

В.А. Азарян, канд. техн. наук, доц., **С.А. Жуков**, д-р техн. наук, проф.
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРНЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ УЗЛОВ В ЦЕПИ СТАБИЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ БИНАРНОГО РУДОПОТОКА

В статье определены условия и значение управления качеством руды в карьере. Приведены результаты анализа состояния и факторов колебания качества железорудного сырья в карьерах горно-обогатительных комбинатов Кривбасса в привязке к ритмичности работы карьерного оборудования и транспорта, а также сформулирована проблема создания генерализованной общекарьерной системы управления качеством рудопотоков и направления ее решения путем интеграции всех элементов системы и оптимизации режимов парных операционных перегрузочных узлов в цепи стабилизации качества при формировании бинарного рудопотока.

Ключевые слова: вскрыша, перегрузка, карьер, руда, качество, бинарный рудопоток.

В статті визначено умови та значення управління якістю руди в кар'єрі. Наведено результати аналізу стану та чинників коливання якості залізрудної сировини в кар'єрах гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу в прив'язці до ритмічності роботи кар'єрного устаткування і транспорту, а також сформульовано проблему створення генералізованої загальнокар'єрної системи управління якістю рудопотоків і напрямки її вирішення шляхом інтеграції всіх елементів системи та оптимізації режимів парних операційних перевантажувальних вузлів в ланцюзі стабілізації якості при формуванні бінарного рудопотоку.

Ключові слова: розкриття, перевантаження, кар'єр, руда, якість, бінарний рудопотік.

This article describes the conditions and the importance of quality control in the iron ore of open pits. The results of analysis of the condition and determinatives fluctuation of iron ore quality in open pits of mining and processing plants of Kryvbass in relation to the regularity of the pace of pit equipment and transportation are given, as well as the problem of creating a generalized quality control system of the formation of binary production intensity ore stream in the open pit and its solutions are formulated.

Keywords: ore, capping, open pit, loadings, transport, binary ore stream, quality control.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Необходимость строгого и устойчивого соответствия качества сформированного рудопотока заданным качественным показателям обусловлена тем, что оптимальные режимы обогащения могут быть обеспечены только при жестко

ограниченных отклонениях содержания полезного компонента именно в общекарьерном потоке, а не по каждому в отдельности, составляющим его, что является характерным для современных ГОКов. При рассмотрении общекарьерного грузопотока как генерализованной системы совокупность отдельных технологических задач перерастает в обобщенную проблему, решение которой позволит максимально эффективно стабилизировать качество поступающей из карьера на обогащение руды.

Анализ исследований. Существуют различные системы, которые имеют элементы управления качеством рудопотоков карьеров: АСУ горно-транспортного комплекса (ГТК) «Карьер» компании «ВИСТ Групп» [1], диспетчеризации автотранспорта и контроля рудопотока "Интегра"-«Невод» [2], корпоративная АСУ ГТК «Джетыгара», система горно-транспортной диспетчеризации «АВТО» (Казахстан) [3]; система «Карат» и «Карат-М» (ЦНИИКА, РФ), система «Кварцит» (ИнГОК), «Комплекс-АТ» и «Гермес» (СевГОК) (Украина) и др. [4]. Система компании «Quebec Cartier Mining» (Канада) имеет центральный вычислительный центр, управляющий, как самосвалами, так и 90 группами оборудования фабрики, дробильным отделением и процессами обогащения железной руды. Одной из современных разработок в области горно-транспортной диспетчеризации является компьютерная система RAN фирмы «Pincot, Allen and Holt Inc.» (США). Также в США разработаны система автоматического управления автосамосвалом (САУА) компании «Unit Rig Equipment», и система Dispatch компании «Modular Mining Systems», используемой на 105 карьерах и 25 шахтах. Эта компания является ведущей, ее доля на рынке систем диспетчеризации составляет порядка 90%. Начиная с 1983 года, выпускает свою АСУ ГТК канадская компания «Wenco International Mining Systems» [5]. ПО серверов приложений с помощью специально разработанных технологий UMP.NET обрабатывают входную информацию, а на серверах баз данных ORACLE хранится вся информация о работе оборудования. ПО рабочих мест на базе ПП XRTL Explorer, взаимодействует с базой данных через сервер приложений и системы связи транспорта с диспетчерским центром (транкинговая система радиосвязи Tetra) [5]. Высокая точность планирования ГТР достигается также благодаря применению программного комплекса имитационного моделирования работы ГТС карьеров «Cebadan» (ИПМК «Cebadan») для карьеров с авто-, жд и комбинированным транспортом.

