

УДК 622.235.62

Левицкий А.П., инженер
(ООО «МИ-ЦЕНТР», г. Кривой Рог).

Левицкий А.А., студент
(Robinson College, University
of Cambridge, Великобритания).

Турчин Ю.Ю., аспирант
(Криворожский национальный
университет, г. Кривой Рог)

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО
ПЕРЕДЕЛА НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ВЗРЫВНОЙ
РУДОПОДГОТОВКИ**

Левіцький А.П., інженер
(ТОВ «МІ-ЦЕНТР», м. Кривий Ріг).

Левіцький А.А., студент
(Robinson College, University
of Cambridge, Велика Британія).

Турчин Ю.Ю., аспірант
(Криворізький національний
університет, м. Кривий Ріг)

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО
ПЕРЕДІЛУ НА ОСНОВІ УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ
ВИБУХОВОЇ РУДОПІДГОТОВКИ**

Levitskyu A.P., Master of Science
(LLC "ME-Centre", Kryviy Rig, Ukraine).

Levitsky A.A., student
(Robinson College, University
of Cambridge, United Kingdom
of Great Britain).

Turchin Yu. Yu., Doctoral Student
(SHEI «Kryvyi Rig National University»)

**INCREASING OF THE EFFECTIVENESS OF MINING AND MINERAL
PROCESSING PRODUCTION BASED ON MANAGEMENT OF
EXPLOSION'S PARAMETERS**

Аннотация: Исследованы особенности дробления крупнокусковой взорванной горной массы в конусных дробилках крупного дробления. Установлено, что гранулометрический состав горной массы после механического дробления зависит не только от ширины выпускной щели, но и от фракционного состава взорванной горной массы. Управляя параметрами взрывной рудоподготовки возможно контролировать и активно воздействовать на процесс подготовки мелющих тел для дробилок самоизмельчения. Разработана передаточная функция дробилки.

Повысить эффективность горно-обогажительного передела возможно за счет комплексного учета гранулометрического состава взорванной рудной массы и технологических свойств внутрикарьерных дробилок крупного дробления. В работе выполнена оценка современного состояния уступной отбойки и достигнутых при этом результатов. Установлено, что мелющие тела образуются в ходе механического дробления взорванной руды крупностью – 400 +100 мм. Куски крупнее 400 мм дробилкой перерабатываются в основном в класс -100 мм, причем в равной мере в «галю» и мелочь.

Приведены результаты промышленного эксперимента в условиях Анновского карьера СЕВГОКа.

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

Постановка проблемы. Анализ современного состояния горных работ на карьерах показал, что на достигнутых глубинах современных карьеров существенно изменились горно-геологические и горно-технологические условия производства взрывных работ. Существенно вырос удельный вес крепких, трещиноватых, обводненных, разнопрочных горных пород. Уменьшилась ширина рабочих площадок, что не позволяет в полной мере использовать многорядное короткозамедленное взрывание для получения качественного дробления, формирования компактного развала взорванной горной массы и высокой степени проработки подошвы. Для таких горнотехнических условий нерешенной является проблема управления качеством взрывной подготовкой горной массы.

Анализ последних исследований и публикаций. В отечественной и зарубежной литературе много работ посвящено поискам необходимой энергии заряда для получения горной массы заданной кусковатости при отбойке крупных горных пород. На практике доказана возможность регулирования степени дробления пород с помощью удельной энергии заряда ВВ. Одним из основных направлений совершенствования уступной отбойки горных пород является получение взорванной горной массы с заданными параметрами, способствующими повышению эффективности горно-обогажительного передела. 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 [1,2] 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-обогажительного передела. Так, увеличение удельного расхода ВВ на карьере ИнГОКа, например, позволило получить значительный экономический эффект на последующих стадиях переработки. Подобные результаты получены и на других горно-обогажительных комбинатах [3,4].

Ряд работ посвящен повышению эффективности последующего горно-обогажительного передела за счёт формирования взорванной горной массы с заданными гранулометрическими и прочностными свойствами и ее последующей переработки в дробилках крупного дробления [5,6].

