

7. Final report on the applicability of a surface miner in a nongrai limestone mine at the Lafarge Umiam Mining Pvt. Ltd in Meghalaya, India / Achyuta Krishna Ghosh, Dr/ Sujit Kumar Mondal, Santosh Kumar Singh, Dr. Amalendu Sinha : technical information brochures. – Central Institute of Mining & Fuel Research [Council of Scientific and Industrial Research] Department of Science & Technology, Government of India. July, 2010. [http://lumpl.com/pdf/surface\\_miner\\_report.pdf](http://lumpl.com/pdf/surface_miner_report.pdf).
8. Mattis, A.R.; Cheskidov, V.I.; Labutin, V.N. Choice of hard rock surface mining machinery in Russia. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Journal of mining science]. 2012. no. 2(48), pp. 329–338.
9. Eryomin A.M. Osobennosti otsenki poter pri dobyche s ispolzovaniem radiometricheskoi krupnokuskovoi i portsiionnoi sortirovki [Specifics of evaluation of losses in mining using radiometric lump and batch sorting]. *Doklad na seminarie «Opyt i novovvedeniya v rassmotrenii i soglasovanii proektno-tekhnicheskoi dokumentatsii v TsKR-TPI Rosnedr»* [Report at the seminar 'Experience and innovations in the review and approval of technical documentation in the Central Committee for solid mineral deposits development of Rosnedra'], 22–23 October 2013, Moscow, 'VIMS' Federal State Unitary Enterprise.
10. Eryomin A.M. *Nauchnoe obosnovanie vozmozhnosti predvaritelnogo obogashheniya zolotosulfidnykh rud i razrabotka tekhnologii rentgenoradiometricheskoi sortirovki: (na primere mestorozhdeniya «Kokpatas»)* [Scientific substantiation of the possibility of preliminary enrichment of gold sulfide ores and development of an X-ray radiometric sorting technology (a study of Kokpatas deposit). Extended abstract of Ph.D. dissertation]. Moscow, 2010, 32 p.
11. Latyshev V.E. *Obosnovanie i razrabotka effektivnykh tekhnologuii sortirovki yadernofizicheskimi metodami zolotosoderzhashchikh rud na karierakh* [Substantiation and development of effective technologies of gold-bearing ores sorting with nuclear-physical methods in open pits. Extended abstract of D.Sc. dissertation]. Moscow, 2011, 48 p.
12. Fedyanin S.N. Analiz vliyaniya asimmetrii izmereniy na pogreshnost radiometricheskogo opytovaniya fosforitovykh rud v avtosamosvalakh na RKS [Analysis of the impact of measurements asymmetry on the accuracy of radiometric assay of phosphorite ores in dump trucks at the NCC]. *Gorny Vestnik Uzbekistana. Nauchno-tekhnicheskyy i proizvodstvennyy zhurnal* [Mining Bulletin of Uzbekistan. Scientific-technical and industrial journal], 2001, no. 1.
13. Mednikov N.N., Chemetov P.A., Fedyanin S.N. Osnovnyye polozheniya formirovaniya tekhnologicheskikh skhem i gruzopotokov rudy i vskryshi pri ekspluatatsii fosforitovogo kariera [Main provisions of the development of process flow charts and traffic of ore and overburden in operating a phosphorite mine]. *Gorny Vestnik Uzbekistana. Nauchno-tekhnicheskyy i proizvodstvennyy zhurnal* [Mining Bulletin of Uzbekistan. Scientific-technical and industrial journal], 2001, no. 1.
14. Inozemtsev S.B., Potapov V.A., Fedyanin S.N. Radiometricheskaya sortirovka fosforitovykh rud v avtosamosvalakh [Radiometric sorting of phosphorite ores in dump trucks]. *Gorny Vestnik Uzbekistana. Nauchno-tekhnicheskyy i proizvodstvennyy zhurnal* [Mining Bulletin of Uzbekistan. Scientific-technical and industrial journal], 2001, no. 1.
15. Filippov S.A. *Ekonomicheskaya otsenka posledstviy vozdeystviya na okruzhayushchuyu prirodnyuyu sredyu na baze uravneniy balansa tselostnykh resursov, vzaimodeystviyushchikh pri razrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Economic evaluation of the consequences of environmental impacts on the basis of balance equations of integral resources interacting at the development of minerals deposits]. *Doklad na seminarie «OVOS, ekologicheskaya ekspertiza i gosudarstvennyy ekologicheskyy kontrol pri realizatsii proektov v nedropolzovanii»* [Report at the seminar EIA, environmental impact assessment and state environmental control in the implementation of projects in subsurface resource management]. August 24–25, 2011, Moscow, 'VIMS' Federal State Unitary Enterprise.
16. Mednikov N.N., Sytenkov V.N. Metodika raschyota proizvoditelnosti rotornykh ekskavatorov i frezernykh kombainov primenitelno k tekhnologicheskim skhemam razrabotki vskryshnykh porod fosforitovogo kariera [Calculation methodology of the capacity of bucket wheel excavators and milling machines with regard to process flow charts of the development of phosphorite deposits]. *Gorny Vestnik Uzbekistana. Nauchno-tekhnicheskyy i proizvodstvennyy zhurnal* [Mining Bulletin of Uzbekistan. Scientific-technical and industrial journal], 2001, no. 1.

