

Ю. С. Мец /д. т. н./
ГВУЗ «Криворожский национальный
университет»

А. П. Левицкий
ОАО «МИ-ЦЕНТР»

Исследование факторов интенсификации взрывной рудоподготовки на карьерах

Одной из важнейших проблем при добыче крепких руд является установление оптимального соотношения взрывного и механического дробления, определяющего в общем эффективность рудоподготовки. При этом конусные дробилки крупного дробления являются передаточной функцией от взрывного к механическому дроблению. Доля крупного дробления составляет от 40 до 60 % капитальных затрат и до 50 % эксплуатационных расходов по циклу обогащения. Рекомендуется снижать выход класса +400 мм во взорванной горной массе путем совершенствования взрывных работ. (Ил. 1. Табл. 3. Библиогр.: 18 назв.).

Ключевые слова: взрыв, механизм разрушения, уступ, рудоподготовка, дробилка.

One of the major problems during extraction of hard ores is establishment of an optimum ratio of explosive and mechanical crushing, generally defining efficiency of ore pretreatment. Thus cone initial crushers are the transfer function from explosive to mechanical crushing. The ratio of large crushing makes from 40 to 60 % of capital expenditure and up to 50 % of operational costs on an enrichment cycle. It is recommended to reduce output of class of +400 mm in the blown-up rock mass by improvement of explosive works.

Key words: explosion, failure mechanism, pit bank, ore pretreatment, crusher.

Анализ предыдущих исследований

Характерной особенностью современной рудоподготовки является стремление к получению не только необходимой крупности добываемых руд, но и их грансостава для дальнейшей переработки в дробилках и мельницах.

В работах [1–3] показано влияние удельного расхода ВВ и новых методов взрывания на улучшение качества дробления, снижение прочности рудной массы и улучшение, за счёт изменения качества рудоподготовки, показателей последующих операций горно-обогатительного передела. Так, увеличение удельного расхода ВВ на карьере ИнГОКа, например, позволило получить значительный экономический эффект на последующих стадиях переработки. Подобные результаты получены и на Полтавском горно-обогатительном комбинате [4–6].

Ряд выполненных работ посвящен повышению эффективности последующего горно-обогатительного передела за счёт формирования взорванной горной массы с заданными гранулометрическими и прочностными свойствами и ее последующей переработки в дробилках крупного дробления [7–9].

Дробилки крупного дробления, как правило, конусные, типа ККД 1500/180, с развитием циклично-поточной технологии стали непременным оборудованием крупных карьеров. В то же время взаимосвязь между взрывным, механическим разрушением руды и самоизмельчением изучена недостаточно.

Сущность процесса дробления в конусной дробилке сводится к следующему: при эксцентричном вращении внутреннего конуса в момент приближения его к неподвижному внешнему конусу он с большей силой сжимает (заклинившиеся между конусами в момент удаления поверхностей конусов) куски, в результате чего они разрушаются. Между конусами имеется постоянно открытая щель минимальной ширины L_{min} (в момент сближения конусов) и максимальной ширины L_{max} – в момент удаления поверхностей конусов. Очевидно, что куски, размеры которых меньше L_{min} , проходят через дробилку без изменений, вернее, почти без изменений. Фактически дроблению подвергаются куски размером более L_{min} ($+L_{min}$). Здесь следует отметить одну особенность процесса. Реальные куски имеют три неравных размера: как показал еще Л. И. Барон [1], соотношение между длиной, шириной и толщиной кусков во взорванной массе в середине составляет 2:1, 4:1.

Цель работы

Установить взаимосвязь между взрывным, механическим разрушением руды и самоизмельчением в зависимости от гранулометрического состава.

Материал и результаты исследований

Нами проведены специальные измерения более 100 кусков взорванной массы. Измерения показали, что в основной массе куски руды имеют форму, близкую к эллипсоиду вращения (яйцевидную, в основном до 300 мм) или в виде грани-

ных столбцов (куски до 100 мм по максимальному размеру).

