Zemli* [Problems of expansion and pulse of the Earth]. Moscow: Nauka, 1984, pp. 8-24.
- Zubkov A. V. Periodical expansion and contraction of the earth as a probable mechanism of natural disasters. *Litosfera* [Lithosphere]. 2013, no. 2, pp. 145-155.
- Zubkov A. V. Mining conditions of sulfide deposit development. *Ural'skiy gomopromyshlennyj forum: V: Kolchedannye mestorozhdeniya – geologiya, poiski, dobycha i pererabotka rud: materialy Vse-ros. nauch. konf. CHteniya pamyati S. N. Ivanova. UrO RAN, Institut geologii i geokhimii UrO RAN i dr* [Ural mining forum: V: Massive sulfide deposits - geology, exploration, mining and ore processing: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference. Ivanov's readings / UB RAS, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of RAS and others]. Yekaterinburg, 2013, pp. 60-62.
- Zubkov A.V. *Geomekhanika i geotekhnologiya* [Geomechanics and Geotechnology]. Yekaterinburg: Ural Branch of RAS, 2001, 333 p.

УДК 669.337

## СУЛЬФАТИЗИРУЮЩИЙ ОБЖИГ ЧЕРНОВОГО МЕДНОСУЛЬФИДНОГО КОНЦЕНТРАТА ДЛЯ СЕРНО-КИСЛОТНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Каримова Л.М.

ТОО «Инновация», г. Караганда, Казахстан

**Аннотация.** Для оценки сохранности и разрушаемости при загрузке, транспортировке и хранении гранул из чернового медного концентрата проведен расчет допустимой высоты бункеров от гранулятора до шахтной печи.

Исследовано влияние различных факторов на процесс обжига чернового медного флотоконцентрата в лабораторной шахтной печи. Выявлен экстремальный ход зависимости извлечения меди от температуры. В зависимости от действующих факторов получены частные и обобщенные функции извлечения меди в раствор и переход серы в газ.

**Ключевые слова:** гранулы, медный концентрат, высота слоя, обжиг, факторы, обобщенное уравнение.

**Введение**

С целью обеспечения наиболее благоприятных условий для эффективного выщелачивания меди из сульфидного концентрата применяют сульфатирующий обжиг, который происходит при относительно низких температурах [1–4]. Кроме того, при низкотемпературном обжиге есть возможность предотвратить образование труднорастворимых ферритов и силикатов, а также спекание зерен. При этом в качестве дополнительного оксиданта может быть использован трехвалентный сульфат железа, получаемый в процессе обжига путем окисления пирита.

**Материалы и результаты исследований**

Ранее [5–7] проведена оптимизация процесса обжига чернового медно-сульфидного концентрата в условиях автогенного режима окисления. Была изучена зависимость максимальной температуры автогенного обжига от содержания серы в концентрате при различных скоростях подачи воздуха.

Нами в качестве исследуемого материала во избежание оплавления гранул использовался черновой флотоконцентрат с содержанием серы не более 6%. Химический состав чернового концентрата приведен в табл. 1, 2.

**Таблица 1**

**Содержание основных компонентов в черновом концентрате, %**

Cu	S	Fe	Ca	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zn	Ag г/т	Ti	Mg	K
3,91	3,05	4,67	3,55	41,05	2,28	0,357	83,2	0,301	0,786	1,48

**Таблица 2**

**Результаты фазового анализа чернового концентрата на содержание форм меди**

Найдено в % по меди	абс.	отн.
Сульфаты	<0,2(<0,01)	
Карбонаты	<0,2(0,09)	2,3
Оксиды, силикаты	<0,2	
Вторичные сульфиды*	3,16	81,0
Халькопирит	0,65	16,7
Всего	3,90	100,0

\* Ковеллин, халькозин, борнит.

CuFeS <sub>2</sub> халькопирит	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> борнит	Cu <sub>2</sub> S халькозин
1,87	1,58	2,70

Концентрат подвергался окатыванию на лабораторном грануляторе с диаметром чаши 0,6 м, высотой борта 15 см при скорости вращения 20 об/мин и подаче связующего (воды) разбрызгиванием. Максимальная относительная убыль массы гранул (W<sub>105</sub>) диаметром 10 мм в процессе их сушки при 105 °С, которую проводили до прекращения изменения массы гранул, составляет 10,03%.