Швабенланд Е.Е., Соколовский А.В., Пихлер М. Выбор параметров послонно-порционнoй технологии при разработке сложноструктурных месторождений комбайнами фрезерного типа // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14. №1. С. 5–12. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-1-5-12

Schwabenland E.Ye., Sokolovsky A.V., Pichler M. Selection of parameters of a layer-batch technology in mining of complex-structured field deposits with cold milling combined machines. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 1, pp. 5–12. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-1-5-12

УДК 669.337

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-1-12-17

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГРАНУЛИРОВАННОГО ЧЕРНОВОГО МЕДНОГО СУЛЬФИДНОГО КОНЦЕНТРАТА ЗАБАЛАНСОВОЙ РУДЫ

Каримова Л.М.<sup>1</sup>, Кайралапов Е.Т.<sup>1</sup>, Бухарицин В.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ТОО «Инновация», Караганда, Казахстан

<sup>2</sup> Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева, Караганда, Казахстан

**Аннотация.** Цель работы состояла в определении возможности использования тепла химических реакций при обжиге некондиционных медных концентратов.

Методом дифференциально-термического анализа проведены исследования окислительного обжига гранулированного черного медного сульфидного концентрата. Дериватограммы гранул имеют два ярко выраженных термических эффекта. Первый, эндотермический эффект, соответствует удалению физической влаги.

Второй пик экзотермический, обусловленный окислением сульфидной минеральной составляющей медного концентрата. Рассчитана величина кажущейся энергии активации 166,280 кДж/моль, которая свидетельствует о лимитировании процесса кинетическим режимом сульфатизации сульфидов меди. Величина кажущейся энергии активации удаления влаги составила 27,713 кДж/моль и соответствует лимитированию процесса внутренней диффузией.

Оценкой тепловых характеристик обжигового процесса установлено, что при содержании меди в сульфидном концентрате около 10% затраты тепла на сушку могут быть практически полностью компенсированы, а при сульфатизирующем обжиге гарантируется полное использование тепла химических реакций для технологического процесса, что может быть учтено для разработки оптимального режима управления процессом обжига.

**Ключевые слова:** гранулы, дериватограммы, скорость нагревания, графическая зависимость.

## Введение

В работах [1–3] проведена оптимизация процесса сульфатизирующего обжига в лабораторной шахтной печи малосернистого чернового медного флотоконцентрата с использованием влияния различных факторов на последующее сернокислотное выщелачивание. Помимо определяющего влияния расхода воздуха не менее важным является недопущение спекания материала, которое происходит выше 650°C [4].

