

complexes of high-performance self-propelled equipment in all ore mining processes. The schemes of development and ore mining are worked out. Optimal ore extraction parameters are determined. Technical and economic performance of each mine is calculated.

**Keywords:** scheme of development, the system of underground mining, block caving, resource-saving technology, economic-mathematical modeling, ore losses and contamination, technical and economic performance.

### References

1. Yakovlev V.L., Volkov Yu.V., Slavikovsky O.V. On a strategy of development of copper ore deposits of the Urals. *Gornij zhurnal* [Mining Journal], 2003, no. 9, pp. 3-7.
2. Volkov Yu.V., Kamaev V.D. Stage development of ore deposits. *Gornij informatsionno-analiticheskij byulleten'* [Mining research and information bulletin], 2007, no. 8, pp. 341-343.
3. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Kulminsky A.S. Development of pit reserves of Udachnaya pipe in harsh climatic, mining and hydrogeological conditions. *Gornij zhurnal* [Mining Journal], 2011, no. 1, pp. 63-66.
4. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Nikitin I.V., Shirokov M.A. Rationale for underground geotechnology of the Sarbaisky iron ore deposit during combined mining. *Gornij informatsionno-analiticheskij byulleten'* [research and information bulletin], 2013, no. 4, pp. 58-65.
5. Freidin A.M., Filippov P.A., Gaidin S.P., Korenkov E.N., Neverov S.A. Prospects of technical re-equipment in underground mines of the metallurgy complex in West Siberia. *Zhurnal gornoj nauk* [Journal of Mining Science], 2004, no. 3, pp. 71-80.
6. Eremenko A.A., Eremenko V.A., Gaidin A.P. *Sovershenstvovanie geotekhnologii osvoeniya zhelezorudnykh udaroopasnykh mestorozhdenij v usloviyakh dejstviya prirodnykh i tekhnogennykh faktorov* [Improvement of geotechnology of iron ore rock-bump hazardous deposit development in conditions of natural and anthropogenic factors]. Novosibirsk: Nauka, 2008, 312 p.
7. Zubkov A.V. *Geomechanika i geotekhnologiya* [Geomechanics and geotechnology]. Ekaterinburg: UB RAS, 2001, 335 p.
8. Standard methodological instructive regulations on the setting of norms for extraction losses of solid commercial minerals: instructive materials on protection of mineral resources. Gosgortekhnadzor USSR. Moscow: Nedra, 1973, 154 p.
9. Standard methodological instructive regulations on the assessment of the economic consequences of losses of commercial minerals occurring upon the development of deposits: instructive materials on protection of mineral resources. Moscow: Nedra, 1973, 47 p.
10. Methodological recommendations on the evaluation of investment projects (second revision). Moscow: Economics, 2000, 424 p.

УДК 622.833.5

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ НА СОСТОЯНИЕ КРЕПИ СТВОЛОВ

Зубков А.В., Сентябов С.В., Бирючев И.В.

Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

**Аннотация.** Представлены результаты исследований на подземном руднике Гайского ГОКа и расчетов, выполненных в Институте горного дела Уральского отделения РАН. Выявленное явление расширения и сжатия Земли, происходящее синхронно с легко отслеживаемым изменением размера Солнца, требует дальнейшего исследования и уточнения корреляционных зависимостей. Приведены расчеты и замеры напряжений в крепи стволов, которые зависят не только от физико-механических свойств пород массива, но и от времени проходки ствола и остановок при возведении крепи на время, за которое бетон набрал свою полную прочность. Возникает опасность нарушения целостности крепи стволов.

**Ключевые слова:** условно постоянные тектонические напряжения; напряженно-деформированное состояние крепи стволов; астрофизические напряжения; бетонная крепь; массив горных пород.

### Введение

Напряженное состояние и геодинамическая активность верхней части Земной коры как среды обитания и техногенной деятельности человека будут всегда в центре внимания. Периодически изменяющаяся интенсивность геодинамических явлений в виде землетрясений и горных ударов красноречиво свидетельствует об изменяющемся во времени уровне напряжений в недрах [3].