Фракции гранул необходимого размера отсеивали на ситах (класс +2–4 мм (d<sub>ср</sub>=3 мм)). Насыпная масса гранул составила 1,338 г/см<sup>3</sup>.

Необходимым условием подготовки медного сырья к обжигу является гранулирование исходного материала. При этом большое значение имеет получение гранул, прочностные характеристики которых позволяют выдерживать нагрузки, возникающие при транспортировке и перегрузках, а также при переработке в обжиговой печи. Для решения этой задачи требуется изучить прочностные свойства гранул класса +2–4 мм и определить условия получения наиболее прочных окатышей.

Для определения выхода целых гранул в каждом независимом опыте путем фиксирования нагрузки отбирали по 25 окатышей. Полученные результаты статической и динамической (ударной) прочности гранул приведены в табл. 3.

Статическая прочность, она же выход целых гранул (в долях единицы), рассчитывалась по вероятностной формуле энергостохастической прочности [8]

$$P_c = 0,5 \left( \frac{2m_G g}{\pi d \rho_c} \right)^6 ; \tag{1}$$

$$P_y = 0,5 \left( \frac{2mgh}{\pi d^2 \rho_y} \right)^6 , \tag{2}$$

где P<sub>c</sub> – выход целых гранул при статической нагрузке (доли единицы); m<sub>G</sub> – прилагаемая сила нагрузки, Н; g – ускорение силы тяжести, м/с; d – размер (диаметр) гранулы, м; ρ<sub>c</sub> – эффективное поверхностное натяжение при статической нагрузке, Н/м=Дж/м<sup>2</sup>; P<sub>y</sub> – выход целых гранул при падении (ударная прочность), д.е.; h – высота падения гранулы, м; ρ<sub>y</sub> – энергия поверхности разрушения гранулы при ударной нагрузке, Дж/м<sup>2</sup>.

Эта формула основана на вероятностном характере разрушения под действием любых нагрузок (статических, ударных, термических), в результате чего вероятность разрушения связывается с долей разрушенного материала, а вероятность сохранности – с долей оставшегося целым. Физическая сущность энергостохастической прочности непосредственно связывается с энергией вновь образованной поверхности разрушенного материала в размерности Дж/м<sup>2</sup>, либо в тождественно равной ей силе поверхностного натяжения в размерности Н/м. Этой энергии противопоставляется соответствующая энергия нагрузки, и их соотношением определяется увеличение или уменьшение выхода разрушенных или целых кусков.

Для определения поверхностного натяжения при воздействии статической нагрузки использовали формулу, обратную (1)

$$\rho_c = \frac{2m_G g}{\pi d} \left( \frac{\ln 0,5}{\ln P_c^3} \right)^{1/6} \quad (3)$$

Следует отметить, что гранула противодействует разрушению от статической нагрузки сильнее, чем от ударной, которая оказывается более разрушительной, поэтому эти характеристики определяются в отдельных экспериментах. С этой целью используются формула (2) в обращенной относительно  $\rho_y$  форме

$$\rho_y = \frac{2d\gamma gh}{\pi} \left( \frac{\ln 0,5}{\ln P_y} \right)^{1/6} \quad (4)$$

Полученные результаты представлены в табл. 3.

В качестве силовой нагрузки использовали грузы массой 0,1–0,2 кг, ввиду чего его силовое воздействие определяется величиной  $G=m_G g$ , Н

Таблица 3

**Результаты опытов по определению характеристик эффективного поверхностного натяжения  $\rho_c$ , Н/м, или энергии поверхности разрушения, Дж/м<sup>2</sup>, статической и динамической прочности гранул  $P_c$ ,  $P_y$  (д.е.)**

m <sub>G</sub> , кг	Статическая прочность			h, м	Ударная прочность		
	$P_c^3$	$\rho_c^3$	$P_c^p$		$P_y^3$	$\rho_y^3$	$P_y^p$
0,1	0,88	276,3468	0,97	3,0	0,96	113,8	0,96
0,12	0,84	314,8989	0,90	3,5	0,92	117,8	0,90
0,15	0,8	377,7654	0,66	4,0	0,64	101,8	0,80
0,17	0,52	357,895	0,42	5,0	0,52	119,4	0,42
0,2	0,3	380,3254	0,10	6,0	0,12	117,8	0,08

Полученные результаты статической и ударной прочности гранул проверяли на адекватность экспериментальных и расчетных значений по коэффициенту нелинейной множественной корреляции  $R$  [9] и его значимости  $t_R$  [10], которые составили  $R = 0,75$ ,  $t_R = 3,0 > 2$  и  $R = 0,95$ ,  $t_R = 15 > 2$  соответственно.