Одним из методов исследования процессов, последовательно протекающих при повышении температуры, получивших широкое распространение, является метод термического анализа.

Для изучения процессов, протекающих при нагреве чернового медного концентрата, необходимо знание кинетических параметров, в частности значений кажущейся энергии активации.

## Материалы и результаты исследований

Проведен дифференциально-термический анализ гранул чернового медного концентрата с использованием дериватографа Derivatograf Q-1000 фирмы «МОМ» системы F. Paulik, J. Paulik, L. Erdey.

Концентрат окатывали в грануляторе, имеющем чашу диаметром 0,4 м с подачей разбрызгиванием технической воды. Специального связующего (лигносульфонатов) не добавляли для выявления кинетических параметров без влияния тормозящих процесс окисления веществ, к тому же горючих. Фракции гранул необходимого размера отсеивали на ситах. Исследуемый концентрат, полученный путем переработки (методом флотации) забалансовой медной сульфидной руды Жезказганского месторождения (Карагандинская область, Казахстан), с содержанием класса 74 мкм 70,4% имел насыпную массу 1,33 г/см<sup>3</sup>. Химический состав концентрата представлен в табл. 1. Фазовый и минеральный составы чернового концентрата – в табл. 2, 3.

Таблица 1

### Содержание основных компонентов в черновом концентрате

| Компоненты        | Содержание, % | Компоненты                     | Содержание, % |
|-------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| Cu                | 4,73          | SiO <sub>2</sub>               | 60,68         |
| Ag, г/т           | 87,2          | Zn                             | 0,75          |
| Fe                | 5,46          | K <sub>2</sub> O               | 1,20          |
| Mg                | 1,16          | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8,64          |
| S                 | 2,97          | Ti                             | 0,4           |
| Na <sub>2</sub> O | 1,63          | Pb                             | 0,548         |

Таблица 2

### Результаты фазового анализа чернового концентрата на содержание форм меди, %

| Компоненты  | абс.        | отн.  |
|---|-------------|-------|
| Сульфаты  | <0,2(<0,01) |       |
| Карбонаты   | <0,2(0,09)  | 2,3   |
| Оксиды, силикаты                                  | <0,2        |       |
| Вторичных сульфидов (ковеллин, халькозин, борнит) | 4,1         | 86,68 |
| Халькопирит                                       | 0,63        | 13,32 |
| Суммарно  | 4,73        | 100,0 |

Таблица 3

### Минеральный состав сульфидного концентрата, %

| CuFeS <sub>2</sub><br>(халькопирит) | Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub><br>(борнит) | Cu <sub>2</sub> S<br>(халькозин) |
|-------------------------------------|--|----------------------------------|
| 1,87                                | 1,58   | 3,70                             |

Для исследований использовали окатыши – 2+3 мм с влажностью 8%. Навеску гранул средней массой 1437 мг помещали в кварцевую ячейку с отверстиями для свободного непринудительного прохождения воздуха, скорость нагревания изменяли от 5 до 20°C/мин.

Дериватограммы чернового медного концентрата имеют два ярко выраженных термических эффекта (рис. 1).