Лаборатория геодинамики и горного давления Института горного дела УрО РАН при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований со второй половины 1998 года по настоящее время ведёт экспериментальные работы по изуче-

нию изменения во времени напряжённо-деформированного состояния (НДС) массива горных пород. Для этого были оборудованы наблюдательные станции на различных рудниках Урала вне зоны влияния горных работ в районе городов Краснотурьинск, Нижний Тагил, Березовский и Гай на глубинах от 420 до 1070 м.

В ходе анализа результатов работы было установлено явление периодического изменения НДС массива горных пород вследствие расширения и сжатия земной коры (Земли) с временным интервалом, в среднем, 11 лет [1].

Изменение НДС массива горных пород вызвано действием переменной во времени величиной напряжений, обусловленной действием

физических полей в космосе и называемой астрофизической  $\sigma_{\text{АФ}}$ .

В связи с этим в 2013 г. лабораторий геодинамики и горного давления ИГД УрО РАН была выдвинута новая гипотеза, в соответствии с которой напряженное состояние массива горных пород изменяется во времени, а не является постоянным, полученным в момент измерения [4] (**табл. 1**).

Таблица 1

### Гипотезы формирования природных напряжений в массиве горных пород

<b>А.Гейм, 1878 г.</b>	$\sigma_x^{\Pi} = \sigma_y^{\Pi} = \sigma_z^{\Pi} = -\gamma H$
<b>А.Н.Динник, 1951 г.</b>	$\sigma_z^{\Pi} = -\gamma H$ $\sigma_x^{\Pi} = \sigma_y^{\Pi} = -\lambda\gamma H$
<b>N.Hast, 1960 г.</b>	$\sigma_z^{\Pi} = -\gamma H$ $\sigma_x^{\Pi} = -\lambda\gamma H + T_1$ $\sigma_y^{\Pi} = -\lambda\gamma H + T_2$
<b>А.В.Зубков и К°, 2000 г.</b>	$\sigma_z^{\Pi} = -\gamma H + \sigma_{zm} + \sigma_{\text{АФ}}$ $\sigma_x^{\Pi} = -\lambda\gamma H + \sigma_{xm} + \sigma_{\text{АФ}}$ $\sigma_y^{\Pi} = -\lambda\gamma H + \sigma_{ym} + \sigma_{\text{АФ}}$ где $\sigma_{xm} + \sigma_{\text{АФ}} = T_1$ $\sigma_{ym} + \sigma_{\text{АФ}} = T_2$

В таблице:  $\sigma_x^{\Pi}, \sigma_y^{\Pi}, \sigma_z^{\Pi}$  – составляющие главных напряжений, МПа;  $\gamma$  – удельный вес пород, Н/м<sup>3</sup>;  $H$  – мощность налагающих горных пород, м;  $\lambda$  – коэффициент бокового распора;  $\lambda = \mu / 1 - \mu$ ,  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $T_1, T_2$  – главные составляющие тектонических сил, МПа;  $\sigma_{zm}$ ,  $\sigma_{xm}$ ,  $\sigma_{ym}$  – главные составляющие условно постоянных тектонических сил, не изменяющихся в период работы горной конструкции или сооружения, МПа;  $\sigma_{\text{АФ}}$  – временной ход астрофизических напряжений, МПа.

### Экспериментальная часть и методы исследования

На Гайском подземном руднике (г. Гай) астрофизические напряжения стали измерять сразу же после измерения гравитационно-тектонических напряжений. Поэтому прогноз изменения напряжений во времени здесь можно делать уверенно.

При расчете использованы инструментально определенные параметры напряжений, представленные в **табл. 2**.

Таблица 2

### Измеренные величины первоначальных напряжений в массиве пород месторождения

Год проведения измерений	Глубина $H$ , м	Субмеридиональные $\sigma_1$ , МПа	Субширотные $\sigma_2$ , МПа	Вертикальные $\sigma_z$ , МПа	Тектонически пульсирующие $\sigma_{\text{АФ}}$ , МПа
1998	830	-19	-40	-22	-7
2004	910	-20	-42	-25	-4
2008	1070	-32	-49	-33	-9

Для того чтобы рассчитать напряжения в крепи в интересующий нас момент времени необходимо знать величину первоначальных напряжений  $\sigma_i^n$ . Для этого из результатов измерений (**табл. 3**) надо вычесть  $\sigma_{\text{АФ}}$  того момента времени, когда были сделаны замеры, и прибавить  $\sigma_{\text{АФ}}$  в интересующий момент времени (**рис. 1**).