Поэтому измерялись только два размера – максимальный и минимальный. Таким образом, для кусков с минимальным размером больше 200 мм среднее отношение (удлинение куска) $a_{+200} = l_{max}/l_{min} = 2,04$; $a_{-200} = 1,55$. Учитывая, что средняя величина щели конусной дробилки 200 мм, то через такую щель могут проходить куски размером до $200 \times 2,04 = 400$ мм по максимальному размеру.

Таким образом, в дробилке ККД 1500/180 подвергаются дроблению фракции +400 мм. Фракции -400 мм проходят сквозь дробилку без изменения. Таким образом, в первом приближении передаточная функция дробилки в общем виде будет описана следующим уравнением

$$\gamma_{+aLmin} + \gamma_{-aLmin} = \gamma'_{-aLmin} \quad (1)$$

или

$$\gamma_{+400} + \gamma_{-400} = \gamma'_{-400}, \quad (2)$$

где γ – выход фракций во взорванной массе; γ' – выход фракций после дробилки.

В таком виде передаточная функция достаточна для определения, например, необходимого размера щели, ограничивающего размеры кусков по заданному максимальному размеру (для сохранности резиновой ленты транспортера). Но для того, чтобы определить выход мелких тел, «гали» и мелочи, т. е. три класса крупности после дробилки по грансоставу взорванной массы, требуется более сложная модель функции.

Для упрощения записей назовем минимальную щель дробилки:

$L_{min} = L$ – ширина щели, a – удлинение куска. Пусть $L_2 < L_1 < L$.

Нас интересует фракция $a(L \div L_1)$, $a(L_1 \div L_2) - aL_2$, их выходы после дробилки:

$$\gamma_a(L \div L_1), \gamma_a(L_1 \div L_2); \gamma_{-aL_2}. \quad (3)$$

Во взорванной массе уже присутствуют вышеупомянутые классы:

$$\gamma_a(L \div L_1), \gamma_a(L_1 \div L_2); \gamma_{-aL_2} \quad (4)$$

Они пройдут через дробилку без изменений. Класс превратится в классы (3) с вероятностями:

$$P_{a(L+L_1)}, P_{a(L_1+L_2)}, P_{-aL_2} \quad (5)$$

Тогда:

$$\begin{cases} \gamma'_{a(L_1 \div L_2)} = \gamma_{a(L_1 \div L_2)} + \gamma_{+aL} \cdot P_{a(L \div L_1)} \\ \gamma'_{a(L_1 \div L_2)} = \gamma_{a(L_1 \div L_2)} + \gamma_{+aL} \cdot P_{a(L_1 \div L_2)} \\ \gamma'_{-aL_2} = \gamma_{-aL_2} + \gamma_{+aL} \cdot P_{-aL_2} \end{cases} \quad (6)$$

Эта, более сложная, передаточная функция дробилки даст возможность рассчитывать диф-

ференцированно выход трех классов крупности питания мельниц после дробилки по грансоставу взорванной горной массы, поступающей в дробилку. Но для этого необходимо определить вероятности.

Очевидно, что аналогичным образом можно построить модель для количества фракций больше и меньше 3. Например, для модели, в которой нас интересует фракция -400÷100 и 100 мм, передаточная функция дробилки будет иметь вид:

$$\begin{cases} \gamma_{-400 \div 100} = \gamma_{-400 \div 100} + \gamma_{+400} \cdot P_{-400 \div 100} \\ \gamma_{-100} = \gamma_{-100} + \gamma_{+400} \cdot P_{-100} \end{cases} \quad (7)$$

Модели передаточной функции (6) и (7) просты для расчетов. Но их объективность требует доказательства. Дело в том, что класс +400 мм (или +aL) неоднороден. Он состоит из кусков различной крупности от 1500 до 400 мм. Поэтому модели (5) и (6) верны будут только в том случае, если механизм дробления крупных кусков сводится к последовательному откалыванию от него частей примерно одинакового размера (шелушение). В этом случае вероятность перехода P не будет зависеть от начальных размеров куска, и модель будет верна в этом виде. Если же происходит раскалывание кусков, то в этом случае картина усложняется, и класс γ_{+400} придется делить на отдельные части, например γ_{+600} и $\gamma_{-600+400}$, и для каждого определить P_{+600} и $P_{-600+400}$.