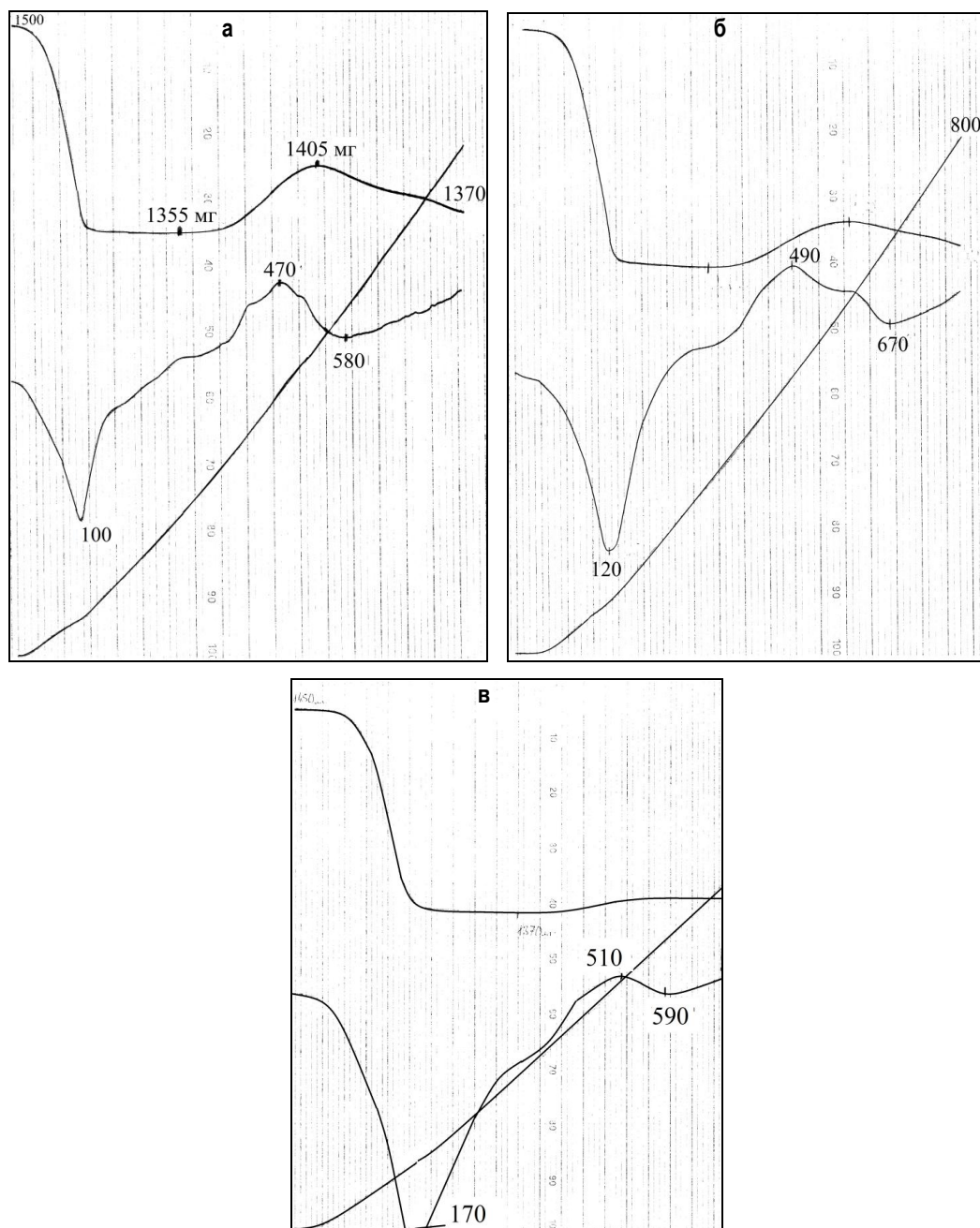


Рис. 1. Дериватограммы гранул (+2-3 мм) черного концентрата при скорости нагревания 5 (а), 10 (б) и 20 (в) град/мин

Первый, эндотермический эффект, соответствует удалению физической влаги, что сопровождается уменьшением массы навески. При дальнейшем нагреве наблюдается второй пик, экзотермический, обусловленный окислением сульфидной минеральной составляющей медного концентрата с значительным увеличением массы навески. При скорости нагревания 5 град/мин температура пика экзотермического эффекта составили 470°С, при 10 град/мин – 490°С, при 20 град/мин – 510°С.