Величины первоначальных гравитационно-тектонических напряжений, без учета астрофизических напряжений, представлены в **табл. 3**.

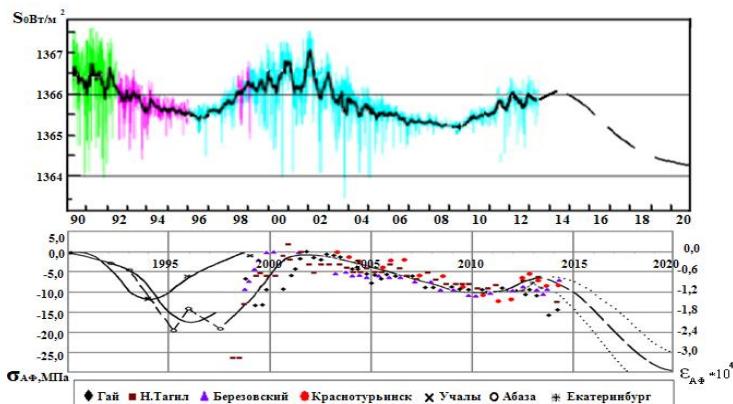
Следовательно:

– если крепление ствола проводилось в период минимума СА и  $\sigma_{\text{АФ}}=\max$ , то уменьшение  $\sigma_{\text{АФ}}$  в последующем приведёт к уменьшению сжимающих или даже появлению растягивающих напряжений;

– если крепление ствола проводилось в период максимума СА и  $\sigma_{\text{АФ}}=\min$ , то увеличение  $\sigma_{\text{АФ}}$  в последующем приведёт к увеличению сжатия крепи в дополнение к сжатию в период её возведения.

В практике подобные комбинации могут быть самые разнообразные, если учесть, что крепь возводится в промежутках между максимумом и минимумом  $\sigma_{\text{АФ}}$ .

С целью оценки устойчивости крепи стволов на руднике были сделаны предварительные расчеты напряжений, действующих в крепи на горизонтах 830, 910 и 1070 м, для условий, когда действуют гравитационные  $\gamma H$  и тектонические  $\sigma_t$  напряжения. Бетонная крепь возведена у забоя и набрала полную прочность и упругость из-за остановки проходки. Схема расчета (**рис. 2**) и методика представлены ниже.

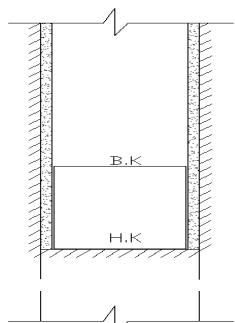


**Рис. 1. Астрофизические напряжения и относительная деформация массива на рудниках в городах Урала и Алтая на фоне изменения излучения Солнца**

**Таблица 3**

**Величины первоначальных гравитационно-тектонических напряжений, без учета астрофизических напряжений**

Год проведения измерений	Глубина H, м	Субмеридиональные σ <sub>1</sub> , МПа	Субширотные σ <sub>2</sub> , МПа	Вертикальные σ <sub>3</sub> , МПа
1998	830	-12+ σ <sub>AФ</sub>	-33+ σ <sub>AФ</sub>	-22
2004	910	-16+ σ <sub>AФ</sub>	-38+ σ <sub>AФ</sub>	-25
2008	1070	-23+ σ <sub>AФ</sub>	-40+ σ <sub>AФ</sub>	-33



**Рис. 2. Схема к расчету напряжений в крепи**

$$\sigma_{\theta(x)} = \frac{(1-\mu_B^2)E_B}{E_\Pi} \left[ \sigma_x^\pi (K_{x(x)}^o - K_{x(x)}^1) + \sigma_y^\pi (K_{x(y)}^o - K_{x(y)}^1) + \sigma_z (K_{x(z)}^o - K_{x(z)}^1) \right]; \quad (1)$$

$$\sigma_{\theta(y)} = \frac{(1-\mu_B^2)E_B}{E_\Pi} \left[ \sigma_y^\pi (K_{y(x)}^o - K_{y(x)}^1) + \sigma_y^\pi (K_{y(y)}^o - K_{y(y)}^1) + \sigma_z (K_{y(z)}^o - K_{y(z)}^1) \right], \quad (2)$$

