

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРИОДА ОПРОБОВАНИЯ ЗАБОЕВ КАРЬЕРА

Период опробования, колебания качества, дискретный временной ряд, анализ выборочных нормированных спектров, динамика изменения содержаний полезного компонента. На сегодняшний день в железорудных карьерах Украины службы технического контроля производят замеры содержания полезного компонента как правило ежедневно, используя имеющуюся у них аппаратную базу и исходя прежде всего их технических возможностей устройств по контролю качества. Периодичность снятия информации о содержании полезного компонента математически не обоснована.

Обоснование оптимального периода опробования содержания полезного компонента в забоях является важной технологической задачей. Оптимальный период опробования позволит получать более достоверную информацию об изменении содержаний железа в забоях, на основании этих данных производить расчет сменно-суточного задания для добычных забоев и сформировать рудопоток с заданными параметрами по качеству. Погрешность измерения содержания полезного компонента, как и особенности технологических процессов при переработке руды, указывают на возможность учета изменения содержания железа с определенной дискретностью. Это приводит к выводу о возможности измерения содержания железа с определенной дискретностью во времени и рассматривать поток руды как дискретный временной ряд.

Данные опробования забоев карьера являются основными для оперативного управления качеством рудопотоков карьера. Анализ данных, выполненный математическими методами, позволил обосновать увеличение периода опробования с 12 до 40 часов без потери основных данных по содержанию полезного компонента.

Стабилизация колебаний содержания полезного компонента в рудопотоке карьера является весьма актуальной задачей, решение которой влияет непосредственно на качество концентрата. Колебания полезного компонента снижают эффективность работы обогатительного производства, негативно влияя на основные технико-экономические показатели работы горно-обогатительного комбината [1].

Проблема и ее связь с основными научными и практическими заданиями. Для первоначального формирования рудопотока выполняется расчет объемов руды, добываемых в забоях карьера с различным показателем качества, а для этого необходима информация о содержании полезного компонента в каждом забое [2].

Анализ исследований и публикаций. На сегодняшний день в железорудных карьерах Украины службы технического контроля производят замеры содержания полезного компонента, как правило, ежедневно используя имеющуюся у них аппаратную базу и исходя прежде всего их технических возможностей устройств по контролю качества. Периодичность снятия информации о содержании полезного компонента математически не обоснована.

Постановка задачи. Обоснование оптимального периода опробования содержания полезного компонента в забоях является важной технологической задачей. Оптимальный период опробования позволит получать более достоверную информацию об изменении содержаний железа в забоях, на основании этих данных производить расчет сменно-суточного задания для добычных забоев и сформировать рудопоток с заданными параметрами по качеству.

Погрешность измерения содержания полезного компонента, как и особенности технологических процессов при переработке руды, указывают на возможность учета изменения содержания железа с определенной дискретностью. Это приводит к выводу о возможности измерения содержания железа с определенной дискретностью во времени и рассматривать поток руды как дискретный временной ряд.

Изложение материала и результаты. Согласно общему подходу для численного анализа содержания железа в руде, замеры этого содержания $c(t)$ как непрерывного во времени необходимо производить через некоторый фиксированный интервал Δ , и полученные таким образом дискретизованные значения будут затем использоваться для вычислений. Дискретизованные значения можно рассматривать как результат умножения первоначального непрерывного временного ряда $c(t)$ на временной ряд $i(t)$, состоящий из бесконечного ряда дельта-функций

$$i(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - n\Delta), \quad (1)$$

$$\text{где } \delta(t) = \begin{cases} 0, t \neq 0 \\ \infty, t = 0 \end{cases}.$$

Это дает импульсно-модулированное содержание железа в руде

$$c_i(t) = c(t)i(t). \quad (2)$$

Тогда, пользуясь теоремой о свертке, находим представление формулы (2) в частотной области

$$C_i(f) = \int_{-\infty}^{\infty} C(f-g)I(g)dg, \quad (3)$$

где $C(f)$, $I(f)$ - преобразования Фурье от $c(t)$ и $i(t)$, соответственно.