Модель (7) при этом будет иметь вид:

$$\begin{cases} \gamma'_{-400+100} = \gamma_{-400+100} + \gamma_{+600} \cdot P_{-600+100} + \gamma_{-600+400} \cdot P_{-400+100} \\ \gamma'_{-100} = \gamma_{+600} \cdot P_{-100} + \gamma_{-600+400} \cdot P_{-100} \end{cases} \quad (8)$$

и в общем виде:

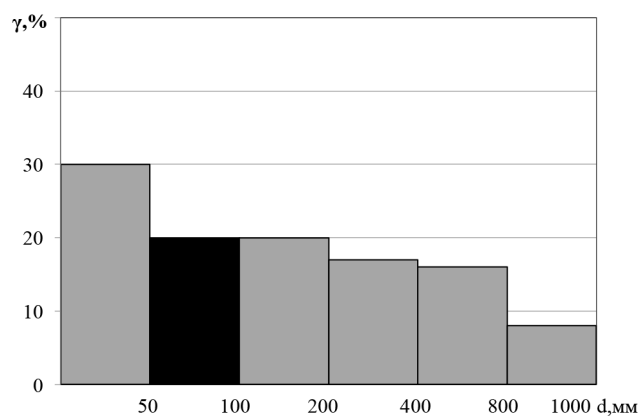
$$\begin{cases} \gamma'_{a(L_1 \div L_2)} = \gamma_{a(L_1 \div L_2)} + \gamma_{+A} \cdot P_{a(L_1 \div L_2)} + \gamma_{-A+B} \cdot P_{a(L \div L_1)} \\ \gamma'_{-aL_1} = \gamma_{-aL_1} + \gamma_{+A} \cdot P_{-aL_1} + \gamma_{-A+B} \cdot P_{-aL_1} \end{cases} \quad (9)$$

где $A > B > aL$.

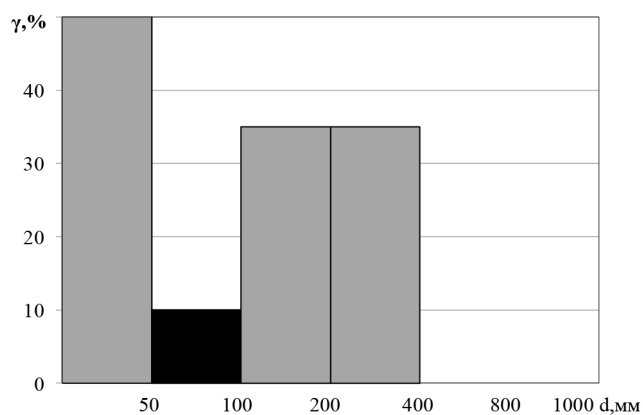
Эти модели отличаются от предыдущих ростом числа членов в правой части. Для проверки влияния начальных размеров кусков на вероятности перехода P проведены лабораторные эксперименты на щековой лабораторной дробилке 60/20. Для этого были приготовлены по 10 кусков руды из карьера, размерами +60 мм, 50, 40, 30, 20 мм. Эти образцы показаны на рис 1.

Размеры кусков подобраны так, что 4 из них больше среднего размера щели и один примерно равен щели дробилки. Куски одного размера загружаются в дробилку. После дробления проводится рассев дробленой руды.