где  $\sigma_{\theta(x)}$ ,  $\sigma_{\theta(y)}$  – главные горизонтальные напря-

жения, МПа;  $E_B$  – модуль упругости бетона;  $E_\Pi$  – модуль упругости породы;  $K_{x(x)}$ ,  $K_{y(x)} \dots$  – условные коэффициенты концентрации напряжений  $\sigma_{(x)}$ ,  $\sigma_{(y)}$ ,  $\sigma_{(z)}$ , по осям X и Y.

Результаты расчета напряжений, действующих в бетонной крепи, представлены в табл. 4.

**Таблица 4**

**Расчетные напряжения в бетонной крепи**

Горизонт, M	Верх кольца, МПа		Низ кольца, МПа	
	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>
-830	-8,5	-0,77	-15,3	-0,6
-910	-8,7	-0,9	-15,8	-0,8
-1070	-8,8	-1,2	-16,6	-1,8

На основании полученных результатов установлено, что на участках, где проходку приостанавливали на время, когда бетон набирал свою полную прочность, в крепи ствола могли возникнуть максимальные напряжения. Величины рассчитанных напряжений на горизонте 830 м и ниже имеют незначительный запас прочности и практически близки к нормативной прочности бетона, равной для Б25 М300 18 МПа. На этих участках есть опасность нарушения крепи стволов.

В процессе исследований на месторождении натурные определения напряжений, действующих в крепи стволов, проводились при помощи модифицированного метода щелевой разгрузки. Измерения были проведены на глубине 830, 910, 990, 1070 и 1390 м Гайского подземного рудника.

Суть метода заключается в измерении деформации индикатором часового типа между реперами до разгрузки и после нее [6]. Нами при выполнении замеров метод был значительно модернизирован за счет использования в качестве режущего инструмента бензорезов последнего поколения. При этом данное оборудование полностью автономно, не требует подключения к магистралям со сжатым воздухом, привязки к электрическим сетям и водопроводу, что существенно увеличивает область его использования.

Вместе с этим репера также претерпели изменения. Вместо съемных цанговых реперов использовались постоянные оловянные, установленные по обе стороны от щели на осевой линии. Это позволило снизить себестоимость их производства, а также появилась прекрасная возможность производить измерения изменения напряженного состояния во времени.

### Результаты и обсуждение

По результатам измерений с помощью нового метода были получены деформации и пересчитаны в напряжения, действующие на контуре выработки, которые представлены в табл. 5.

**Таблица 5**  
**Величины замеренных деформаций в стволе «Клетьевой»**

Номер станции	До разгрузки, мм	После разгрузки, мм	$\sigma$ , МПа
1 (горизонт 830 м)	0,89	0,93	-4,6
2 (горизонт 910 м)	0,61	0,65	-4,6
3 (горизонт 990 м)	1,63	1,64	-2,3
4 (горизонт 1070 м)	1,10	1,12	-1,1
5 (горизонт 1390 м)	Верх кольца 0,88	Верх кольца 0,89	-2,3

Путем решения плоской задачи теории упругости пересчет полученных величин относительных деформаций в напряжения по формуле

$$\sigma = \frac{E_B * U_{AB}}{24 - L(1 - K_1 + \mu K_2)}, \quad (3)$$

где  $U_{AB}$  – величина смещения реперов на базе АВ, м;  $E_B$  – модуль упругости бетона, МПа;  $L$  – расстояние между реперами, м;  $K$  – интегральные коэффициенты концентрации напряжений, действующие на участках между основными реперами и разгрузочной щелью. Коэффициент определился по зависимости, опубликованной в монографии [6];  $\mu$  – коэффициент Пуассона деформируемого материала крепи. При замерах в бетонной крепи ствола повсеместно принимали  $\mu=0,3$ .

Полученные величины напряжений в крепи, возведенной при непрерывной проходке, отличаются от теоретических за счет того, что бетон не набрал полную прочность и деформировался пластично.