Учитывая, что

$$I(g) = \frac{1}{\Delta} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(g - \frac{n}{\Delta}\right), \quad (4)$$

формула (3) преобразуется к виду

$$C_i(f) = \int_{-\infty}^{\infty} C(f-g) \frac{1}{\Delta} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(g - \frac{n}{\Delta}\right) dg = \frac{1}{\Delta} \sum_{n=-\infty}^{\infty} C\left(f - \frac{n}{\Delta}\right). \quad (5)$$

Равенство (5) показывает, что импульсно-модулированное содержание железа в руде $c_i(t)$ является преобразованием Фурье с периодом $1/\Delta$. Если $C(f)$ обращается в нуль при $|f| \geq 1/(2\Delta)$, то $C_i(f)$ является периодически повторяемой функцией $C(f)$. Это означает, что можно восстановить $C(f)$ по $C_i(f)$, умножив $C_i(f)$ на $H(f)$, где

$$H(f) = \begin{cases} \Delta, |f| \leq 1/2\Delta \\ 0, |f| > 1/2\Delta \end{cases}. \quad (6)$$

Функция (6) является спектральным окном и находится, как преобразование Фурье от временного окна

$$h(t) = \frac{\Delta}{\pi} \sin\left(\frac{\pi t}{\Delta}\right). \quad (7)$$

Поскольку умножению в частотной области соответствует свертка во временной области, то, с учетом (7), получаем

$$c(t) = \frac{\Delta}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{u} \sin\left(\frac{\pi u}{\Delta}\right) \cdot c_i(t-u) du. \quad (8)$$

Необходимо подчеркнуть, что частота $fN=1/(2\Delta)$ называется частотой Найквиста-Котельникова и является наивысшей частотой, которую можно обнаружить по данным, полученным с интервалом отсчета Δ .

Для анализа временного ряда, составленного из содержаний железа в руде, с целью нахождения оптимального периода измерения содержания железа, исследуем спектральные свойства этого ряда, опирающиеся на свойства автокорреляционной функции и нормированного спектра. Если автокорреляционная функция оценивается по формуле

$$r_k = d_k/d_o, \quad (9)$$

где $d_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-k} (c_i - \bar{c})(c_{i+k} - \bar{c})$; $\bar{c} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_i$; $k = 0, 1, 2, \dots, K$, то выборочный нормированный спектр определяется при помощи автокорреляций (9) следующим образом

$$S(f) = 2\left(1 + 2 \sum_{k=1}^{K-1} r_k \cos(2\pi f k)\right), \quad 0 \leq f \leq 0,5. \quad (10)$$

Таким образом, выборочный нормированный спектр - это косинус-преобразование Фурье выборочной автокорреляционной функции.

Анализируя график выборочного нормированного спектра (10), можно оценить распределение дисперсии временного ряда по частотам. Если значения дисперсии сконцентрированы на низких частотах, меньших частоты Найквиста-Котельникова fN , то дискретность съема информации можно увеличить.

Далее рассмотрен пример обоснования периода опробования забоев карьера, исходя из имеющейся статистики содержания полезного компонента.

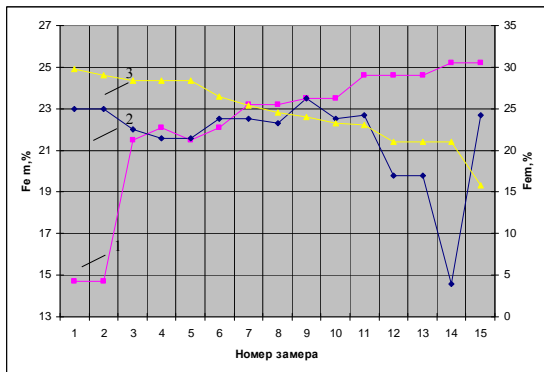


Рис. 1. Результаты замеров содержания $Fe_{\text{mag.}}$ % в карьере №3 Горного департамента ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» 1 - Экскаватор № 56, 2 - Экскаватор № 23, 3 - Экскаватор № 97

На рис. 1 приведены величины содержаний магнитного железа в руде, добываемой в карьере №3 Горного департамента ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» различными экскаваторами в течение месяца. Замеры выполнялись с интервалом в 12 часов.