Как видно из табл. 3, среднее значение эффективного поверхностного натяжения для статической прочности составило 340,8 Дж/м<sup>2</sup>, а для ударной  $\rho_y$  – 114,1 Дж/м<sup>2</sup>, т.е. статическая, как обычно, значительно выше, чем ударная (динамическая), в данном случае в  $\rho_c/\rho_y = 3,0$  раза. Достаточно высоко значимые коэффициенты корреляции дают право использования полученных энергостохастических моделей прочности гранул для расчета допустимой высоты бункеров при загрузке и хранении гранул различной крупности из черновых медных концентратов.

Проанализируем сохранность гранул различного размера, образующихся в промышленных

грануляторах, включая  $d = 10$  мм, при загрузке и хранении в бункерах высотой до 6 м и конвейерных перегрузках на малых высотах.

В табл. 4 приведены результаты расчетов по сохранности гранул от статической нагрузки по формуле [8]

$$P_c = 0,5 \left( \frac{2d\gamma gh_c}{\pi \rho_c} \right)^6 = 0,5 \left( \frac{2d \cdot 1263,9,807h_c}{\pi 340,8} \right)^6 = 0,5^{(23,14dh_c)^6} \quad (5)$$

Таблица 4

**Зависимость сохранности гранул от их диаметра и высоты слоя с переводом в %**

d, м	$P_c$ (%) при $h_c$ , м					
	1	2	3	4	5	6
0,002	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	99,97
0,003	100,00	100,00	99,99	99,97	99,88	99,64
0,004	100,00	100,00	99,97	99,82	99,32	97,99
0,005	100,00	99,99	99,88	99,32	97,44	92,54
0,006	100,00	99,97	99,64	97,99	92,54	79,32
0,007	100,00	99,92	99,09	95,00	82,23	55,7
0,008	100,00	99,82	97,99	89,20	64,67	27,21
0,009	99,99	99,64	95,96	79,32	41,33	7,15
0,010	99,99	99,32	92,54	64,67	18,96	0,70

По этим данным видно, что оптимальный класс, +2–4 мм, выдерживает высоту слоя вплоть до 6 м, разрушаясь всего на 2% за счет гранул размером 4 мм. Что касается более крупных гранул, то они заметно разрушаются, начиная уже с высоты слоя 3 м, а при 6 м самые крупные практически не сохраняются. Возможно, это следует рассматривать как положительный фактор, поскольку при раздавливании образуются осколки, соизмеримые с оптимальной фракцией гранул, и специальных измельчающих устройств для крупных окатышей не потребуется.

Обжиг полученных гранул вели в вертикально установленной трубчатой электропечи, имеющей реактор из кварцевой трубки диаметром 40 мм, высотой 400 мм. Вначале печь нагревалась до определенной температуры, которая поддерживалась с помощью реле, соединенным с термопарой вторичным прибором и регулятором напряжения в цепи нагревательных элементов печи. Затем навеску гранул в корзине, изготовленной из нихромовой проволоки, помещали вовнутрь печи, предварительно нагретой до заданной температуры. Снизу в печь вдували воздух, расход которого контролировали с помощью ротаметра.

При последовательном изучении влияния различных факторов методом Зейделя-Гаусса-Малышева [11] исследовано влияние температуры обжига ( $t$ , от 400 до 650°C), продолжительно-

сти ( $\tau$ , от 20 до 120 мин), расхода воздуха, вдуваемого в зону реагирования ( $V$ , от 0 до 100 см<sup>3</sup>/с) (табл. 5). Точечные графики и аппроксимация частных зависимостей извлечения меди в раствор из огарка и перехода серы в газ представлены на рис. 1, 2.