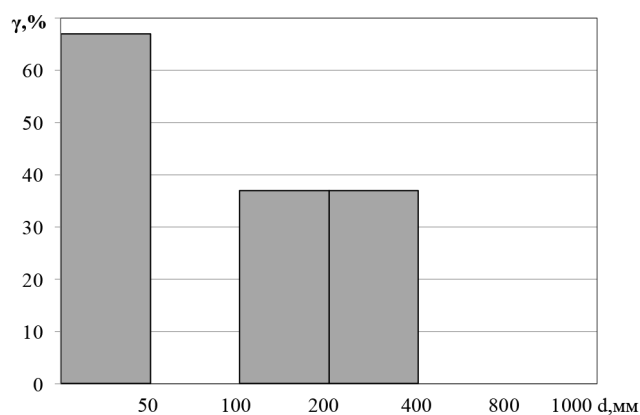
Чтобы было возможно экстраполировать результаты дробления в лабораторных условиях на промышленные, представим границы фрак-



а)



б)



в)

Рис. 1. Гистограммы granulometric composition взорванной руды:

а – фактическая; б – идеальная для секции с полным самоизмельчением; в – для секции с комбинированным самоизмельчением

ций в относительных единицах, выразив их в долях размера щели. Для дробилки 1500/200 диапазон размеров кусков можно разбить на следующие фракции, мм: 1200÷600; 600÷400; 400÷200; 200÷100; 100÷50; <50, или в размерах щели: 6L÷3L; 3L÷2L; 2L÷L; L ÷0,5L; 0,5L ÷ 0,25L; <0,25L.

Фракции больше L подвергаются дроблению и переходят во фракции размерами <L. Таким образом, по результатам эксперимента можно оценить вероятность перехода крупных фрак-

ций в мелкие тела (2-0,5); «галю» (0,5-0,25) и мелочь (0,25).

Результаты дробления приведены в табл. 1. Преобразованные данные (табл. 2) приведены в табл. 3.

Таблица 1

Вероятность перехода крупных фракций в другие

Размер кусков до дробления	Размер кусков после дробления	
	7 «галю» 10,5-0,25	8 мелочь 0,25
3L	$P_{17} = 0,18$	$P_{18} = 0,16$
2,5L	$P_{27} = 0,17$	$P_{28} = 0,18$
2L	$P_{37} = 0,20$	$P_{38} = 0,14$
1,5L	$P_{47} = 0,18$	$P_{48} = 0,12$
L	$P_{57} = 0,06$	$P_{58} = 0,06$

Таблица 2

Вероятность изменения размеров куска после дробления

Размер кусков до дробления	Размер кусков после дробления		
	> 0,5L	0,5L ÷ 0,25L	< 0,25L
> 2L	$P_{13} = 0,65$	$P_{14} = 0,2$	$P_{15} = 0,15$
2L ÷ L	$P_{23} = 0,8$	$P_{24} = 0,1$	$P_{13} = 0,65$

Таблица 3

Изменение granulometric composition горной массы

Место измерений	Granulometric composition, %							
	+1200 мм	+1000 мм	+800 мм	+400 мм	+200 мм	+100 мм	-400 +200	-400 +100
В забое	2,3	3,4	6,6	18	35	57	17	37,0
В кузове автосамосвала	2,1	3,1	6,0	7,5	34	55	16,5	36,5
На питателе конвейера ЦПТ (ККД 1500/180)	-	-	-	2,3	17,5	38,5	17,2	36,2

Анализ данных табл. 1 показывает, что с приближением размеров крупных кусков в исходной руде к размерам щели дробилки увеличивается вероятность их перехода в мелющие тела и уменьшается вероятность перехода в «галю» и мелочь. Другими словами, чтобы снизить выход промежуточных тел, необходимо уменьшать выход крупных классов во взорванной массе. Такая зависимость возможна, если предположить, что куски руды не сразу раскалываются на части, но от них понемногу откалываются небольшие куски, особенно в верхней зоне дробилки, где ход дробящей поверхности невелик и скорость нагружения тоже невелика. Заметно также, что в диапазоне 3L÷2L вероятности перехода не очень отличаются, вследствие чего модель можно упростить.