Полученные данные были использованы

для определения энергии активации процесса по методу [5]

$$\frac{1}{T_m} = A - \frac{R}{E} \ln v, \quad (1)$$

где  $T_m$  – температура максимума, К;  $A$  – константа,  $K^{-1}$ ;  $R$  – газовая постоянная, Дж/(моль · К);  $E$  – энергия активации процесса, Дж/моль;  $v$  – скорость нагревания, К/с.

Результаты расчета приведены в табл. 4.

Таблица 4

Исходные данные для расчета энергии активации на основе формулы (1) для экзоэффекта сульфатизации

| $T_{\max}, ^\circ\text{C}$ | $1/T_{\max}, \text{K}^{-1}$ | $v$                         |                     | $\ln v$ |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|---------|
|                            |                             | $^\circ\text{C}/\text{мин}$ | $\text{K}/\text{с}$ |         |
| 470                        | $1,346 \cdot 10^{-3}$       | 5                           | 0,08333             | -2,4849 |
| 490                        | $1,311 \cdot 10^{-3}$       | 10                          | 0,1666              | -1,7917 |
| 510                        | $1,277 \cdot 10^{-3}$       | 20                          | 0,3333              | -1,0986 |

Построение этих данных в координатах  $1/T_{\max} - \ln v$  позволило выявить их линейное расположение (рис. 2) и возможность обработки на уравнение прямой методом наименьших квадратов, при  $y=1/T_{\max}$ ,  $x=\ln v$ ,  $c=A$ ,  $a=-R/E$ . Значимость частных зависимостей определяли по коэффициенту нелинейной множественной корреляции  $R$  и его значимости [6, 7]  $t_R$ , которая составила  $R = 0,9999$ .

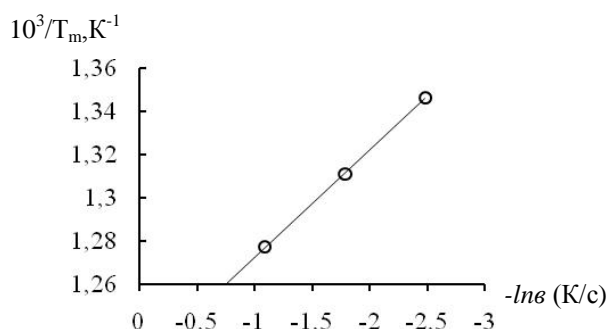


Рис. 2. Линеаризованная зависимость по формуле (1):  $T_m$  – температура максимума;  $v$  – скорость нагревания навески

При этом получена величина кажущейся энергии активации  $E = 166280 \text{ Дж/моль} = 166,280 \text{ кДж/моль}$ , которая свидетельствует о лимитировании процесса кинетическим режимом сульфатизации сульфидов меди и в общем случае определяется энергией разрыва химических связей [8]. Окисление гранул  $\text{CuS}_2$  в составе гранул малого размера протекает в кинетической области, т.к. вещество гранулы в этом случае не оказывает существенного диффузионного сопротивления. Процесс определяется скоростью химической реакции (осуществляется кинетический режим).

Поскольку удаление влаги и в технологическом процессе обжига медных концентратов предшествует возгоранию гранул, целесообразно обработать данные ДТА и по эндотермическому эффекту. Результаты этой обработки представлены в табл. 5 и на рис. 3.