Однако рассмотренные системы преимущественно адаптированы, либо к функциям собственно диспетчеризации, либо к управлению качеством продукции в отдельно выделяемом грузопотоке из множества, существующих в глубоких карьерах крупных ГОКов, не обеспечивая управления общекарьерного.

Постановка задания. В карьерах требуемое содержание полезного компонента в руде обеспечивается, как правило, лишь в среднем значении в некотором временном интервале (сутки, месяц). Внутри же этого интервала содержание полезного компонента колеблется, нередко выходя за пределы допустимого диапазона. Авторы предлагают решать проблему путем создания генерализованной системы управления качеством рудопотоков карьера для обеспечения устойчиво планового качества руды, поступающей из карьера в целом и минимизируя амплитудные и временные колебания содержания полезного компонента в потоке в гарантированных границах заданного интервала путем интеграции всех элементов системы и оптимизации режимов парных операционных перегрузочных узлов в цепи стабилизации качества при формировании бинарного рудопотока.

Применение такой системы управления качеством рудопотоков даст возможность максимально оперативно реагировать на любое изменение состояния добычных забоев, комплексно корректируя работу выемочно-погрузочного оборудования в них и транспортного — во всех звеньях общекарьерного рудопотока для обеспечения выполнения планового задания.

Изложение материала и результатов. В настоящее время на железорудных карьерах с технологией ЦПТ разгрузка горной массы в приемную воронку осуществляется автосамосвалами в поочередном режиме, т.е. каждый автосамосвал производит разгрузку отдельно. Дискретные объемы рудной массы, попадая в рудоспуск, смешиваются в нем в процессе перемещения сверху вниз. При этом руда из забоев с минимальным и максимальным содержанием полезного компонента оказывает наибольшее влияние на колебания качества в формируемом рудопотоке карьера.

Необходимость стабилизации качественных показателей рудопотока является важной производственной задачей и обоснована требованиями технологии обогащения [6].

При этом на цикличном участке рудопотока одним из способов сглаживания колебаний качества железорудного сырья является применение метода парной разгрузки автосамосвалов, целью которого является стабилизация показателей качества в рудопотоках карьера за счет разгрузки транспортных средств, доставляющих руду из забоев с максимальным и минимальным содержанием полезного компонента.

Что касается поточных участков бинарного по сути рудопотока (конвейерных), то здесь, судя по результатам выполненного анализа, весьма эффективно могут использоваться для рассматриваемых задач узлы перегрузки из одного конвейера на другой: на примере ИнГОКа — с «Восточного» тракта на «Западный» или наоборот (рис. 1, рис. 2).