В 2013 году на Гайском подземном руднике были зафиксированы  $\sigma_{A\Phi} = -10$  МПа, по прогнозам к 2020 году (см. рис. 1)  $\sigma_{A\Phi}$  могут достигнуть -25 МПа, при этом напряжения на контуре выработки значительно увеличатся.

$$\Delta\sigma_{A\Phi} = \sigma_{A\Phi 2020r} - \sigma_{A\Phi 2013r} = -25 - (-10) = -15 \text{ МПа}; \quad (4)$$

$$\sigma_{\theta(k)} = \frac{2 \cdot \sigma_{p(k)} r_2^2}{(r_2^2 - r_1^2)} = \frac{2 \cdot (-0,79) \cdot 3,05^2}{(3,05^2 - 2,75^2)} = -8,44; \quad (5)$$

$$\sigma_{p(k)} = \frac{A}{B} = \frac{-39 \cdot 10^{-5}}{49,319 \cdot 10^{-5}} = -0,79, \quad (6)$$

$$\text{где } A = \frac{2\Delta\sigma_{A\Phi}(1 - \mu_n^2)}{E_n} = \frac{2 \cdot (-15) \cdot (1 - 0,3^2)}{0,7 \cdot 10^5} = -39 \cdot 10^{-5}, \quad (7)$$

$$B = \frac{1 + \mu_n}{E_n} + \frac{C}{E_B} = \frac{1 + 0,3}{0,7 \cdot 10^5} + \frac{9,49}{0,2 \cdot 10^5} = 49,319 \cdot 10^{-5}; \quad (8)$$

$$C = \frac{(1 - \mu_B)r_2^2 + (1 + \mu_B)r_1^2}{(r_2^2 - r_1^2)} = \frac{(1 - 0,2)3,05^2 + (1 + 0,2)2,75^2}{(3,05^2 - 2,75^2)} = 9,492, \quad (9)$$

где  $\mu_n$ ,  $\mu_B$  – коэффициент Пуассона породы, бетона;  $E_n$ ,  $E_B$  – модуль упругости породы, бетона.

**Таблица 6**  
**Прогнозные результаты расчета напряжений на контуре выработки, МПа**

1-я станция (горизонт 830 м)	2-я станция (горизонт 910 м)	3-я станция (горизонт 990 м)	4-я станция (горизонт 1070 м)	5-я станция (горизонт 1390 м)	6-я станция (горизонт 1390 м)
-13,04	-13,04	-9,54	-10,74	-9,54	-10,74

По результатам расчетных напряжений в бетонной крепи прогнозируемые напряжения на участках, где были установлены измерительные станции. В крепи ствола могут возникнуть максимальные напряжения. Величины расчетных напряжений при условии, что действуют  $\sigma_{A\Phi} = -25$  МПа, ниже нормативной прочности бетона, крепь ствола находится в устойчивом состоянии.

*Работа выполнена по Программе фундаментальных исследований президиума РАН №12-П-5-1022.*

### Список литературы

1. Закономерности формирования напряженно-деформированного состояния земной коры Урала во времени / Зубков А.В., Зотеев О.В. и др. // Литосфера. 2010. №1. С. 84–93.
2. Яковлев Д.В., Тарасов Б.Г. О взаимосвязи геодинамических событий в шахтах и рудниках с циклами солнечной активности // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: тр. междунар. конф. Новосибирск: ИГД СО РАН, 2001. С. 56–65.
3. Милановский Е.Е. Развитие и современное состояние проблем расширения и пульсации земли // Проблемы расширения и пульсации Земли. М.: Наука, 1984. С. 8–24.
4. Зубков А. В. Периодическое расширение и сжатие земли как вероятный механизм природных катализмов // Литосфера. 2013. №2. С. 145–155.

5. Зубков А. В. Горнотехнические условия отработки колчеданных месторождений // Уральский горнопромышленный форум: V: Колчеданные месторождения – геология, поиски, добывача и переработка руд: материалы Всерос. науч. конф. Четыре 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

1. 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

2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Zubkov A. V. Mining conditions of sulfide deposit development. *Ural'skij gornopromyshlennyj forum: V: Kolchedannye mestorozhdeniya – geologiya, poiski, dobycha i pererabotka rud: materialy Vseros. 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.
6. Zubkov A.V. *Geomechanika 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.