

ОБОСНОВАНИЕ ПЕРИОДА ОПРОБОВАНИЯ ЗАБОЕВ КАРЬЕРА

© V. Azarian, S. Zhukov

JUSTIFICATION OF THE PERIOD OF TRAINING ORE MINING

Приведены результаты и получены зависимости величины потери информации о среднеквадратическом отклонении содержания полезного компонента в рудопотоке от периода опробования забоев, которые могут быть использованы для обоснования оптимального периода опробования для функционирования общекарьерной технологии управления качеством рудопотоков.

Наведено результати і отримано залежності величини втрати інформації про середньоквадратичне відхилення вмісту корисного компонента в рудопотоці від періоду опробування забоїв, які можуть бути використані для обґрунтування оптимального періоду випробування для функціонування загальнокар'єрної технології управління якістю рудопотоків.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Содержание полезного компонента в руде, добываемой в забоях карьера, является стохастической величиной, что обусловлено геологическими особенностями месторождений железных руд. Исследование влияния стохастичности качества в забоях на процесс формирования рудопотока является весьма актуальной задачей. Среди факторов, связанных со стохастичностью, исследовано влияние периода измерений содержания полезного компонента в забоях карьера на качественные параметры общекарьерного рудопотока.

Анализ исследований. На сегодняшний день в железорудных карьерах Украины службы технического контроля производят замеры содержания полезного компонента один раз в смену, используя имеющуюся у них аппаратурную базу, исходя при этом из технических возможностей устройств по контролю качества. Период снятия информации о содержании полезного компонента (опробования) математически и технологически не обоснован.

Постановка задачи. Обоснованный период опробования позволит получать более достоверную информацию о фактических значениях и динамике изменения содержания полезного компонента в забоях, которые в последствии будут использованы для выполнения расчета с целью формирования общекарьерного рудопотока с определенными значениями по качеству и амплитудой, ограниченной заданным диапазоном.

Изложение материала и результатов. Путем опробования добычных забоев карьера можно сформировать статистическую выборку. Первая задача, которая при этом возникает – это репрезентативность полученной выборки содержания полезного компонента, то есть соответствие характеристик выборки характеристикам генеральной совокупности содержания в забое в целом. Репрезентативность определяется как свойство выборочной совокупности пред-

ставлять параметры генеральной совокупности, значимые с точки зрения задач исследования. Для репрезентативности выборки необходимо выполнение ряда условий: случайность отбора проб, их независимость и достаточный объем формируемой выборки.

Свойства случайного процесса, который описывает содержание полезного компонента в руде, зависят от времени. В частности можно предположить, что случайный процесс, описывающий содержание железа в руде, находится в состоянии статистического равновесия, т. е. свойства процесса не зависят от времени. Это означает, что плотность вероятности не должна зависеть от времени и, следовательно, будет иметь место стационарный процесс с постоянным средним значением и постоянной дисперсией.

Пусть $C(t)$ – стационарный случайный процесс, описывающий содержание железа в добываемой руде, которая поступает из забоя в карьере. Из предположения о статистическом равновесии рассматриваемого случайного процесса вытекает, что совместная плотность вероятности зависит только от разности моментов времени. В этом случае автоковариационная функция содержания полезного компонента в руде будет зависеть только от разности моментов времени τ , называемом запаздыванием:

$$R(\tau) = M[(c(t) - M[C])(c(t + \tau) - M[C])], \quad (1)$$

где $M[C]$ – математическое ожидание содержания полезного компонента в руде.

Рассматриваемый случайный процесс содержания полезного компонента не может оставаться стационарным достаточно долго. Поэтому необходимо установить, насколько долго не будет нарушено предположение о стационарности. Одним из способов такой проверки является построение на выбранных промежутках времени гистограмм содержания железа в руде. Если вид гистограмм не меняется, то гипотеза о стационарности процесса подтверждается.