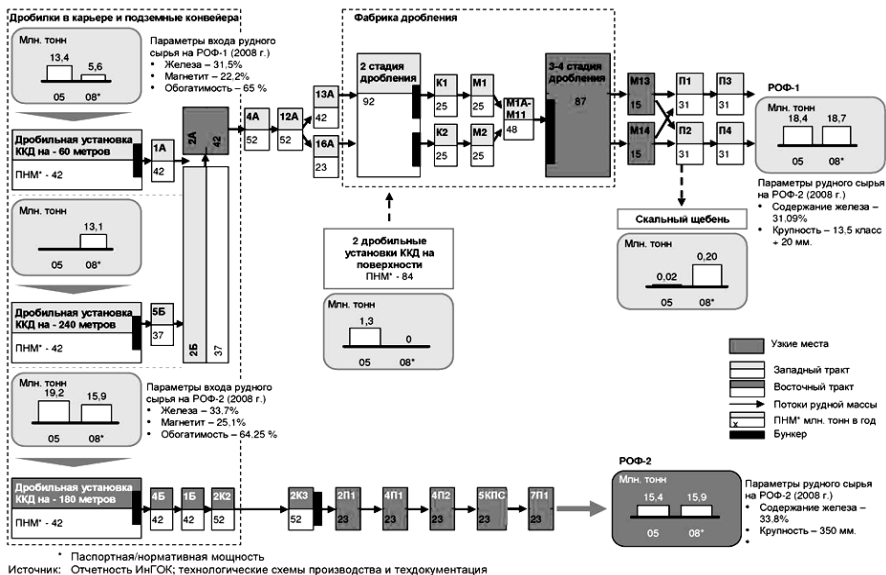


Рис. 1. Передел "дробление" – визуализация технологической цепочки

Задача организации парной разгрузки на циклическом участке рудопотока может быть решена следующим образом. Рассмотрим пример карьера с определенным количеством забоев. Распределение содержания полезного компонента в горной массе по забоям неравномерно, оно изменяется от минимального ($q_{\min}$) до максимального ($q_{\max}$) значений. Для того, чтобы стабилизировать качество полезного компонента железорудного сырья на входе обогатительной фабрики, мы должны объединить несколько потоков руды, выходящих из отдельных экскаваторных забоев. При этом совмещение потоков с наименьшими и наибольшими содержаниями полезного компонента позволит исключить экстремальные выбросы по величине содержания полезного компонента.

Объединение единичных потоков с минимальным и максимальным содержанием полезного компонента в руде с целью стабилизации качественных показателей происходит при условии одновременной разгрузки автосамосвалов в приемную воронку ЦПТ.

Для оценки усреднения качества рассмотрим значения среднеквадратических отклонений отдельных единичных потоков руды [6].

Величина колебаний качества i -го единичного потока на различных частотах определяется его спектральной плотностью и характеризуется среднеквадратическим отклонением:

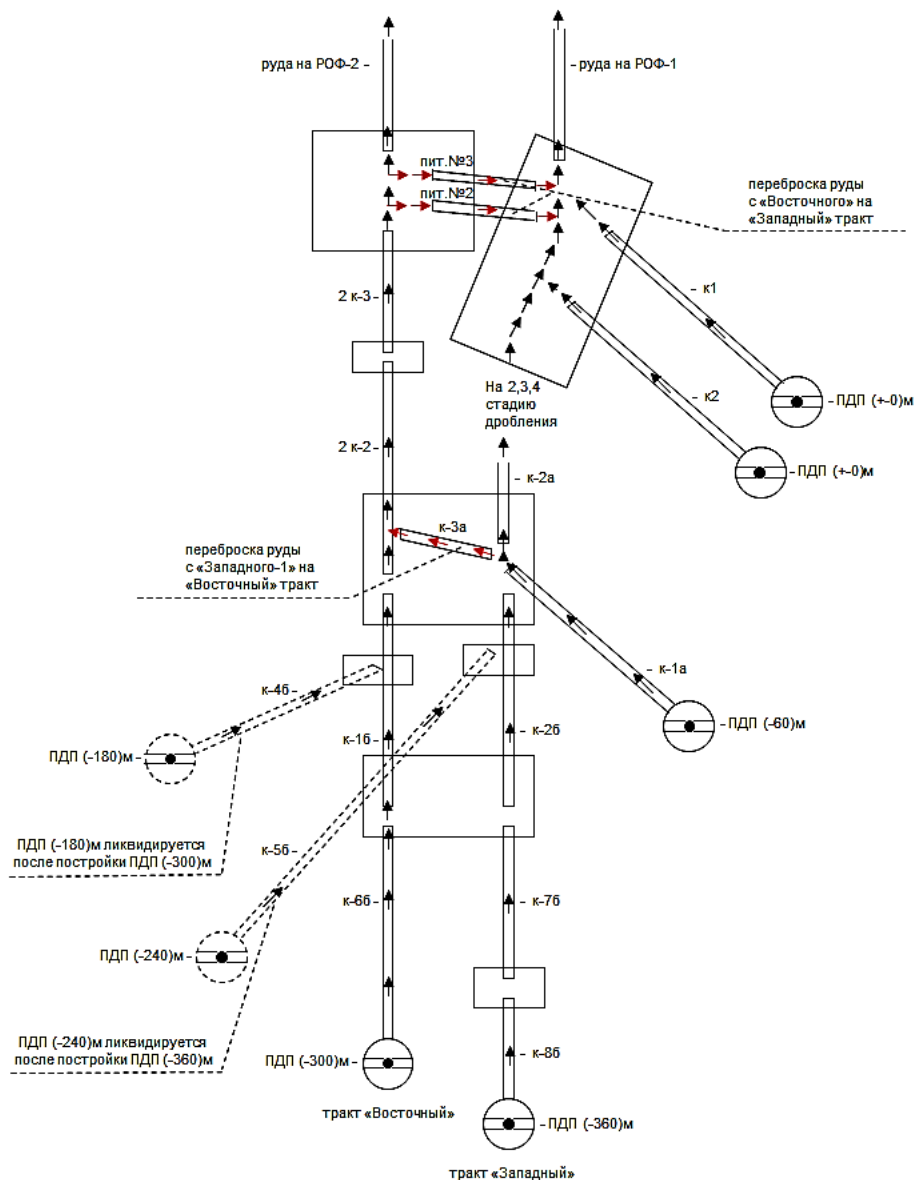


Рис. 2. Схема транспортировки руды на РОФ-1 и РОФ-2 ИнГОКа с учетом переброски с тракта на тракт

$$\sigma_i = \sqrt{\int_{q_{\min_i}}^{q_{\max_i}} S_i(q) dq}, \quad (1)$$

где $q_{\min}$ и $q_{\max}$ – нижняя и верхняя границы диапазона частот колебаний i -го единичного потока;

$S_i(q)$ – спектральная плотность колебаний i -го потока.

При формировании объединенного потока каждый единичный поток вносит в него свой частотный спектр колебаний. Величина спектральной плотности колебаний в объединенном потоке при отсутствии фазовых преобразований определяется по формуле:

$$S_o(q) = \sum_{i=1}^2 \frac{Q_i}{Q_o} S_i(q), \quad (2)$$

где Q_i – производительность i -ого потока;

Q_o – производительность объединенного потока.

Применяя преобразование, выражаемое формулой (1), к равенству (2), получаем величину среднеквадратического отклонения объединенного потока:

$$\sigma_o = \sqrt{\frac{Q_1}{Q_o} \sigma_1^2 + \frac{Q_2}{Q_o} \sigma_2^2}, \% \quad (3)$$

Равенство (3) позволяет оценить эффективность усреднения при объединении потоков. Отметим, что в любом случае Q_o не может быть меньшим минимального и большим максимального значения среди среднеквадратических отклонений колебаний качества единичных потоков руды. Если единичные потоки характеризуются одинаковой величиной среднеквадратического отклонения колебаний качества, как следует из равенства (3), то их объединение не производит усреднительного эффекта при отсутствии фазовых преобразований. В противном случае всегда наблюдается стабилизация колебаний, эффект которой зависит от удельных производительностей отдельных забоев.