Постановка задачи. Целью работы является повышение эффективности горно-обогажительного передела на основе комплексного учета гранулометри-

ческого состава взорванной рудной массы и технологических свойств внутри-карьерных дробилок крупного дробления.

Основной материал и результаты. Для решения поставленной задачи была выполнена оценка современного состояния уступной отбойки и достигнутых при этом результатов. Особое внимание уделено возможности совершенствования рудоподготовки за счет прогноза эффективности первой стадии механического дробления.

На большинстве крупных железорудных карьеров в настоящее время эксплуатируются или строятся комплексы циклично-поточной технологии. Ключевым элементом данных комплексов является дробильно-перегрузочный пункт, оборудованный дробилкой крупного дробления. Стационарные дробильно-перегрузочные пункты на украинских железорудных карьерах оборудованы конусными дробилками ККД 1500/180. Очевидно, что гранулометрический состав разрушенной взрывом скальной горной массы существенно изменяется после первой стадии механического дробления и, по-видимому, существует возможность за счет управления параметрами взрыва и кусковатостью взорванной горной массы оказывать влияние на гранулометрический состав горной массы после механического дробления. Однако вопросы влияния дробилок крупного дробления на изменение гранулометрического состава взорванной горной массы изучены недостаточно, в то же время, обоснованный прогноз такого воздействия позволит существенно повлиять на технико-экономические показатели горно-обогачительного передела.

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 $L_{min} (+L_{min})$.

Известно, что у кусков взорванной горной массы соотношение между длиной, шириной и толщиной в среднем составляет 2:1, 4:1. 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.

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

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

или

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

где γ - выход фракций во взорванной массе, γ' - выход фракций после дробилки.

Для того, чтобы определить выход мелких тел, «гали» и мелочи, т. е. три класса крупности после дробилки по грансоставу взорванной массы, требуется более сложная функция.

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:

$$P_{a(L \div L_1)}; P_{a(L_1 \div L_2)}; P_{-aL_2} \quad (5)$$

Тогда

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

При известной вероятности выхода классов передаточная функция (6) позволит дифференцированно рассчитать выход трех классов крупности после дробилки по грансоставу взорванной горной массы, поступающей в дробилку.

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, размерами +60 мм, 50 мм, 40 мм, 30 мм, 20 мм. Размеры кусков подобраны так, что 4 из них больше среднего размера щели и один примерно равен щели дробилки. Куски одного

размера загружались в дробилку, после дробления проводится рассев дробленой руды.

Чтобы было возможно экстраполировать результаты дробления в лабораторных условиях на промышленные, представим границы фракций в относительных единицах, выразив их в долях размера щели. Для дробилки 1500/200 диапазон размеров кусков можно разбить на следующие фракции, мм: $1200 \div 600$; $600 \div 400$; $400 \div 200$; $200 \div 100$; $100 \div 50$; < 50 , или в размерах щели: $6L \div 3L$; $3L \div 2L$; $2L \div L$; $L \div 0,5L$; $0,5L \div 0,25L$; $< 0,25L$.

Фракции больше L подвергаются дроблению и переходят во фракции размерами $< L$. Таким образом, по результатам эксперимента можно оценить вероятность перехода крупных фракций в мелющие тела (2 - 0,5); «галю» (0,5 - 0,25) и мелочь (0,25). Результаты дробления приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Вероятность перехода крупных фракций в «галю» и мелочь

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	$P_{57} = 0,06$	$P_{58} = 0,06$

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. Чтобы снизить выход промежуточных тел, необходимо уменьшать выход крупных классов во взорванной массе. Следует отметить, что в диапазоне $3L \div 2L$ вероятности перехода не очень отличаются, вследствие чего модель можно упростить (табл.2).