Выщелачивание огарка проводили при Ж:Т=4:1, температуре 80°C и продолжительности опыта 120 мин с перемешиванием мешалкой в термостатированной ячейке в растворе серной кислоты с концентрацией 100 г/л.

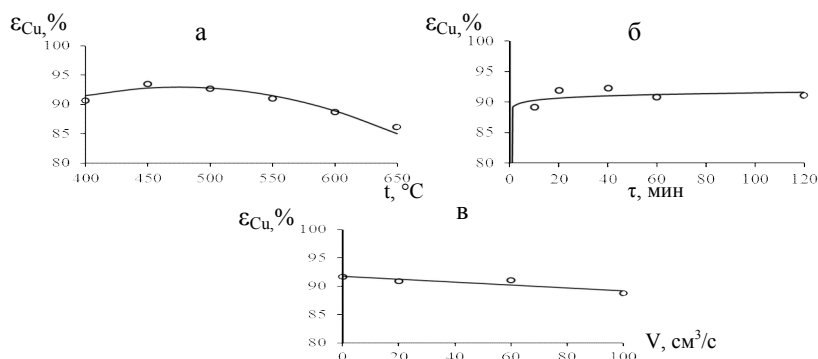


Рис. 1. Зависимость извлечения меди в раствор из огарка  $\epsilon_{Cu}$ , % от заданных факторов: а – температура обжига  $t$ , °C; б – продолжительность  $\tau$ , мин; в – расход вдуваемого воздуха  $V$ , см<sup>3</sup>/с; точки – экспериментальные данные; линии – по уравнениям (табл. 6)

Таблица 5

Зависимость экспериментальных ( $\epsilon_{Cu}$ ,  $\epsilon_s$ , %) и расчетных по обобщенному уравнению (p) значений извлечения меди в раствор и серы в газ ( $\epsilon_{Cu}$ , %,  $\epsilon_s$ , %) от температуры обжига,  $t$ , °C, продолжительности  $\tau$ , мин, расхода вдуваемого воздуха,  $V$ , см<sup>3</sup>/с

Исследуемый фактор	$\beta_{Cu}$ , в огарке, %	$\beta_{Cu}$ , в кеке, %	$\epsilon_{Cu}$ , %	$\epsilon_{Cu}$ , p (6)	$\beta_s$ , в огарке, %	$\epsilon_s$ , %	
$t$ , °C	400	3,46	0,41	90,63	91,00	2,98	1,81
	450	3,70	0,30	93,51	92,29	2,96	1,98
	500	3,70	0,34	92,65	92,29	2,81	7,64
( $\tau$ – 60 мин., $V$ – 60 см <sup>3</sup> /с, $d$ – 3 мм)	550	3,46	0,39	91,02	91,00	2,78	8,62
	600	3,70	0,51	88,70	88,42	2,62	14,09
	650	3,67	0,62	86,15	84,54	2,6	15,61
$\tau$ , мин	10	3,76	0,47	89,12	90,06	2,84	6,88
( $t$ –550°C, $V$ – 60 см <sup>3</sup> /с, $d$ – 3мм)	20	3,74	0,38	91,66	90,42	2,79	8,20
	40	3,76	0,37	92,23	90,79	2,82	7,17
	60	3,46	0,39	91,02	91,00	2,78	8,62
	120	3,75	0,43	91,03	91,37	2,77	9,04
$V$ , см <sup>3</sup> /с	0	3,72	0,39	91,67	92,55	2,74	9,85
( $t$ –550°C, $\tau$ – 60 мин., $d$ – 3 мм)	20	3,76	0,43	90,90	92,03	2,75	9,52
	60	3,46	0,39	91,02	91,00	2,78	8,62
	100	3,72	0,52	88,76	89,97	2,74	10,16

Как видно из рис. 1, а, экстремальный ход зависимости извлечения меди от температуры объясняется замедлением скорости сульфатообразования после 450°C ввиду появления легкоплавких эвтектик, затрудняющих подвод кислорода к сульфидам, и образованием ферритов меди. Причем эти процессы сдвигаются в область более низких температур вследствие более развитой общей поверхности реагирования, за счет которой все физико-химические превращения ускоряются с высокой степенью сульфатизации меди порядка 90–92%.

О повышенной скорости процесса свидетельствует зависимость извлечения меди от продолжительности обжига с достижением насыщения этой зависимости уже к 20 мин в отличие от крупных гранул (где этот же показатель достигается за 60 мин).

