

УДК 622.23.05

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДРОБЛЕНИЯ В ДРОБИЛКАХ МНОГОКРАТНОГО УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ РД-МДВ-900 И ДКД-300****Львов Е.С., Винокуров В.Р.***ФБУН «Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского» Сибирского отделения РАН, Якутск, e-mail: lvooves@bk.ru*

При переработке и обогащении различных рудных месторождений большинство предприятий традиционно используют для дробления конусные и щековые дробилки, а для измельчения – стержневые и шаровые мельницы. При этом наибольшие эксплуатационные и энергетические затраты приходится на дробление и измельчение и для большинства предприятий, использующих эти процессы, составляют более 50% их экономического баланса. В этой связи задача снижения себестоимости дробильно-измельчительных процессов становится все более актуальной. Проведенные исследования по применению дробилок комбинированного ударного действия ДКД-300 и роторной дробилки РД-МДВ-900 при переработке различных геоматериалов показывают возможность существенно повысить эффективность схем рудоподготовки различного минерального сырья. При этом наличие в конструкции дробилки РД-МДВ-900 колосникового грохота-питателя дает не только возможность задавать крупность верхних классов продуктов дробления, что существенно сокращает или исключает образование циркулирующей нагрузки в схемах рудоподготовки, но и организовать на его поверхности интенсивные динамические контакты кусков руды друг с другом в режиме самоизмельчения, что позволяет повысить эффективность разрушения горных пород. Это подтверждается увеличенной степенью дробления в РД-МДВ-900 (11,88) по сравнению с дробилкой ДКД-300 (9,04).

**Ключевые слова:** дробление, раскрытие, дробилка, обогащение, распределение, гранулометрическая характеристика, твердость минерала, степень дробления, крупность минерала

**RESEARCH OF REPEATED CRUSHER CRUSHING PERCUSSION RD-MDV-900 AND DCD-300****Lvov E.S., Vinokurov V.R.***IGDS name of N.V. Chersky SB RAS, Yakutsk, e-mail: lvooves@bk.ru*

During the processing and enrichment of various mineral deposits, most enterprises have traditionally used for crushing cone and jaw crushers, and for crushing – rod and ball mills. Thus the greatest operational and energy costs accounted for crushing and grinding, and for the majority of businesses using these processes is more than 50% of their economic balance. In this context, the task of reducing the cost of crushing and grinding processes is becoming increasingly important. Studies on the use of the combined percussion crushers DCD-300 and impactor RD-MDV-900 in the processing of various geomaterials show the ability to significantly improve the efficiency of various schemes of ore dressing of mineral raw materials. At the same time, the presence in the construction of the crusher RD-MDV-900 grizzly-runner, not only provides the ability to set size of the upper classes of crushing products, which significantly reduces or eliminates the formation of circulating load of ore preparation circuits, but also to organize on its surface intense dynamic pieces of pins ore together autogenous mode that improves the efficiency of rock destruction. This is confirmed by the increased level of fragmentation in the RD-MDV-900 (11.88) compared with the crusher DCD-300 (9.04).

**Keywords:** crushing, disclosure, crusher, enrichment, distribution, grading characteristics, mineral hardness, the degree of fragmentation, size of the mineral

При переработке и обогащении различных рудных месторождений большинство предприятий традиционно используют для дробления конусные и щековые дробилки, а для измельчения – стержневые и шаровые мельницы. При этом наибольшие эксплуатационные и энергетические затраты приходится на дробление и измельчение и для большинства предприятий, использующих эти процессы, составляют более 50% их экономического баланса. В этой связи задача снижения себестоимости дробильно-измельчительных процессов становится все более актуальной [1, 2].

Учитывая высокую степень дробления и по возможности раскрытия полезных компонентов ударных методов разрушения

геоматериалов, лабораторией обогащения полезных ископаемых ИГДС СО РАН разработаны и запатентованы ряд новых аппаратов дробления, основанных на принципе интенсивного разрушения кусковых горных пород многократными динамическими воздействиями.

Исследование процессов дробления проводилось на дробилке комбинированного ударного действия ДКД-300, в принцип работы которой заложен механизм интенсивного разрушения кусковых геоматериалов в режиме многократных динамических воздействий за счет контактов как с рабочей поверхностью роторов, так и кусков друг с другом в режиме самоизмельчения [3]. А также на дробильной установке РД-МДВ-900 [4].