Таблица 5

Исходные данные по сушке гранул для расчета энергии активации на основе формулы (1) для эндоэффекта испарения влаги

| $T, ^\circ\text{C}$ | $1/T, \text{K}^{-1}$  | $v$                         |                     | $\ln v$ |
|---------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------|---------|
|                     |                       | $^\circ\text{C}/\text{мин}$ | $\text{K}/\text{с}$ |         |
| 100                 | $2,681 \cdot 10^{-3}$ | 5                           | 0,08333             | -2,4849 |
| 120                 | $2,545 \cdot 10^{-3}$ | 10                          | 0,1666              | -1,7917 |
| 170                 | $2,257 \cdot 10^{-3}$ | 20                          | 0,3333              | -1,0986 |

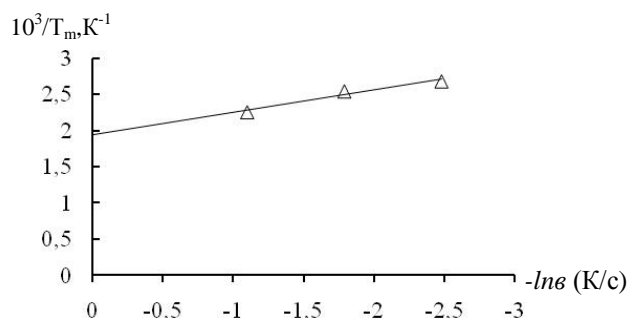


Рис. 3. Линеаризованная зависимость по формуле (1):  $T_m$  – экстремальная температура эндоэффекта;  $v$  – скорость нагревания навески

Обработка данных табл. 5 методом наименьших квадратов позволила получить прямолинейную зависимость с коэффициентом нелинейной множественной корреляции  $R = 0,9589$ ,  $t_R = 12,0 > 2$ . Поэтому ее можно использовать для определения величины энергии активации влаги, которая составила  $E = 27713 \text{ Дж/моль} = 27,713 \text{ кДж/моль}$ . Эта величина соответствует лимитированию процесса внутренней диффузией, что в данном случае соответствует сопротивлению процесса удаления влаги из гранул с формированием внутренней пористой структуры. Благодаря этому и обеспечивается последующий кинетический режим окислительной сульфатизации мелких гранул.

Помимо этого можно оценить и тепловые характеристики обжигового процесса методом сравнения площадей пиков для известного и неизвестных тепловых эффектов [9]. Поскольку на диаграммной бумаге нанесена сотка, образующая квадраты достаточно малого размера, площадь пиков может быть вычислена по сумме квадратов, вместившихся в площадь пика.

Так, для эндоэффекта число таких квадратов составило 270, а для экзоэффекта – 123. Соотношение этих сумм для экзо- и эндоэффекта составило  $k=123/270 = 0,456$ . Эта величина, с одной стороны, характеризует энергетическое отличие этих эффектов, а с другой – создает возможность определить удельное количество выделяющегося тепла химических реакций, приходящееся на единицу массы меди. Это позволит оценить и степень автогенности процесса обжига.

Теплота испарения воды равна 40,657 кДж/моль [10], или 2,259 кДж/г. При снятии термограммы со скоростью 10 град/мин использовались навеска гранул 1,35 г с содержанием влаги 8%, или 0,108 г H<sub>2</sub>O. Отсюда тепловой эффект испарения воды на термограмме соответствует величине  $2,259 \cdot 0,108 = 0,244$  кДж/навеска. По соотношению площадей пиков для экзо- и эндотермических эффектов находим величину теплового эффекта, относящуюся к окислительной сульфатизации навески и равную  $0,244$  кДж/навеска  $\cdot 0,456 = 0,111$  кДж/навеска.

В пересчете на содержание меди в навеске 4,73% тепловой эффект составит  $0,111/0,0473 = 2,35$  кДж/г Cu. Этот показатель может быть использован в технологических целях с соответствующим пересчетом на тонну меди в концентрате  $2,35 \cdot 10^6$  кДж/т Cu.

Полученные данные позволяют утверждать, что в процессе сульфатирующего обжига использованного чернового концентрата выделяющееся тепло химических реакций сульфатизации может примерно наполовину компенсировать затраты на удаление влаги. Это зависит от содержания сульфидов, и эта компенсация может увеличиваться пропорционально содержанию меди при средней влажности гранулированного материала на уровне 8% (табл. 6).