Убывающая зависимость извлечения меди от расхода воздуха в данном случае объясняется большим его избытком против стехиометрически необходимого (10 см<sup>3</sup>/с), вследствие чего гранулы не столько окисляются, сколько охлаждаются подаваемым воздухом. При этом без принудительной подачи воздуха сульфатизация прошла за счет конвекции воздуха через верхнюю открытую часть в печи, что оказалось достаточным для практического завершения процесса.

В результате получены математические выражения, которые можно использовать для вывода математической модели процесса обжига (табл. 6).

Таблица 6

Частные функции извлечения меди в раствор с определением коэффициента корреляции R и его значимость  $t_R$

Функция извлечения меди в раствор, %	R	Условие $t_R > 2$	Значимость
$\epsilon_{Cu} = 93 + \frac{89 - 93}{(600 - 475)^2} (t - 475)^2$	0,9432	17,08 > 2	Значима
$\epsilon_{Cu} = 89,121\tau^{0,0058}$	0,1874	1,61 < 2	Малозначима
$\epsilon_{Cu} = -0,0261V + 91,706$	0,7598	3,1130 > 2	Значима

Полученные уравнения для извлечения меди в раствор (см. табл. 6) с учетом значимых функций для описания совокупности действующих факторов обобщаются согласно [11] в виде их произведения с нормировкой по центральному экспериментальному значению в степени (n-1), где n – число частных функций. По центральному (ц) для всех функций условию:  $t = 550^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 60$  мин,  $d = 3$  мм,  $V = 60$  см<sup>3</sup>/с значение  $\epsilon_{Cu, ц} = 91,0024\%$ . Обобщенное уравнение для извлечения меди в рас-

твор выразится как

$$\varepsilon_{Cu,p} = 1,208 \cdot 10^{-4} (93 - 2,56 \cdot 10^{-4} (t - 475)^2) \times (89,121 \tau^{0,0058}) (91,706 - 0,0261V). \quad (6)$$

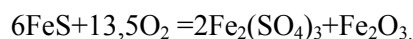
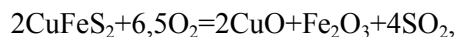
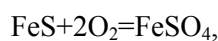
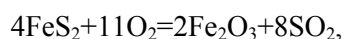
При сопоставлении результатов эксперимента и расчета нашли значения коэффициента нелинейной множественной корреляции для извлечения меди в раствор  $R = 0,8453$ ,  $t_R = 10,68 > 2$ , что подтверждает адекватность описания данных эксперимента настоящим уравнением.

Сера при обжиге удаляется, в том числе за счет термической диссоциации и окисления минералов. Фактором, обеспечивающим низкое содержание серы в огарке, является высокая температура обжига, однако она ограничена спеканием материала и летучестью сульфида. Поэтому важно иметь представление о перераспределении серы в газовую фазу и огарок как с точки зрения получения зависимости извлечения целевых компонентов в товарные соединения, так и их потери с отходами в данном процессе.

В результате обжига пирита происходит реакция [12]



а также реакции с окислением серы, в частности пирита и халькопирита:



Как показывают экспериментальные данные, представленные в табл. 1 и на рис. 2, а, температура существенно влияет на ход процесса. Переход серы в газ находится в явной прямо пропорциональной зависимости от температуры обжига – с 1,8 до 14% при температуре от 400 до 650°C. Это обусловлено влиянием двух факторов – повышением упругости диссоциации образующихся сульфатов и проведением процесса в неравновесных

условиях с большим избытком воздуха и его скорости фильтрации через слой гранул. Возможно также, что этому способствует заметное содержание пиритных минералов, в которых второй атом серы, как известно, является нульвалентным и окисляется в первую очередь без образования сульфатов.