В табл. 1 представлены значения выборочных автокорреляционных функций, рассчитанные по

формуле (9).

Таблица 1

Значения выборочных автокорреляционных функций

Номер экскаватора	93	56	23
r_{kk}	r_k	r_k	r_k
1	0,67	0,57	0,73
2	0,41	0,42	0,51
3	0,37	0,42	0,36
4	0,15	0,34	0,19
5	0,04	0,33	0,21
6	-0,21	0,43	0,20
7	-0,24	0,50	0,04

На рис. 2,3 и 4 представлены графики выборочных автокорреляционных функций согласно данным табл. 2.

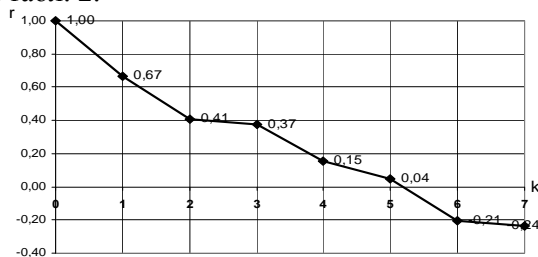


Рис. 2. Выборочная автокорреляционная функция содержания железа магнитного в руде, добываемой экскаватором № 93

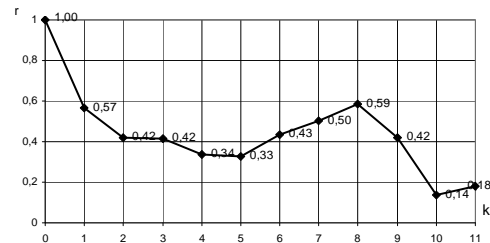


Рис. 3. Выборочная автокорреляционная функция содержания железа магнитного в руде, добываемой экскаватором № 56

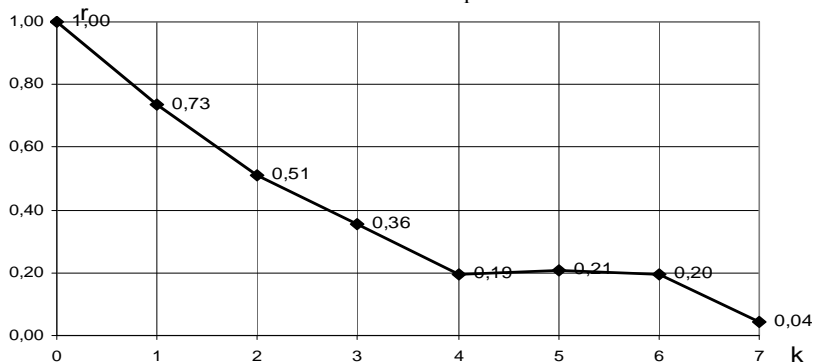


Рис. 4. Выборочная автокорреляционная функция содержания железа магнитного в руде, добываемой экскаватором № 23

В табл. 2 представлены значения выборочных нормированных спектров, рассчитанные по формуле (10) согласно данным табл. 1.

Значения выборочных нормированных спектров

Номер экскаватора	93	56	23
f	S	S	S
0	6,76	19,31	10,97
0,1	4,548	2,62	2,41
0,2	1,167	0,03	1,29
0,3	0,032	0,45	0,38
0,4	0,853	0,00	0,32
0,5	0,04	0,00	0,23

На рис. 5,6 и 7 представлены графики выборочных нормированных спектров согласно данным табл. 3.