**Таблица 6**  
Количество выделяющегося при сульфатизации тепла в расчете на тонну меди в зависимости от содержания меди в концентрате

| Содержание меди, %                           | 4,73 | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Выделение тепла, 10 <sup>6</sup> кДж/т Cu    | 2,35 | 2,48 | 2,98 | 3,48 | 3,98 | 4,47 | 4,97 | 5,46 | 5,96 |
| Степень компенсации затрат тепла на сушку, % | 45,6 | 48,2 | 57,8 | 67,5 | 77,1 | 86,8 | 96,4 | 106  | 116  |

Таким образом, при содержании меди в сульфидном концентрате около 10% затраты тепла на сушку могут быть практически полностью компенсированы, а в общем случае переработка черновых медных концентратов с операцией сульфатирующего обжига гарантирует полное использование тепла химических реакций для технологического процесса (не требуется отвод избыточного тепла).

### Выводы

1. Методом дифференциально-термического анализа проведены исследования гранул чернового медного сульфидного концентрата крупно-

стью  $-2+3$  мм с влажностью 8% при скорости нагревания от 5 до 20°C/мин.

2. Дериватограммы гранул чернового медного сульфидного концентрата имеют два ярко выраженных термических эффекта. Первый, эндотермический эффект, соответствует удалению физической влаги, что сопровождается уменьшением массы навески пробы. Второй пик экзотермический, обусловленный окислением сульфидной минеральной составляющей медного концентрата.

3. Получена величина кажущейся энергии активации 166,280 кДж/моль, которая свидетельствует о лимитировании процесса кинетическим режимом сульфатизации сульфидов меди. Величина кажущейся энергии активации влаги составила 27,713 кДж/моль, которая соответствует лимитированию процесса внутренней диффузией.

4. Проведена оценка тепловых характеристик обжигового процесса методом сравнения площадей пиков тепловых эффектов. Установлено, что при содержании меди в сульфидном концентрате около 10% затраты тепла на сушку могут быть практически полностью компенсированы, а в общем случае переработка черновых медных концентратов с операцией сульфатирующего обжига гарантирует полное использование тепла химических реакций для технологического процесса (не требуется отвод избыточного тепла).

### Список литературы

1. Оптимизация процесса обжига некондиционных медных сульфидных концентратов / Каримова Л.М., Жумашев К.Ж., Малышев В.П., Кайралтапов Е.Т. // КИМС. 2011. №2(275). С. 56–67.
2. Каримова Л.М. Сульфатирующий обжиг чернового медно-сульфидного концентрата для серно-кислотного выщелачивания // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №3(47). С. 15–21.
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. Смирнов В.И., Тихонов А.И. Обжиг медных руд и концентратов. Свердловск: Metallurgizdat, 1958. 280 с.
5. Букетов Е.А., Малышев В.П. Технологические процессы шахтного обжига в цветной металлургии. Алма-Ата: Наука КазССР, 1973. 350 с.
6. Дукарский О.М., Закурдаев А.Г. Статистический анализ и обработка данных на ЭВМ «Минск-22». М.: Статистика, 1971. 179 с.
7. Сиськов В.И. Корреляционный анализ в экономических исследованиях. М.: Статистика, 1975. 168 с.
8. Эммануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. М.: Высш. шк., 1974. 400 с.
9. Берг Л.Г. Введение в термографию. 2-е изд., доп. М.: Наука, 1969. 396 с.
10. Волков А.И., Жарский И.М. Большой химический справочник. Мн.: Современная школа, 2005. 608 с.

Материал поступил в редакцию 11.01.16.

## INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-1-12-17

## DIFFERENTIAL THERMAL ANALYSIS OF THE PELLETTED ROUGH COPPER SULPHIDE CONCENTRATE OF OFF-BALANCE ORE

**Karimova Lyutsiya Monirovna** – Ph.D. (Chemical), leading research fellow, Innovatsia Limited Partnership, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: lutsia.08@mail.ru.