Предположим, что этот процесс является стационарным и эргодическим, то есть среднее по времени, которое является постоянным, совпадает со средним по реализациям. В этом случае автоковариационная функция (1) вычисляется по формуле:

$$R(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T (c(t) - M[C]) \cdot (c(t + \tau) - M[C]) dt, \quad (2)$$

где $M[C] = \frac{1}{T} \int_0^T c(t) dt$, $[0; T]$ – промежуток времени, на котором сохраняется

стационарность и эргодичность процесса содержания железа в руде. При отсутствии запаздывания ($\tau = 0$) формула (2) определяет дисперсию содержания железа в руде:

$$R(0) = \frac{1}{T} \int_0^T (c(t) - M[C])^2 dt = D[C]. \quad (3)$$

Для рассматриваемого случайного процесса с помощью соотношения Хинчина-Винера можно записать формулу для спектральной плотности через косинус-преобразование Фурье

$$S(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} R(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau, \quad (4)$$

где ω – круговая частота.

В свою очередь, автоковариационная функция (2) выражается через обратное косинус-преобразование Фурье от спектральной плотности:

$$R(\tau) = 2 \int_0^{\infty} S(\omega) \cos(\omega\tau) d\omega. \quad (5)$$

Необходимо подчеркнуть, что при отсутствии запаздывания ($\tau = 0$) согласно (3) формула (5) принимает вид:

$$D[C] = 2 \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega. \quad (6)$$

Таким образом, спектральная плотность характеризует распределение «разброса» содержания полезного компонента в руде по частотам.

На практике определение величины содержания полезного компонента проводится либо с помощью химического анализа, обладающего определенной временной инерцией, либо с помощью геофизического оборудования. Измерения проводятся с некоторым интервалом отсчета Δ , исходный случайный процесс преобразуется в дискретный временной ряд и возникает вопрос о влиянии длительности интервала отсчета Δ между измерениями на потерю информации о свойствах исходного процесса.

Если измерения содержания полезного компонента в руде проводятся с дискретностью Δ , то максимальная частота, которая может быть зафиксирована в этом случае, равна:

$$\omega = \frac{2\pi}{\Delta} \quad (7)$$

Тогда потеря информации о дисперсии содержании железа в руде составит величину:

$$\delta D[C] = 2 \int_{\frac{2\pi}{\Delta}}^{\infty} S(\omega) d\omega \quad (8)$$

Принимая во внимание, что среднеквадратическое отклонение вычисляется по формуле:

$$\sigma_C = \sqrt{D[C]}, \quad (9)$$

Следовательно, потеря информации о величине среднеквадратического отклонения принимает вид:

$$\delta\sigma_C = \frac{1}{2\sigma_C} \delta D[C], \quad (10)$$

или, с учетом (6) и (8),

$$\delta\sigma_C = \frac{1}{\sigma_C} \int_{\frac{2\pi}{\Delta}}^{\infty} S(\omega) d\omega. \quad (11)$$

В случае, когда руда добывается в карьере в n забоях, то в k –ом забое содержание полезного компонента в руде описывается случайным процессом:

$$C_k(t), (k = 1, 2, \dots, n). \quad (12)$$

Предполагая, что этот процесс является стационарным и эргодическим, для него можно, согласно (2), записать автоковариационную функцию:

$$R_k(\tau) = \frac{1}{T_k} \int_0^{T_k} (c_k(t) - M[C_k]) \cdot (c_k(t + \tau) - M[C_k]) dt, \quad (13)$$

где $M[C_k] = \frac{1}{T_k} \int_0^{T_k} c_k(t) dt$ – математическое ожидание содержания полезного компонента в руде в k –ом забое, $[0; T_k]$ – промежуток времени, на котором сохраняется стационарность и эргодичность процесса содержания железа в k –ом забое.