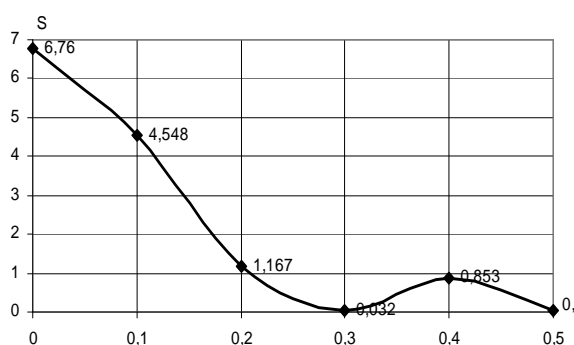


Рис. 5. Выборочный нормированный спектр содержания железа магнитного в руде, добываемой экскаватором № 93

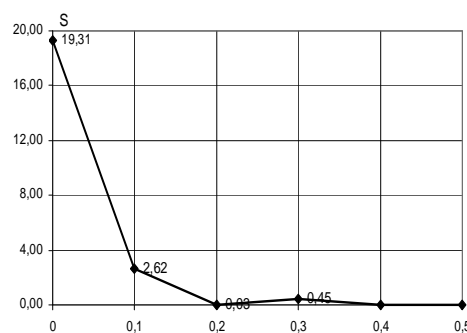


Рис. 6. Выборочный нормированный спектр содержания железа магнитного в руде, добываемой экскаватором № 56

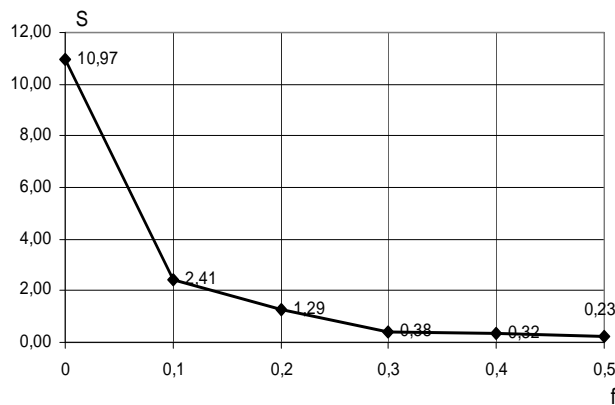


Рис. 7. Выборочный нормированный спектр содержания железа магнитного в руде, добываемой экскаватором № 23

Анализ выборочных нормированных спектров, представленных на рис. 5,6 и 7, показывает, что дисперсия исследуемых рядов сконцентрирована в основном на низких частотах, а именно, от 0 до 0,3.

Таким образом, для возможности различия частот, связанных с изменением содержания железа в руде, достаточно выбрать частоту $f=0,3/\Delta$, или период съема

информации $T=10\Delta/3$.

Принимая во внимание, что согласно используемым данным о содержании железа в руде, $\Delta=12$ час, находим период опробования, который позволит различать максимальные частоты изменения содержания железа в руде, ч

$$T=(10 \times 12)/3=40. \quad (11)$$

Выводы. 1. Полученная величина периода измерения содержания железа в руде при добыче в карьере (11) указывает на возможность увеличения существующего периода в $(40/12)=3\frac{1}{3}$ раза без потери необходимой информации о содержании железа.

Таким образом, исходя из статистики изменения содержаний полезного компонента в карьере, с учетом незначительных колебаний $Fe_{\text{магн}}$ в забоях, обосновано увеличение периода опробования без снижения качественных характеристик формируемого рудопотока.

2. Данная методика может быть применена на всех железорудных карьерах, где имеется соответствующий статистический материал по динамике изменения содержания полезного компонента.