Таким образом, при объединении потоков руды из различных экскаваторных забоев, происходит усреднение их качества, оценку которого можно учитывать с помощью формул (2) и (3) и использовать её при проектировании усреднительных комплексов и систем.

Несмотря на все преимущества этого метода, он накладывает ряд ограничений на транспортные средства – автосамосвалы. Это, прежде всего, связано с необходимостью синхронизировать движение автосамосвалов, которые участвуют в парной разгрузке для обеспечения их одновременного прибытия к приемной воронке ЦПТ. Как правило, различные маршруты

движения отличаются по протяженности, преодолеваемому уклону и прочим факторам и средняя скорость движения на них также может быть разной.

Синхронизацию движения автосамосвалов можно выполнить либо путем изменения скорости их движения, либо задержкой одного из транспортных средств перед погрузкой или разгрузкой, что приведет к снижению эффективности использования автотранспортных средств карьера, и, как следствие, снижению общего объема перевозимой горной массы [7].

Рассмотрим математическое решение задачи парной разгрузки для карьера с определенным количеством забоев. В карьере имеются забои Z_1 и Z_2 , которые обладают минимальным и максимальным значением содержания полезного компонента в горной массе. Определен парк автосамосвалов, который участвует в обслуживании этих забоев и парной разгрузке в приемную воронку ЦПТ. Расстояние от места погрузки до приемной воронки ЦПТ равно S_1 и S_2 соответственно, при этом $S_1 > S_2$.

Скорость движения автосамосвала для забоя Z_1 в гружённом состоянии равна $V_{зр.1}$, в порожнем состоянии – $V_{п.1}$. Скорость движения автосамосвала для забоя Z_2 в гружённом состоянии равна $V_{зр.2}$, в порожнем состоянии – $V_{п.2}$. Продолжительность смены равна $T_{см.}$.

Эффективность использования автосамосвала можно определить по количеству ходок за смену:

$$n = T_{см.} / T_p,$$

где T_p – время движения автосамосвала в течение одного рейса, которое рассчитывается по формуле:

$$T_p = T_{позр.} + T_{зр.} + T_p + T_n + T_{ман.},$$

где $T_{позр.}$ – время погрузки;

$T_{зр.}$ – время движение в гружённом состоянии;

T_p – время разгрузки;

T_n – время движения в порожнем состоянии;

$T_{ман.}$ – время маневров.

$$T_{зр.} = S / V_{зр.}; \quad T_n = S / V_n; \quad T_{ман.} = 0,5(T_{зр.} + T_{позр.}); \quad T_{позр.} = T_{ц.эк.} \times n_k,$$

где $T_{ц.эк.}$ – время одного экскаваторного цикла;

n_k – количество ковшей, загружаемых в автосамосвал.

Целью синхронизации движения автосамосвалов является одновременное их прибытие к приемной воронке ЦПТ, поэтому необходимая скорость движения является расчетной величиной.

Пусть дано, что $S_1 > S_2$. В этом случае для синхронизации прибытия к приемной воронке ЦПТ необходимо снизить скорость движения

автосамосвалов на участке Z_2 – приемная воронка ЦПТ – Z_2 . Данные скорости будут определяться формулами:

$$V_{n,2} = \frac{S_2}{S_1} \times V_{n,1} \quad (4)$$

$$V_{cp,2} = \frac{S_2}{S_1} \times V_{cp,1} \quad (5)$$

Принимая во внимание тот факт, что количество ходок автосамосвала – прямо пропорционально скорости движения, рассчитаем количество ходок до и после применения метода парной разгрузки для забоя Z_2 .