**Kairalapov Yerlan Tokpaevich** – Ph.D. (Eng.), senior research fellow, Innovatsia Limited Partnership, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: kairalapov.e@mail.ru.

**Bukharitsin Valentin Olegovich** – senior research fellow, Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abishev, Karaganda, Kazakhstan.

**Abstract.** The purpose of this work was to determine the possibility of using chemical reaction heat when roasting substandard copper concentrates.

Dead roasting of rough pellets of copper sulphide concentrate has been studied through differential thermal analysis. The thermograms of the pellets have two distinct thermal effects. The first effect – endothermic – corresponds to the physical removal of moisture. The second peak – exothermic – is due to oxidation of the sulfide mineral component of copper concentrate. We have obtained the apparent activation energy value of 166.280 kJ·mol which indicates limitation of the process by kinetic copper sulfide sulphatization. The apparent activation energy value was moisture 27.713 kJ·mol. The value corresponds to limitation of the internal diffusion process.

With evaluation of the thermal performance of the calcined process, it has been established that drying heat losses can be almost completely compensated when the copper content in sulfidic concentrate amounts to about 10%, while sulphatizing roasting ensures the complete use of chemical reaction heat for the process, which can be considered at developing an optimal roasting control condition.

**Keywords:** Pellets, derivatograms, heating rate, characteristic curve.

## References

1. Karimova L.M., Zhumashev K.Zh., Malyshev V.P., Kayralapov Y.T. Optimization of roasting off-grade copper sulfide concentrates. *KIMS*, 2011, №2 (275), pp. 56–67.
2. Karimova L.M. Sulphatizing roasting of rough copper sulfide concentrates for sulfuric acid leaching. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2014, №3 (47), pp.15–21.
3. Sargsyan L.E., Oganesyanyan A.M. Roasting of sulfide zinc concentrate producing mainly roasted sulfate products for efficient leaching. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals]. 2006, №7, p. 16.
4. Smirnov V.I., Tikhonov A.I. *Obzhig mednykh rud i koncentratov* [Roasting of copper ores and concentrates]. Sverdlovsk, Metallurgizdat, 1958. 280 p.
5. Buketov E.A., Malyshev V.P. *Tekhnologicheskie protsessy shakhtnogo obzhiga v tsvetnoy metallurgii* [Shaft roasting processes in non-ferrous metallurgy]. Almaty, Nauka KazSSR, 1973. 350 p.
6. Dukarsky O.M., Zakurdaev A.G. *Statisticheskij analiz i obrabotka dannykh na EHVМ «Minsk-22»* [Statistical analysis and data processing with "Minsk-22" electronic computing machine]. Moscow: Statistika, 1971. 179 p.
7. Siskov V.I. *Korrelatsionnyj analiz v ehkonomicheskikh issledovaniyakh* [Correlation analysis in economic research]. Moscow: Statistika, 1975. 168 p.
8. Emmanuel N.M., Knorre D.G. *Kurs khimicheskoy kinetiki* [Course on chemical kinetics]. Moscow, Vysshaya Shkola, 1974. 400 p.
9. Berg L.G. *Vvedenie v termografiyu* [Introduction to thermography]. Moscow: Nauka, 1969. 396 p.
10. Volkov A.I., Zharsky I.M. *Bol'shoj khimicheskij spravochnik* [Large Handbook of Chemistry]. Minsk: Modern School, 2005. 608 p.

Каримова Л.М., Кайрапапов Е.Т., Бухарицин В.О. // Дифференциальный термический анализ гранулированного черного медного сульфидного концентрата забалансовой руды. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14. №1. С. 12–17. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-1-12-17

Karimova L.M., Kairalapov Ye.T., Bukharitsin V.O. Differential thermal analysis of the pelleted rough copper sulphide concentrate of off-balance ore. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 1, pp. 12–17. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-1-12-17