Конечно, полностью переносить результаты определения вероятностей по лабораторным экспериментам на реальные конусные дробилки нельзя. Поэтому для оценки фактических значений вероятностей перехода для дробилки ККД 1500/180 были проведены промышленные эксперименты на Анновском карьере СевГОКа по рудам, аналогичным по прочности окисленным железистым кварцитам ИнГОКа. С этой целью измерен гранулометрический состав в четырех рудных забоях, работающих на перегрузочный узел с дробилкой ККД 1500/180. Затем, в течение нескольких смен, проводится замер грансостава в кузовах автосамосвалов в момент высыпания в дробилку. При этом синхронно проводилось фотографирование руды на питателе конвейера-подъемника. Измерения произведены в объеме 110 самосвалов, при этом перегрузочный узел принял около 4 тыс. т руды. В момент измерений три забоя работали на рудах лежащей пачки южной и один забой на рудах висячей пачки северной части карьера. Средние данные приведены в табл. 3.

Данные, приведенные в табл. 3, показывают, что при погрузке в самосвалы грансостав взорванной массы почти не изменяется. Выход класса +100 мм на конвейерной ленте составил в среднем 35,8 %, что почти в точности соответствует выходу класса -400 +100 мм во взорванной и отгруженной руде. Таким образом, установлено, что «генератором» мелющих тел во взорванной руде Анновского карьера является в основном класс -400 +100 мм. Обращает внимание также то, что в руде содержится более 3 % класса +1000 мм, а «негабарита» более 2 %, что в 20–30 раз выше, чем по отчетным данным.

Таким образом, для упрощенных расчетов можно представить, что передаточная функция дробилки ККД 1500/180 имеет вид:

$$\begin{cases} \gamma'_{+100} = \gamma_{-400+100} \\ \gamma'_{-100+50} = 0.5\gamma_{+400} + \gamma_{-100+50} \\ \gamma'_{-50} = 0.5\gamma_{+400} + \gamma_{-50} \end{cases} \quad (10)$$

Исследования позволяют предоставить идеальный гранулометрический состав взорванной горной массы, к которому надо стремиться при отбойке руды на карьере. Этот грансостав представлен на рис. 1 для основной схемы самоизмельчения РОФ-2 с рудногалечным измельчением во II стадии, для которой необходимо около 10–15 % рудной «гали» из I стадии измельчения.

Для схемы с шаровым измельчением во II стадии «гали» не нужно, поэтому она является балластом для I стадии самоизмельчения, и надо

стремиться, чтобы ее во взорванной руде было как можно меньше.

Как уже было показано выше, довольно большое количество «гали» образуется в дробилке из крупных фракций, поэтому первоочередной задачей для отбойки является уменьшение выхода класса +400 мм во взорванной руде. Это задание не только не противоречит требованиям ведения горных работ, но и способствует их улучшению.

Выводы

1. Установлена взаимосвязь по гранулометрическому составу руды между взрывным, механическим разрушением и самоизмельчением.
2. При самоизмельчении основными классами во взорванной горной массе, которые функционируют в виде мелющих тел, являются куски размером -400 +100 мм.
3. Установлено, что куски крупнее 400 мм дробилкой перерабатываются в основном в класс -100 мм, причем в равной мере в «галю» и мелочь.
4. Для повышения производительности процесса самоизмельчения необходимо путем совершенствования взрывных работ снизить выход класса +400 мм во взорванной горной массе с одновременным доведением выхода класса -400 +100 мм до уровня 30–35 %.