Таблица 2 - Вероятность изменения размеров куска после дробления

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

Для определения фактических значений вероятностей перехода крупных кусков горной массы в более мелкие классы при дроблении взорванной руды дробилкой ККД 1500/180 в условиях Анновского карьера СЕВГОКа был проведен промышленный эксперимент. В четырех рудных забоях был измерен гранулометрический состав. Затем, в течение нескольких смен, проводится замер грансостава в кузовах автосамосвалов в момент их разгрузки в дробилку. Параллельно с замером грансостава в кузовах самосвалов определялся гранулометрический состав дробленой руды на питателе конвейера ЦПТ. Было вы-

полнено 110 измерений гранулометрического состава в кузове автосамосвалов, объем переработанной дробилкой руды составил около 4 тыс. т руды. Результаты промышленного эксперимента приведены в табл. 3.

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.

Таблица 3 – Результаты промышленного эксперимента на Анновском карьере

Место измерений	Гранулометрический состав, %								
	+1200 мм	+1000 мм	+800 мм	+400 мм	+200 мм	+100 мм	-400 +200	-400 +100	
В забое	,3	,4	,6	8	5	3	5	1	3
В кузове автосамосвала	,1	,1	,0	,5	4	3	5	1	3
На питателе конвейера ЦПТ				,3	7,5	1	3	1	3
							8,5	7,2	6,2

Таким образом, установлено, что «генератором» мелющих тел во взорванной руде Анновского карьера является, в основном, класс -400 +100 мм.

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

$$\begin{cases} \gamma'_{+100} = \gamma_{-400+100} \\ \gamma'_{-100+50} = 0.5\gamma_{+400} + \gamma_{-100+50} \\ \gamma'_{-50} = 0.5\gamma_{+400} + \gamma_{-50} \end{cases} \quad (7)$$

Выводы.

Исследованы особенности дробления крупнокусковой горной массы в конусных дробилках крупного дробления. Установлено, что гранулометрический состав горной массы после механического дробления зависит не только от ширины выпускной щели, но и от фракционного состава взорванной горной массы. Управляя параметрами взрывной рудоподготовки возможно контролировать и активно воздействовать на процесс подготовки мелющих тел для дробилок самоизмельчения.

Установлено, что «генератором» мелющих тел во взорванной руде карьера является выход класса -400 +100 мм. В то же время куски крупнее 400 мм дробилкой перерабатываются в основном в класс -100 мм, причем в равной мере в «галю» и мелочь.

Для повышения производительности процесса самоизмельчения необходимо снизить выход класса +400 мм во взорванной горной массе с одновременным доведением выхода класса - 400 +100 мм до уровня 30 - 35%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаров, С.А. О нецелесообразности увеличения удельного расхода ВВ при буровзрывном дроблении железистых кварцитов в карьере КМА // 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. Щетинин , С.К. Шултаев // Горный журнал. – 2013. - №3. – С.73-75.
3. Жариков, С.Н. Методология оценки энергоемкости технологических процессов в цикле «буровзрывные работы-механическое дробление-измельчение» при открытой разработке рудных месторождений / С.Н. Жариков, В.Г. Шеменев // Горный журнал. – 2013. - №10. – С.83-85.
4. 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. Семкин // Горный журнал. - 2013. - №12. - С.54-56.
5. 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.
6. 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.

REFERENCES

1. Goncharov, S.A. (2013), "About inexpediency of increasing the specific consumption of explosives in the rock blasting crushing of the ferruginous quartzites in the KMA's open-pit", *Gorny Zhurnal*, no.4, pp.80-85.
2. Eremenko, A.A.. (2013), «Experience of conducting of mass explosion with the use of the parallel-drawn together charges of the explosibility matter megascopic diameter», *Gorny Zhurnal*, no.3, pp. C.73-75.
3. Zharikov, S.N. and Shemenev, V. G. (2013), "The evaluation methodology of energy intensity of technological processes in the cycle of "blasting crushing - mechanical crushing - grinding" at the open-pit mining of the ore deposits", *Gorny Zhurnal*, no.10, pp.83-85.
4. Fokin, V.A., Tochunov, M.B.and Semkin, S.V. (2013), "On the issue of assessing the quality of crushing of the blasted rock mass in the production of rock blasting operations in the open-pit conditions", *Gorny Zhurnal*, no.12, pp.54-56.
5. Babaev, R.M. and Kishcheko, V.L. (2012), "Influence of parameters of inertial cone crusher KKD-1500 on the output of the product of specified class", *Obogashchenie rud*, no. 1, pp.12-15.
6. Titievskiy, Ye.M. (2011), "Analysis of proposals for engineering companies of the technology and equipment for iron ore crushing mills factories", *Gorny Zhurnal*, no.7, pp.8-12.