В свою очередь, спектральная плотность для содержания железа в k –ом забое, согласно (4), вычисляется по формуле:

$$S_k(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} R_k(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau. \quad (14)$$

В результате дисперсия содержания железа в руде в k –ом забое, согласно

(6), записывается в форме:
$$D[C_k] = 2 \int_0^{\infty} S_k(\omega) d\omega. \quad (15)$$

Тогда, согласно (8), потеря информации о дисперсии содержания железа в руде, добываемой в k –ом забое, находится по формуле:

$$\delta D[C_k] = 2 \int_{\frac{2\pi}{\Delta_k}}^{\infty} S_k(\omega) d\omega, \quad (16)$$

где Δ_k – интервал измерения содержания железа в k –ом забое.

Содержание железа в руде при формировании рудопотока в результате шихтовки определяется по формуле:

$$C(t) \cdot \sum_{k=1}^n V_k = \sum_{k=1}^n C_k(t) \cdot V_k, \quad (17)$$

где V_k – объем руды из k –ого забоя, доставленный на шихтовку,

$C(t)$ – содержание железа в рудопотоке в результате шихтовки.

В дальнейшем, формулу (3.108) удобно представить в виде:

$$C(t) = \sum_{k=1}^n \mu_k \cdot C_k(t), \quad (18)$$

где $\mu_k = \frac{V_k}{\sum_{k=1}^n V_k}$ – объемная доля руды из k -ого забоя, доставляемой на

шихтовку. Тогда дисперсия содержания железа в формируемом рудопотоке, с учетом независимости величин содержаний железа, добываемых в забоях,

находится, согласно (18), по формуле:
$$D[C] = \sum_{k=1}^n \mu_k^2 \cdot D[C_k]. \quad (19)$$

Потеря информации о дисперсии содержания железа в рудопотоке согласно (19) находится по формуле:
$$\delta D[C] = \sum_{k=1}^n \mu_k^2 \cdot \delta D[C_k]. \quad (20)$$

Подставляя (16) в формулу (20), получаем оценку величины потери информации о дисперсии содержания полезного компонента в формируемом рудопотоке карьера в зависимости от величины дискретности измерения содержаний полезного компонента в руде, добываемой в забоях:

$$\delta D[C] = 2 \sum_{k=1}^N \mu_k^2 \cdot \int_{\frac{\Delta_k}{2\pi}}^{\infty} S_k(\omega) d\omega. \quad (21)$$

Принимая во внимание (19), (20) и (21), можно записать величину потери информации о среднеквадратическом отклонении содержания железа в руде вследствие дискретности измерения содержания железа в руде, добываемой в

забоях:
$$\delta \sigma_C = \frac{1}{\sigma_C} \sum_{k=1}^n \mu_k^2 \int_{\frac{\Delta_k}{2\pi}}^{\infty} S_k(\omega) d\omega. \quad (22)$$

Руда доставляется из забоев карьера в пункт приемной воронки ЦПТ в течение некоторого промежутка времени, поэтому содержание железа может

быть найдено по формуле:
$$C \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n V_{ik} = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n C_{ik} V_{ik}, \quad (23)$$

где V_{ik} – объем руды, доставляемый в i -ый момент времени из k -ого забоя, C_{ik} – содержание железа в руде, доставляемой в i -ый момент времени из k -ого забоя, N – число рейсов из забоев в течение данного промежутка времени. В дальнейшем, формулу (23) можно представить в виде:

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n \mu_{ik} C_{ik}, \quad (24)$$

где $\mu_{ik} = \frac{V_{ik}}{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n V_{ik}}$ – объемная доля руды из k – ого забоя, доставляемая

на приемную воронку ЦПТ в i – ый момент времени.