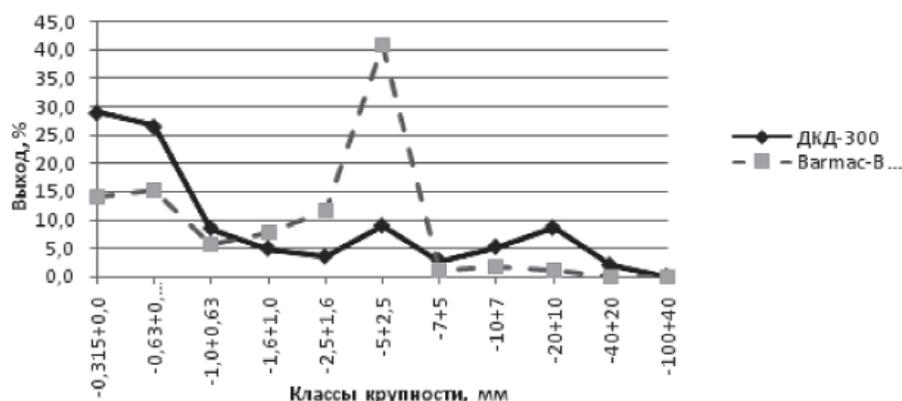


Рис. 1. Сравнительные гранулометрические характеристики продуктов дробления дробилок ДКД-300 и Barmac-5000

Исследования по дроблению золотосодержащих руд на дробилке ДКД-300 показали высокую эффективность по степени дробления. При сравнении гранулометрических составов продуктов дробления одной и той же золотосодержащей руды на дробилке ДКД-300 и дробилке Barmac-B 5000 получены существенно отличные гранулометрические характеристики (рис. 1).

Накопление материалов критического класса  $-5 + 2,5$  мм в продуктах дробления Barmac-B 5000 показывает невозможность дробления данного (критического) класса. Накопление данного класса в схемах рудоподготовки приводит к увеличению циркулирующей нагрузки. Расчет возможной циркулирующей нагрузки в схемах дробления с использованием обоих типов дробилок по контрольной крупности  $+7$  мм показывает возможность сокращения циркулирующей нагрузки в восемь раз.

Экспериментальные исследования по изучению формирования гранулометрическо-

го состава и раскрытия мономинеральных фаз при дезинтеграции золотокварцевых руд на опытном образце дробилки комбинированного ударного действия ДКД-300 показали высокую степень раскрытия компонентов на мономинеральном уровне.

Исследования проводились по ряду присутствующих в руде, кроме кварца (матрица), минералов: альбита, микроклина, роговой обманки, хлорита, мусковита, каолинита. Определение степени раскрытия минералов проводилось на продуктах дробления классов крупностью:  $-20 + 10$  мм;  $-10 + 5$  мм;  $-5 + 2,5$  мм;  $-2,5 + 1,6$  мм;  $-1,6 + 1$  мм;  $-1 + 0,63$  мм;  $-0,63 + 0,315$  мм;  $-0,315 + 0,16$  мм;  $-0,16 + 0,01$  мм;  $-0,1 + 0,063$  мм и  $-0,063$  мм. Расчет доли раскрытых минералов проводился визуально и под оптическим анализатором МИР-12. Анализ продуктов дробления показал, что степень раскрытия имеет прямую зависимость от крупности продуктов дробления и твердости минералов (рис. 2).