До применения метода парной разгрузки количество рейсов в течение смены равно:

$$n = T_{см.} / (T_{погр.} + S_2 / V_{cp,2} + S_2 / V_{n,2} + T_p + T_{ман.}) \quad (6)$$

Учитывая выражения (4) и (5), количество рейсов в течение смены после применения метода парной разгрузки равно:

$$n = T_{см.} / (T_{погр.} + S_2 / S_1 \times V_{cp,2} + S_2 / S_1 \times V_{n,2} + T_p + T_{ман.}) \quad (7)$$

Выводы. Проанализировав выражения (6) и (7), можно сделать вывод, что после применения метода парной разгрузки будет наблюдаться снижение эффективности использования автосамосвалов, что выразится в уменьшении количества рейсов, выполненных каждым автосамосвалом в течение смены и их производительности.

Лишь в частном случае (при одинаковых условиях и равной дальности транспортировки) применение данного метода даст положительный эффект без снижения производительности автосамосвалов. Во всех остальных случаях парная разгрузка позволит стабилизировать качественные характеристики формируемого рудопотока за счет смешивания в приемной воронке рудоспуска рудной массы с минимальными и максимальными содержаниями полезного компонента.

В дальнейшем приоритет качества при ведении открытых горных работ предопределяет возможность применения парной разгрузки автосамосвалов для объединения потоков руды из забоев с минимальными и максимальными значениями содержаний полезного компонента с целью стабилизации качественных показателей в рудопотоках карьеров даже при вероятном снижении объемов транспортируемой горной массы, а на участке поточного перемещения руды конвейерами ЦПТ – управлять качеством бинарного рудопотока путем переброски руды с одного тракта на другой.

Список использованных источников:

1. «Автоматизированные системы управления автотранспортом и процессом рудопотока» [Электронный ресурс] // Сайт «ИНТЕГРА» ООО

«Интегра Груп», 2006 – Режим доступа <http://www.integragr.ru/page/avtomatizirovannie-sistemi-upravleniya.html>

2. Владимиров Д.Я. Система диспетчеризации «КАРЬЕР»: от мониторинга большегрузных автосамосвалов к управлению горно-транспортным комплексом и оптимизации горных работ в карьере / Владимиров Д.Я., Клебанов А.Ф., Перепелицын А.И // Горная промышленность, 2004. – №4. – С. 132-135.

3. Галиев С.Ж. Методика оперативного мониторинга и управления рудопотоком. / С.Ж. Галиев, А.А. Бояндинова, Ж.А. Адилханова, К.К. Жусупов, С.Е. Пуненков. // Научный журнал КазНТУ "Вестник". Наука о земле, – Алматы, 2009. С. 64-70.

4. <http://www.yellowpages.com/lakewood-co/mip/pincock-allen-and-holt-463411136>

5. <http://www.wencomine.com/>

6. Бызов В.Ф. Об усреднении качества руд при объединении грузопотоков / В.Ф. Бызов, Ю.Г. Вилкул И.И. Максимов // Металлургическая и горная промышленность, 1982. – №2. – С. 64-65.

7. Могилевский П.Д. Обоснование условий применения попарной разгрузки автосамосвалов с целью стабилизации показателей качества в рудопотоках карьеров / П.Д. Могилевский, В.И. Бурка, В.А. Азарян // Качество минерального сырья : Сборник научных трудов. – Кривой Рог. – 2008. – С. 276-281

8. Азарян В.А. Разработка функциональной схемы управления качеством в рудопотоках карьеров с целью повышения эффективности работы / В.А. Азарян // Качество минерального сырья: сборник научных трудов, – 2011. – С. 60-63.

9. Азарян А.А. Система оперативного контроля качества железистых кварцитов на конвейере / А.А. Азарян, В.А. Азарян, В.В. Дрига // Качество минерального сырья: Сборник научных трудов. Кривой Рог – 2011. – С. 184-191.

10. Азарян А.А. Состояние проблемы контроля качества при добыче и переработке железорудного сырья / А.А. Азарян, В.А. Азарян, Г.Н. Лисовой // Горный вестник № 95 (1). – Кривой Рог. – 2012. С. 132-136.

Рукопис поступила 06.05.2016 г.