Дисперсия содержания железа в сформированном рудопотоке, согласно (24), находится по формуле:

$$D[C] = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n \mu_{ik}^2 D[C_k]. \quad (25)$$

Переставляя знаки суммирования в формуле (25), получаем:

$$D[C] = \sum_{k=1}^n D[C_k] \sum_{i=1}^N \mu_{ik}^2. \quad (26)$$

Тогда потеря информации о дисперсии содержания железа в рудопотоке находится по формуле $\delta D[C] = \sum_{k=1}^n \delta D[C_k] \sum_{i=1}^N \mu_{ik}^2$, с учетом (26):

$$\delta D[C] = 2 \sum_{k=1}^n \mu_{.k}^2 \int_{\frac{\Delta_k}{2\pi}}^{\infty} S_k(\omega) d\omega, \quad (27)$$

где $\mu_{.k}^2 = \sum_{i=1}^N \mu_{ik}^2$

В свою очередь, потеря информации о среднеквадратическом отклонении содержания железа в рудопотоке находится, согласно (27):

$$\delta \sigma_C = \frac{1}{\sigma_C} \sum_{k=1}^n \mu_{.k}^2 \int_{\frac{\Delta_k}{2\pi}}^{\infty} S_k(\omega) d\omega. \quad (28)$$

Формулы (8), (11), (21), (22), (27) и (28) позволяют описать колебания содержания полезного компонента в сформированном рудопотоке, вызванные дискретностью измерения содержания железа в каждом из рудных забоев.

На основании полученных формул было выполнено математическое моделирование с использованием статистических данных о содержании железа магнитного в руде, добываемой в карьере №3 Горного департамента ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» тремя добычными экскаваторами (№ 23, 56, 97), опробования проводились с интервалом 12 часов в течение в течение одного месяца. На рис. 1, 2, 3 представлены графические изображения автоковариационных функций, значения которой рассчитаны по формуле (29) для экскаваторов № 93, 56 и 23, а также аппроксимация этих значений графиком функции (30):

$$R_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-k} (c_i - \bar{c})(c_{i+k} - \bar{c}), \quad (29)$$

где $\bar{c} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_i, k = 0,1,2,\dots,K$

$$R(\tau) = D[C] \cdot e^{-\alpha \cdot \tau} \quad (30)$$

Таблица 1

Значения выборочных автоковариационных функций содержания $Fe_{\text{магн}}$ в карьере № 3 Горного Департамента ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

№ экскаватора	93	56	23
0	24,70	8,36	10,51
1	16,58	4,75	7,72
2	10,13	3,51	5,35
3	9,14	3,49	3,75
4	3,71	2,82	2,05
5	0,99	2,75	2,20

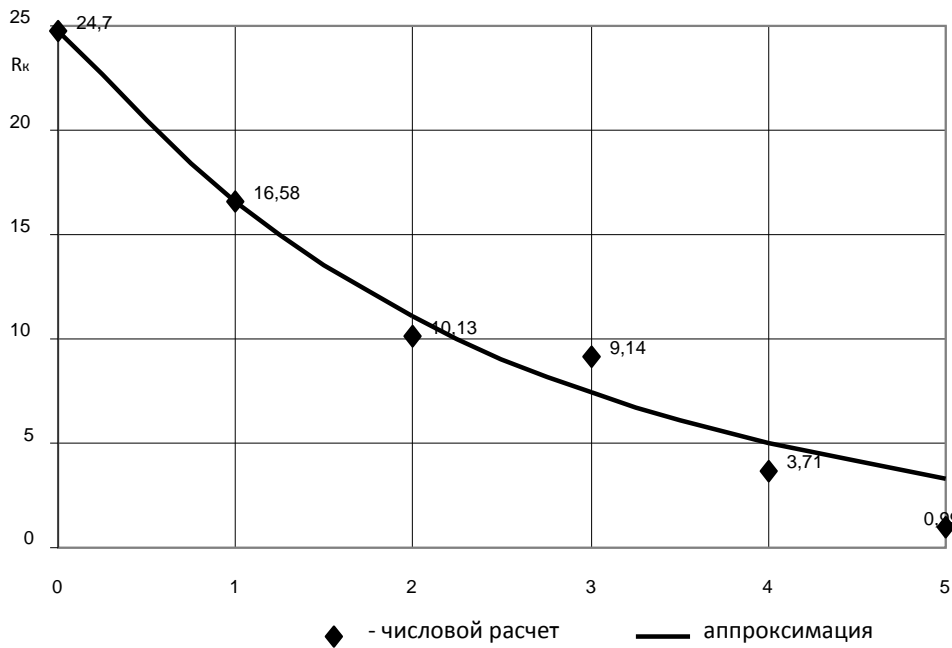


Рис. 1. График автоковариационной функции содержания железа для экскаватора № 93 ($D[C] = 24,7, \alpha = 0,0333$)