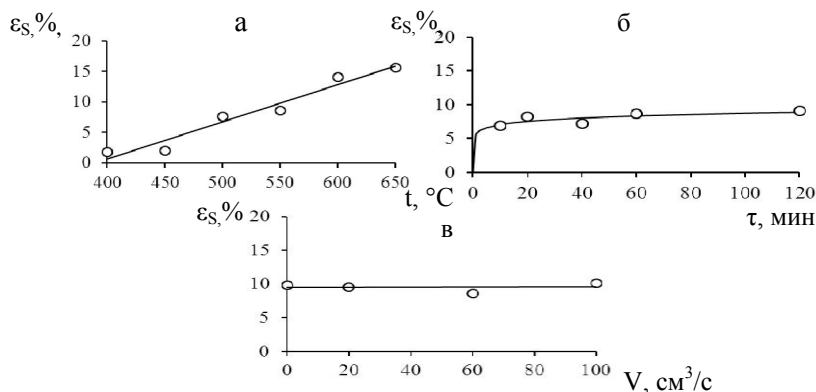


Рис. 2. Зависимость перехода серы в газ  $\varepsilon_s$ , % от заданных факторов: а – температура обжига  $t$ , °C; б – продолжительность  $\tau$ , мин; в – расход двухазного воздуха  $V$ ,  $cm^3/c$ ; точки – экспериментальные данные; линии – по уравнениям (табл. 7)

Зависимость извлечения серы в газ от продолжительности обжига (рис. 2, б) возрастает в интервале 0–40 мин и далее практически не меняется, что также связано с полнотой диссоциации пирита.

Скорость воздуха в выбранных интервалах ее варьирования не влияет на ход процесса (рис. 2, в), так как окисление протекает даже при малой концентрации кислорода в газовой фазе.

Судя по графическим зависимостям, в газовую фазу в оптимальных условиях переходит не более 20% серы пирита.

Полученные математические выражения также использовали для вывода математической модели процесса обжига (табл. 7).

Таблица 7

Частные зависимости для извлечения серы в газ с оценкой их адекватности

Функция извлечения серы в газ, %	R	Условие $t_R > 2$	Значимость
$\varepsilon_s = 0,0608t - 23,61$	0,96	12,3 > 2	Значима
$\varepsilon_s = 5,6589\tau^{0,0948}$	0,6978	2,356 > 2	Значима
$\varepsilon_s = 0,0012V + 9,4851$	0,0065	0 < 2	Незначима

Полученные уравнения для перехода серы в газ (см. табл. 7) с учетом значимых функций для описания совокупности действующих факторов

обобщаются аналогично описанному выше по центральному расчетному значению  $\varepsilon_{S,ц} = 9,0863\%$ :

$$\varepsilon_{S,p} = 0,1108(0,0608t - 23,61)(5,6589\tau^{0,0948}). \quad (7)$$

При сопоставлении результатов эксперимента и расчета нашли значения  $R=0,9507$  и  $t_R=29,65>2$ , которые указывают на высокую адекватность математической модели после корреляции описания данных эксперимента настоящим уравнением.

### Выводы

1. Проведен расчет допустимой высоты бункеров при загрузке и хранении гранул из черновых медных концентратов. Установлено, что оптимальный класс, +2–4 мм, выдерживает высоту слоя вплоть до 6 м, разрушаясь всего на 2% за счет гранул размером 4 мм. Что касается более крупных гранул, то они заметно разрушаются, начиная уже с высоты слоя 3 м, а при 6 м самые крупные практически не сохраняются.

2. Исследовано влияние различных факторов на процесс обжига малосернистого чернового медного флотоконцентрата в лабораторной шахтной печи. Установлено, что извлечение меди в условиях сульфатизирующего обжига можно достичь выше 95% при условиях:  $t = 450–500^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 40–60$  мин. Выход кека при этих условиях составляет 75%.

3. Выявлен экстремальный ход зависимости извлечения меди от температуры, на основании чего проведение обжига при температуре выше  $550^\circ\text{C}$  нецелесообразно из-за диффузионных затруднений.

4. Извлечение меди от ее содержания носит убывающий характер ввиду существенного увеличения глинистой части породообразующих минералов, закрывающих доступ окислителя к сульфидам. Тем не менее извлечение меди выше 95% может быть достигнуто за счет увеличения

продолжительности процесса.

5. Контроль за переходом серы в газовую фазу позволил получить многофакторную модель этого процесса.