Список литературы

1. **Азарян В.А.** Управление качеством в рудопотоках железорудных карьеров Украины - материалы 6 международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании», Варна, 4-10 июня 2010 г.
2. **Бызов В.Ф., Вилкул Ю.Г., Максимов И.И.** Об усреднении качества руд при объединении грузопотоков /Металлургическая и горная промышленность. – 1982. - №2. - С. 64-65.
3. **Бызов В.Ф.** Управление качеством продукции карьеров: Учебник для вузов – М.: Недра, 1991. – 239 с.
4. **Бабий Е.В., Синенко М.А.** О качестве рудного потока при технологии предобогащения руды в карьере. - Вісник КТУ: Кривий Ріг, 2010.
5. **Дрига В.В.** Исследование и классификация факторов, влияющих на геофизический мониторинг массовой доли магнетита в горной массе / **В.В.Дрига** // Вісник Криворізького технічного університету: Кривий Ріг, 2006. – Вип. 14. – С. 150-153.
6. **Азарян В.А.** Управление качеством в рудопотоках железорудных карьеров Украины - материалы 6 международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании», Варна, 4-10 июня 2010 г.
7. **Азарян А.А., Колосов В.А., Ломовцев Л.А., Учитель А.Д.** Качество минерального сырья. – Кривой Рог: Минерал, 2001 – 201 с.
8. **Азарян В.А., Трачук А. А** Обоснование геометрических и технологических параметров системы оперативного контроля качества исходной руды и продуктов_обогащения//Материалы 3-ой международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании». - Варна, 2007 Т.1. - С. 487-491.
9. **Азарян В.А.** Анализ влияния технологических факторов на себестоимость производства железорудных ГОКов Украины. Сборник трудов КТУ, Кривой Рог, 2009.
10. **Жеребцов А.С., Троп А.Е., Зобнин Б.Б.** К измерению содержания магнетита в потоке руды. - Известия вузов. Горный журнал, 1974. – №7.
11. Система автоматического контроля качества железорудного сырья в конвейерных потоках (СКРП), Интернет-сайт ООО ИПП «Уралрудаавтоматика». <http://uralrudoavtomatika.ru/>
12. **Белявский Ю.В., Старцев Н.В.** Индуктивный датчик с равномерным магнитным полем. – Известия вузов. Горный журнал. –1971. – №4.
13. **Владимиров Д.Я., Клебанов А.Ф., Перепелицын А.И.** Система диспетчеризации "КАРЬЕР": от мониторинга большегрузных автосамосвалов к управлению горно-транспортным комплексом и оптимизации горных работ в карьере. "Горная промышленность" №4, 2004.
14. **Федоров М.Ю.** Основные технические и конструктивные принципы ренгенометрических сепараторов РАДОС. - Материалы 3 международной научно-технической конференции «Рентгенометрическая сепарация минерального сырья и техногенных отходов». г. Екатеринбург, 2007. - С.70-79.
15. **Федосеев В.А.** Экономика обогащения железных руд. Изд-во «Наука», Ленинград. От. 1-112
16. **Бастан П.П.** Усреднение руд как эффективное средство использования недр. В сб.: Вопросы рудничной геологии. - Белгород: ВЮГЕМ. -1970. - С. 14-16.
17. **Баранов А.Н., Марков А.П., Смирнов А.А., Тузов Ю.В.** Оперативный элементарный анализ металлосодержащих природных и техногенных материалов. Электронное научное издание «ГЕОразрез»<http://georazrez.unidubna.ru>
18. **Галиев С.Ж., Бояндинова А.А., Астраханцев В.А., Жусупов К.К.** Структура и организация информационного обеспечения автоматизированной системы диспетчеризации работы экскаваторно-автомобильного комплекса «АДИС-Авто» // Научно-техническое обеспечение горного производства: Сб. научн. тр. ИГД им. Д.А. Кунаева. Т. 72. Алматы, 2006. С. 138–143.
19. **Д.Я. Владимирив, А.Ф. Клебанов, А.И. Перепелицын** Система диспетчеризации "КАРЬЕР": от мониторинга большегрузных автосамосвалов к управлению горнотранспортным комплексом и оптимизации горных работ в карьере» "Горная промышленность" № 4, 2004.
20. **Морев А. Н.** Диссертационная работа на соискание степени кандидата технических наук «Управление содержанием полезного компонента в рудопотоке в условиях изменения цен на минеральное сырье». Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2004.