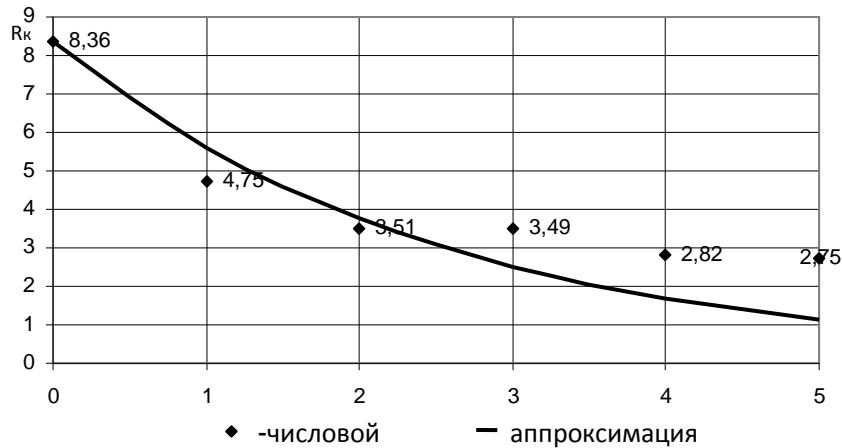


Рис. 2. График автоковариационной функции содержания железа для экскаватора № 56 ($D[C]=8,36$, $\alpha = 0,0333$)

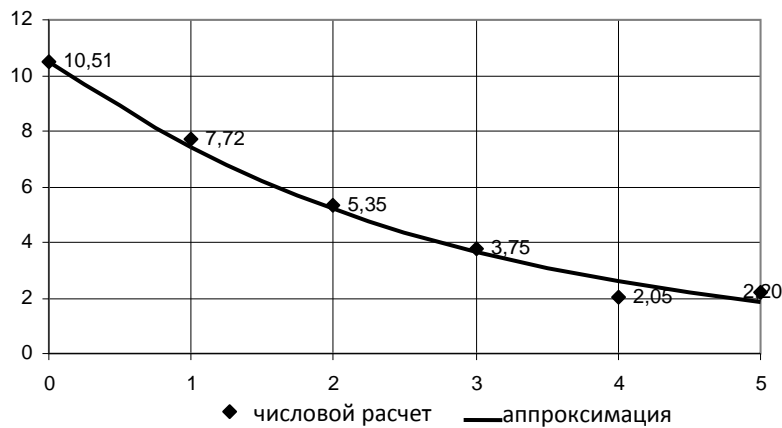


Рис. 3. График автоковариационной функции содержания железа для экскаватора № 23 ($D[C]=10,51$, $\alpha = 0,0292$)

Анализ графиков показывает удовлетворительное приближение данных, рассчитанных с помощью функции (30).

Спектральная плотность содержания железа в руде как обратное преобразование от автоковариационной функции (30) рассчитывается по формуле (4) и имеет вид:

$$S(\omega) = \frac{D[C]}{\pi} \frac{\alpha}{\omega^2 + \alpha^2}. \quad (31)$$

Подставляя (31) в формулу (12) и интегрируя, получаем:

$$\delta\sigma_C = \frac{\sigma_C}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \left(\frac{2\pi}{\alpha \cdot \Delta} \right) \right), \quad (32)$$

где $\sigma_C = \sqrt{D[C]}$.

Формула (32) дает возможность оценить потерю информации о величине среднеквадратического отклонения содержания полезного компонента в руде в зависимости от величины периода опробования.

На рис. 4 представлены результаты расчетов по формуле (32) для данных, представленных в табл. 1.