### Список литературы

1. *Металлургия меди, никеля и кобальта* / Худяков И.Ф., Тихонов А.И., Деев В.И., Набойченко С.С. М.: *Металлургия*, 1977. Т.1.
2. Атбашян Е.М., Лейзерович Г.Я., Лонский И.С., Метелицына И.А. // *Цветная металлургия*. 1962. №8. С. 25.
3. Саргсян Л.Е., Оганесян А.М. Обжиг сульфидно-цинкового концентрата с получением преимущественно сульфатного огарка для эффективного выщелачивания // *Цветные металлы*. 2006. №7. С. 16.
4. Саргсян Л.Е., Оганесян А.М. Активированный сульфатизирующий обжиг халькопиритового концентрата для сернокислотного выщелачивания // *Изв. вузов. Цветная металлургия*. 2010. №5. С. 11–13.
5. Изучение влияния сульфатизации серной кислотой чернового сульфидного концентрата для автогенности обжига / Жумашев К.Ж., Каримова Л.М., Кайралапов Е.Т., Имангалиева А.Т. // *Материалы Международной научно-практической конференции «Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии»*. Абишевские чтения. 2011. С. 157–160.
6. Жумашев К.Ж., Каримова Л.М., Кайралапов Е.Т. Изучение автогенности обжига некондиционного чернового медного концентрата воздухом, обогащенным кислородом // *Материалы XI Междунар. науч.-практич. конф. «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности»*. СПб., 2011. Т.1. С. 170–172.
7. Оптимизация процесса обжига некондиционных медных сульфидных концентратов / Каримова Л.М., Жумашев К.Ж., Малышев В.П., Кайралапов Е.Т. // *КИМС*. 2011. №2(275). С. 56–67.
8. Малышев В.П., Телешев К.Д., Нурмагамбетова А.М. Разрушаемость и сохранность конгломератов. Алматы: НИЦ «Фылым», 2003. 336 с.
9. Дукарский О.М., Закурдаев А.Г. Статистический анализ и обработка данных на ЭВМ «Минск-22». М.: *Статистика*, 1971. 179 с.
10. Сиськов В.И. Корреляционный анализ в экономических исследованиях. М.: *Статистика*, 1975. 168 с.
11. Малышев В.П. Математическое описание результатов многофакторного эксперимента, проведенного по методу Зейделя-Гаусса // *Вестник АН Каз ССР*. 1978. №4. С. 31–38.
12. Смирнов В.И., Тихонов А.И. Обжиг медных руд и концентратов. Свердловск: *Металлургиздат*, 1958. 280 с.

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

## SULPHATIZING ROASTING OF A ROUGH COPPER SULFIDE CONCENTRATE FOR SULFURIC ACID LEACHING

**Karimova Lyutsiya Monirovna** – Ph.D. (Chemistry), Lead Researcher LLP Innovatsiya, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: lutsia.08@mail.ru.

**Abstract.** To assess the integrity and impact resistance when loading, transporting and storing pellets of a rough copper concentrate, we calculated the allowable height of bins from the pelletizer to the shaft furnace.

Influence of various factors on roasting of the rough copper flotation concentrate was studied in the laboratory of the shaft furnace. We revealed extreme dependence between the temperature and copper extraction. Depending on the existing factors we obtained partial and generalized

functions of copper recovery into the solution and the transition of sulfur in gas.

**Keywords:** pellets, copper concentrate, bed height, roasting, factors, generalized equation.

### References

1. Khudyakov I.F., Tikhonov A.I., Deev V.I., Naboychenko S.S. *Metallurgiya medi, nikelya i kobal'ta* [Metallurgy of copper, nickel