Об авторах

Левицкий Андрей Павлович, генеральный директор ООО «МИ-ЦЕНТР», Кривой Рог, Украина, levitskyyar-micentre@ukr.net

Левицкий Андрей Андреевич, студент Robinson College, University of Cambridge, Великобритания

Турчин Юрий Юрьевич, аспирант кафедры открытых горных работ, Криворожский национальный университет, Кривой Рог, Украина

About the authors

Levitsky Andrey Pavlovich, M. Sc (Tech), General Director of LLC "ME-Centre", Kryviy Rih, Ukraine, levitskyyar-micentre@ukr.net

Levitsky Andrey Andreyevsch, student of Robinson College, University of Cambridge, United Kingdom of Great Britain

Turchin Yuriy Yuriyevich, M. Sc (Tech), Doctoral Student in Department of the opened mine works, Kryvorozhskyy national university, Krivoy Rog, Ukraine

Анотація: Досліджено особливості дроблення крупнокускової підірваної гірничої маси в

конусних дробарках крупного дроблення. Встановлено, що гранулометричний склад гірничої маси після механічного дроблення залежить не тільки від ширини випускного отвору, а й від фракційного складу підірваної гірничої маси. Керуючи параметрами вибухової рудопідготовки можливо контролювати і активно впливати на процес підготовки мелючих тіл для дробарок самоподрібнювання. Розроблена передавальна функція дробарки.

Підвищити ефективність гірничо-збагачувального переділу можливо за рахунок комплексного врахування гранулометричного складу висадженої рудної маси і технологічних властивостей внутрішньокар'єрних дробарок крупного дроблення. В роботі виконана оцінка сучасного стану уступної відбійки і досягнутих при цьому результатів. Встановлено, що тіла, які мелють, утворюються в ході механічного дроблення висадженої руди крупністю -400 +100 мм. Шматки крупніше 400 мм дробаркою переробляються в основному в клас -100 мм, причому в рівній мірі в «галю» і дрібниця.

Наведено результати промислового експерименту в умовах Ганнівського кар'єру ПівніГЗК.

Ключові слова: вибух, механізм руйнування, рудопідготовка, дробарка.

Abstract: The features of crushing of the blasted lumpy rock mass in cone crushers of large crushing were investigated. It was found that the size of distribution of the rock mass after mechanical crushing depends not only of the width of the outlet slit but also of the fractional composition of the blasted rock mass. It is possible to control and actively influence on the process of preparation of the grinding bodies for autogenous grinding mills by managing of the parameters of the explosive ore preparation. The transfer function of the crusher has been developed.

Promoting efficiency of ore mining and processing redistribution is possible due to the complex account of granulometrical composition of the blown up ore mass and technological properties of inside-open-cast crushers of the large crushing. Estimation of the modern state of bench breaking and results attained here is executed in work. It is set that grinding bodies appear during the mechanical blown ore crushing up by the largeness -400 +100 mm. Pieces larger 400 mm by a crusher is processed mainly in a class -100 mm, thus in an equal measure in «galyu» and change.

The results of the industrial experiment in conditions of Gannivske open-pit of Northern GOK were given.

Keywords: explosion, mechanism of destruction ore preparation, crusher.

Стаття поступила в редакцію 15.10.2015

Рекомендовано к печати чл.-корр. НАН Украины, д-ром техн. наук Э.И. Ефремовым