Анализ графиков, приведенных на рис. 4, показывает, что удлинение промежутка между опробованиями содержания железа в руде приводит к линейному увеличению потери информации о величине среднеквадратического отклонения содержания железа в рудопотоке.

Для рудопотока, сформированного путем смешивания руды из забоев трех экскаваторов, потеря информации о величине среднеквадратического отклонения содержания полезного компонента вычисляется по формуле:

$$\delta\sigma_C = \frac{1}{\sigma_C \cdot \pi} \cdot \sum_{k=1}^3 \mu_k^2 D[C_k] \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \left(\frac{2\pi}{\alpha_k \cdot \Delta_k} \right) \right). \quad (33)$$

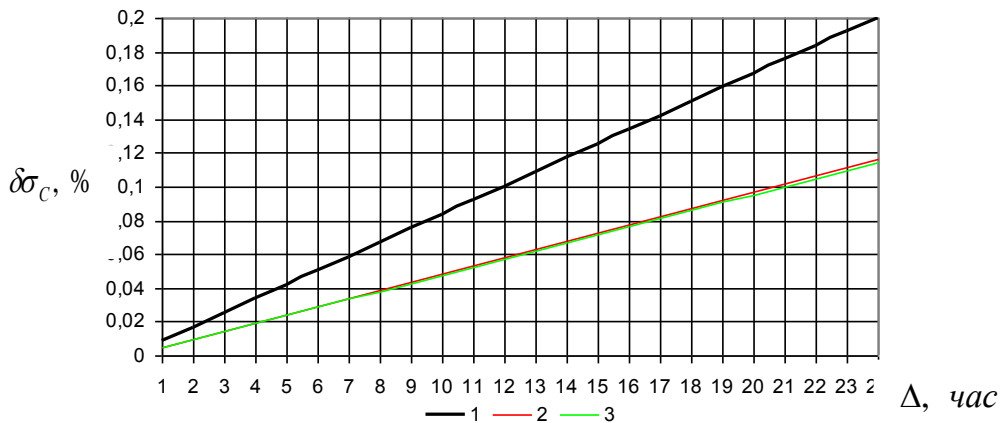


Рис. 4. Графики зависимости потери информации о величине среднеквадратического отклонения содержания железа в рудопотоке от периода опробования добычных забоев карьера

(1– экскаватор № 97, 2– экскаватор № 56, 3 – экскаватор № 23)

Формулу (33) можно представить в виде после преобразований:

$$\delta\sigma_C = 1,807 - 0,667 \cdot \arctg \left(\frac{188,684}{\Delta} \right) - 0,484 \cdot \arctg \left(\frac{215,177}{\Delta} \right). \quad (34)$$

На рис. 5 представлен график функции (34).

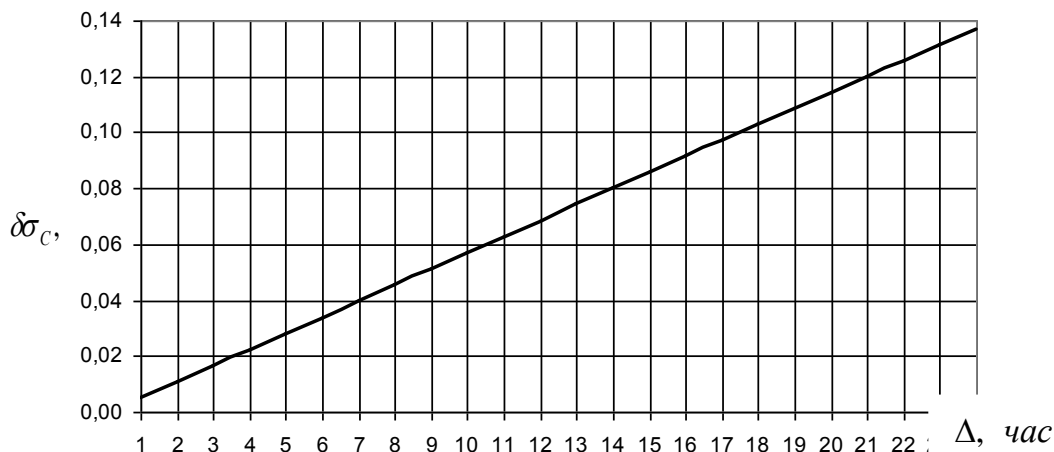


Рис. 5. График зависимости потери информации о величине среднеквадратического отклонения содержания железа в рудопотоке в зависимости от периода опробования забоев карьера