- and cobalt]. Moscow: Metallurgy, 1977, vol.1.
2. Atbashyan E.M., Leizerovich G.Ya., Lonsky I.S., Metelitsyna I.A. *Tsvetnaya metallurgiya* [Non-ferrous metallurgy]. 1962, no. 8, pp. 25.
  3. Sargsyan L.E., Oganesyana A.M. Roasting of a zinc sulfide concentrate producing mainly roasted sulfate products for efficient leaching. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals]. 2006, no. 7, pp. 16.
  4. Sargsyan L.E., Oganesyana A.M. Activated sulphatizing roasting of a chalcopyrite concentrate for sulfuric acid leaching. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya* [News of higher educational institutions. Non-ferrous metallurgy]. 2010, no. 5, pp. 11–13.
  5. Zhumashev K.Zh., Karimova L.M., Kairalapov E.T., Imangalieva A.T. Influence of sulphatization of a rough sulfide concentrate with sulphuric acid for autogenous roasting. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Geterogennye protsessy v obogashhenii i metallurgii» Abishevskie chteniya* [Proceedings of the International theoretical and practical conference on heterogeneous processes in dressing and metallurgy. Abishev's readings]. 2011, pp. 157–160.
  6. Zhumashev K.Zh., Karimova L.M., Kairalapov E.T. Autogenous roasting of an off-grade rough copper concentrate with oxygen-enriched air. 11<sup>th</sup> International theoretical and practical conference on fundamental and applied research, development and application of high technologies in the industry, city of Saint Petersburg, 2011, vol.1, pp. 170–172.
  7. Karimova L.M., Zhumashev K.Zh., Malyshev V.P., Kairalapov E.T. Optimization of roasting of off-grade copper sulfide concentrates. *KIMS*, 2011, no. 2(275), pp. 56–67.
  8. Malyshev V.P., Teleshev K.D., Nurmagambetova A.M. *Razrushaemost' i sokhrannost' konglomeratov* [Impact resistance and integrity of conglomerates]. Almaty: R&D center Gylym, 2003, 336 p.
  9. Dukarsky O.M., Zakurdaev A.G. *Statisticheskij analiz i obrabotka dannykh na EHVM «Minsk-22»* [Statistical analysis and data processing on the Minsk-22 computer]. Moscow: Statistics, 1971, 179 p.
  10. Siskov V.I. *Korrelatsionnyj analiz v ehkonomicheskikh issledovaniyakh* [Correlation analysis in economic research]. Moscow: Statistics, 1975, 168 p.
  11. Malyshev V.P. A mathematical description of results of the multi-factor experiment by the Gauss-Seidel method. *Byulleten' Akademii nauk Kazakhskoj SSR* [Bulletin of the Academy of Sciences of the Kazakh Soviet Socialist Republic]. 1978, no. 4, pp. 31–38.
  12. Smirnov V.I., Tikhonov A.I. *Obzhig mednykh rud i kontsentratov* [Roasting of copper ore and concentrates. Metallurgizdat]. Sverdlovsk, 1958, 280 p.

УДК 621. 926. 22

## УЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКЕ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ФЕРРОМАТЕРИАЛОВ

Кузбаков Ж. И.

Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова, г. Актюбе, Казахстан.

**Аннотация.** Причинами недостаточно эффективной работы щековых дробилок при измельчении высокопрочных материалов является недостаточный учет переходных процессов. Исследование переходных процессов производственных машин имеет большое практическое значение. В щековой дробилке переходные процессы зависят от скорости исполнительного механизма и времени его работы и угла поворота эксцентрикового вала.

В статье рассмотрено воздействие на систему электропривода дробильной машины нагрузок, изменяющихся во времени.

На основе решения системы дифференциальных уравнений движения полученные расчетные формулы позволяют провести исследования переходных процессов в системе электропривода, изменяющихся во времени. Исследования показали, что характер изменения нагрузок мало влияет на динамику переходных процессов. Расчеты показали, что на динамику переходных процессов значительное влияние оказывает интенсивность нарастания нагрузок.

Для снижения интенсивности нарастания нагрузок предложено изменить параметры дробильной камеры дробильной машины. На новую конструкцию дробильной машины получены патенты республик Казахстан и Украины.

**Ключевые слова:** интенсивность нарастания нагрузки, динамичность, переходной процесс, перепад скорости, момент двигателя, дробильная камера.

### Введение

Исследование переходных режимов производственных машин имеет большое практическое значение [1].

Переходные процессы, в зависимости от динамических свойств системы, ее параметров, характера нагрузки, управляющих воздействий могут отличаться длительностью, максимальными нагрузками, потреблением и потерями энергии [2, 8].

Формирование оптимальных переходных процессов с показателями, удовлетворяющим требованиям технологического процесса, является одной из важнейших задач при разработке системы электропривода щековой дробилки. При дроблении высокопрочных материалов критериями оптимального переходного процесса в щековой дробилке могут быть минимальные энергетические потери, минимальные колебательные механические нагрузки [2, 3], минимальные динамические нагрузки, обеспечивающие долговременную надежную работу машины [5–9].