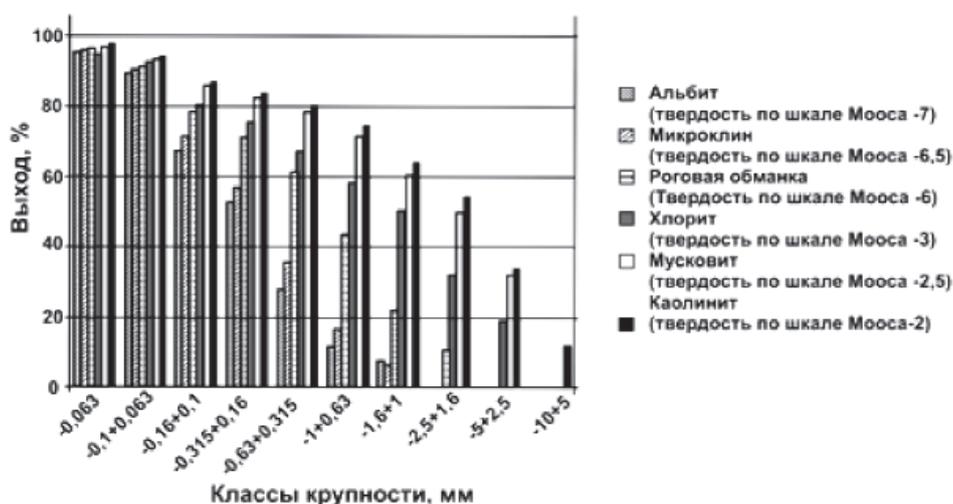


Рис. 2. Доля мономинералов в продуктах дробления по классам крупности

Установлено, что степень раскрытия мономинералов зависит от твердости и крупности дробленого материала. При этом раскрываемость твердых частиц минералов ниже, чем у минералов меньшей твердости: преобладание доли раскрытых минералов каолинита с твердостью по шкале Мооса 2 начинается с класса крупности  $-2,5 + 1,6$  мм и составляет 53,7%; преобладание доли раскрытых минералов мусковита с твердостью по шкале Мооса 2,5 начинается с класса крупности  $-1,6 + 1$  мм и составляет 60,1%; преобладание доли раскрытых минералов хлорита с твердостью по шкале Мооса 3 начинается с класса крупности  $-1 + 0,63$  мм и составляет 57,8%; преобладание доли раскрытых минералов роговой обманки с твердостью по шкале Мооса 6 начинается с класса крупности  $-0,63 + 0,315$  мм и составляет 61,8%; преобладание доли раскрытых минералов микроклина с твердостью по шкале Мооса 6,5 начинается с класса крупности  $-0,315 + 0,16$  мм и составляет 56,3%; преобладание доли раскрытых минералов альбита с твердостью по шкале Мооса 7 начинается с класса крупности  $0,315 + 0,16$  мм и составляет 52,8%.

В результате экспериментальных исследований степени раскрытия мономинеральных фаз при дезинтеграции золотокварцевых руд на опытном образце дробилки ДКД-300 установлено, что за один цикл дробления доля раскрытых мономинералов существенно увеличивается по мере уменьшения крупности дробленого геоматериала, начиная с класса крупности  $-0,315$  мм, и достигает максимального значения (97,6%) в классах крупности  $-0,063$  мм, при этом доля рас-

крытых мономинералов высокой твердости ниже, чем мягких минералов [5].

Испытания по дроблению кимберлитовой руды на дробилке ДКД-300 также подтвердили эффективность по степени дробления. На рис. 3 приведены кумулятивные кривые грансостава продуктов дробления дробилок ударного действия, испытанных на алмазосодержащих кимберлитах в разные годы по данным института ОАО «Иргиредмет», в сравнении с результатами дробления ДКД-300 [6, 7].

Как видно из рисунка, при дроблении на дробилке ДКД-300 получены наилучшие результаты, что подтверждает заложенный в работу дробилки новый принцип интенсивного дробления путем организации многократных воздействий в рабочей зоне дробления в режиме одновременного воздействия роторов и самоизмельчения дробимых частиц за счет контактов друг с другом.

Экспериментальные исследования процессов дробления горных пород разной крепости: известняков, черносланцевых руд, габбро (индекс относительной твердости от 3 до 8 по шкале Мооса) проводились на дробильной установке РД-МДВ-900. Для этого подготовили пробы с идентичным исходным гранулометрическим составом. Подготовленные пробы подвергли дроблению в РД-МДВ-900. Изучение динамики распределения продуктов дробления руд на дробилке ударного действия РД-МДВ-900 в зависимости от крепости производилось посредством ситового анализа по классам крупности:  $+20$  мм;  $-20 + 10$  мм;  $-10 + 5$  мм;  $-5 + 2$  мм;  $-2 + 1,6$  мм;  $-1,6 + 1$  мм;  $-1 + 0,63$  мм;  $-0,63 + 0,315$  мм;  $-0,315 + 0,1$  мм;  $-0,1 + 0,063$  мм;  $-0,063$  мм. Результаты анализа представлены в таблице.