Выводы. Анализ графика, представленного на рис. 5 доказывает, что с увеличением промежутка измерения содержания железа в забоях линейно увеличивается потеря информации о величине среднеквадратического отклонения содержания полезного компонента в формируемом рудопотоке. Таким образом, приняв за критерий значение показателя потери информации, можно обосновать оптимальный период опробования забоев карьера, который обеспечит эффективное управление качеством общекарьерного рудопотока.

Перечень ссылок

1. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров: Учебник для вузов – М.: Недра, 1991. – 239с.
2. Бабий Е.В. О качестве рудного потока при технологии предобогащения руды в карьере / Е.В. Бабий, М.А. Синенко // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2010. – Вип. 25. – С. 3-8.
3. Азарян В.А. Математические методы планирования комплексной системы управления качеством руд в рудопотоках карьеров / В.А. Азарян, П.Д. Могилевский, В.И. Бурка // Вісник КТУ : збірник наук. праць / КТУ. – Кривий Ріг, 2008. – Вип. 22. – С. 177 - 180.
4. Бурка В.И. Анализ методов оценки управления качеством в рудопотоках карьеров / В.И. Бурка, В.А. Азарян, П.Д. Могилевский, // Качество минерального сырья: Сборник научных трудов. – Кривой Рог, - 2008. – С. 240 - 243

ABSTRACT

The results are given and the dependence of the loss of information on the mean square deviation of the content of the useful component in the ore flow from the period of the face testing is obtained, which can be used to justify the optimal sampling period for the operation of the common quality management technology for ore-flow processes.

Purpose. The main task of the study is to determine the main factors that influence the validation of the period of testing the faces of the iron ore quarry and develop an appropriate methodology, as well as to determine the dependencies between the loss of information on the root-mean-square deviation of the useful component content in the ore flow and the sampling period.

The methods of research is to analysis of the representativeness of the general sample of measurements of the content of the useful component in the pit of the quarry and the determination of the effect of the sampling period on the amount of information lost on the root-mean-square deviation of the iron content in the general cavity ore flow.

Findings. The optimization of the definition of the procedure for justifying the period of testing the face of the quarry, taking into account the obtained dependencies on the amount of loss of information from the period of testing the faces of the quarry.

The originality the systematic approach to solving the formulated problem using a mathematical apparatus, as well as the dependencies obtained.

Practical implications. Further development and introduction into production of the results of the research will ensure the optimization of the period of testing the pit face and the formation of the ore flow with given quality values.

Keywords: *quarry, ore flow, sampling period, content of a useful component*

УДК 622.271

© О.О. Анісімов

ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ВНУТРІШНЬОГО ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКСКАВАТОРНИХ ВІДВАЛІВ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ГЛИБОКИХ КАР'ЄРІВ

© O. Anisimov

TECHNOLOGICAL SCHEMES OF THE FORMATION INTERNAL DUMPS AND DETERMINATION THE PARAMETERS OF EXCAVATOR'S DUMPS BY WORKING OFF THE DEEP OPEN PITS

Проаналізовані основні схеми внутрішнього відвалоутворення при відпрацюванні глибоких кар'єрів і запропонована класифікація цих схем. Отримана аналітична залежність площі призми зсуву гірської маси від параметрів обладнання і фізико-механічних властивостей скельних порід.

Проанализированы основные схемы внутреннего отвалообразования при отработке глубоких карьеров и предложена классификация этих схем. Получена аналитическая зависимость площади призмы сдвига горной массы от параметров оборудования и физико-механических свойств скальных пород.