Библиографический список

1. Гончаров С. А. О нецелесообразности увеличения удельного расхода ВВ при буровзрывном дроблении железистых кварцитов в карьере КМА / С. А. Гончаров // Горный журнал. – 2013. – № 4. – С. 80–85.
2. Еременко А. А. Опыт проведения массового взрыва с применением параллельно-сближенных зарядов ВВ увеличенного диаметра / А. А. Еременко, Е. В. Шетинин, С. К. Шултаев // Горный журнал. – 2013. – № 3. – С. 73–75.
3. Фокин В. А. Методологические аспекты качества эмульсионных взрывчатых веществ по результатам замеров скорости детонации / В. А. Фокин, М. Б. Точунов // Горный журнал. – 2013. – № 4. – С. 77–79.
4. Шариков С. Н. Методология оценки энергоемкости технологических процессов в цикле «буровзрывные работы-механическое дробление-измельчение» при открытой разработке рудных месторождений / С. Н. Шариков, В. Г. Шеменев // Горный журнал. – 2013. – № 10. – С. 83–85.
5. Фокин В. А. К вопросу оценки качества дробления взорванной горной массы при производстве буровзрывных работ в карьерных

условиях / В. А. Фокин, М. Б. Точунов, С. В. Сёмкин // Горный журнал. – 2013. – № 12. – С. 54–56.

6. Фокин В. А. К вопросу обоснования интервалов замедления при производстве массовых взрывов в карьерах / В. А. Фокин, М. Б. Точунов, С. В. Сёмкин // Горный журнал. – 2012. – № 2. – С. 44–46.

7. Бабаев Р. М. Влияние параметров конусной инерционной дробилки КИД-1500 на выход изделия заданного класса / Р. М. Бабаев, В. Л. Кищенко // Обогащение руд. – 2012. – № 1. – С. 12–15.

8. Титиевский Е. М. Анализ предложений машиностроительных компаний по технологии и оснащению дробильных отделений железорудных фабрик / Е. М. Титиевский // Горный журнал. – 2011. – № 7. – С. 8–12.

9. Сапожников А. И. Конусная дробилка-мельница перспективное направление совершенствования технологии дезинтеграции / А. И. Сапожников, А. В. Голованов // Обогащение руд. – 2012. – № 6. – С. 18–21.

10. Барон Л. И. Исследование эффективности дробления пород при взрывной отбойке игданитами на карьерах / Л. И. Барон, И. Ф. Андрианов // Взрывное дело. – 1997. – 53/10. – С. 68–72.

11. Добрынин В. Н. Система интеллектуального управления технологией дробления (на примере Стойленского ГОКа) / В. Н. Добрынин, В. А. Дидеров, А. А. Миловидова // Обогащение руд. – 2014. – № 6. – С. 38–42.

12. Чантурия В. А. Приоритетные направления исследований в области переработки мине-

рального сырья / В. А. Чантурия, Л. А. Вайсберг, А. П. Козлов // Обогащение руд. – 2014. – № 2. – С. 16–20.

13. Репин В. Я. К вопросу использования энергии взрыва для повышения эффективности рудоподготовки и обогащения железистых кварцитов / В. Я. Репин // Горный журнал. – 2012. – № 4. – С. 45–47.

14. Вайсберг Л. А. Современные технологии и оборудование для изучения и переработки отходов горной промышленности / Л. А. Вайсберг, Ю. И. Азбель, В. А. Арсентьев // Обогащение руд. – 2013. – № 4. – С. 18–23.

15. Бобин В. А. Гироскопическая мельница – новая безударная техника для измельчения руд / В. А. Бобин, А. В. Покаматов, А. В. Бобина // Горный журнал. – 2011. – № 10. – С. 70–73.

16. Сафронов А. Н. Оценка производительности конусной вибрационной дробилки с пространственным движением рабочих органов / А. Н. Сафронов, С. В. Казаков // Обогащение руд. – 2013. – № 4. – С. 27–30.

17. Сафронов А. Н. Условия стабильной фазировки вибровозбудителей конусной вибрационной дробилки / А. Н. Сафронов, С. В. Казаков // Обогащение руд. – 2013. – № 2. – С. 29–33.

18. Дидык Р. П. Пути преодоления трибологического барьера в целях повышения ресурса горного оборудования / Р. П. Дидык, В. В. Зиль, В. А. Безрукавая // Горный журнал. – 2011. – № 2. – С. 54–57.

Поступила 29.09.2015