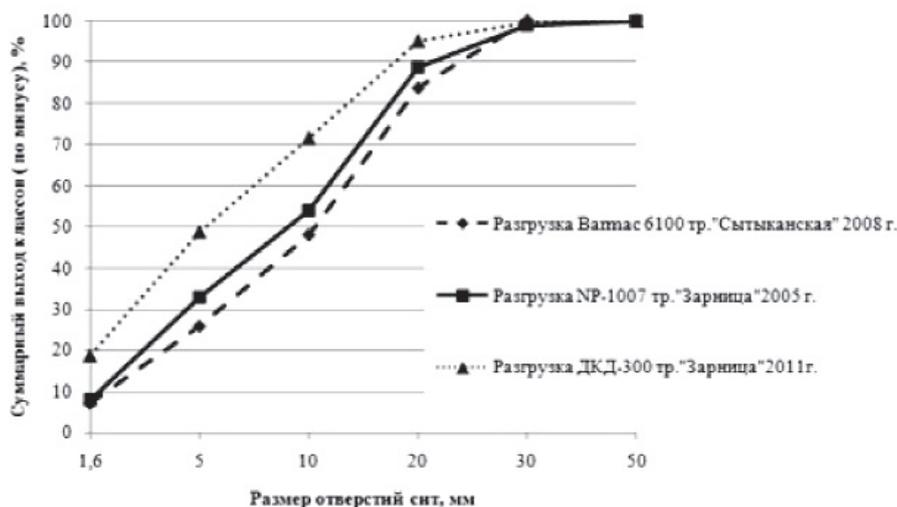


Рис. 3. Кривые крупности продуктов дробления для разного типа роторных дробилок: ДКД-300, NP-1007 и Barmac B6100 VSI

## Гранулометрическая характеристика продуктов дробления РД-МДВ-900

Классы крупности, мм	Выход, %		
	Габбро	Черносланцевая руда	Известняк
-0,063	1,17	1,40	2,19
-0,1 + 0,063	1,29	2,40	2,74
-0,315 + 0,1	5,22	5,24	5,58
-0,63 + 0,315	5,55	6,23	6,45
-1 + 0,63	4,86	5,15	5,23
-1,6 + 1	7,48	7,12	8,05
-2 + 1,6	6,96	8,37	8,62
-5 + 2	21,53	26,25	34,13
-10 + 5	37,83	30,75	27,01
+10	8,11	7,10	—
Итого	100,00	100,00	100
Степень дробления	11,88	13,07	15,58

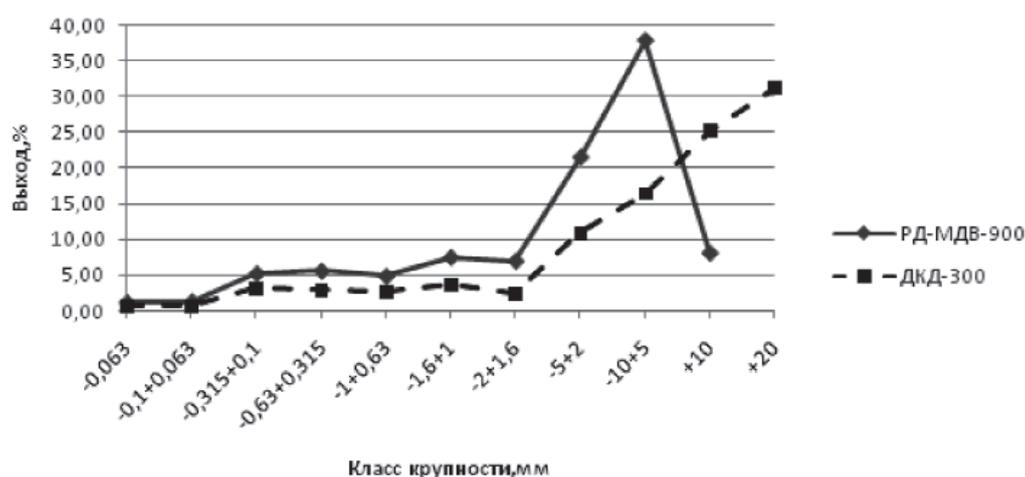


Рис. 4. Сравнительная гранулометрическая характеристика продуктов дробления дробилок РД-МДВ-900 и ДКД-300

В результате проведенных работ видна закономерность возрастания степени дробления испытуемых проб в зависимости от их крепости.

Для сравнения эффективности дробления горную породу габбро с идентичным исходным гранулометрическим составом подвергли дроблению в дробилке комбинированного ударного действия ДКД-300. Продукты дробления ДКД-300 направили на гранулометрический анализ по аналогичным классам крупности.

Из графика (рис. 4) видно, что в продуктах дробления ДКД-300 наблюдается наибольшее накопление классов крупности +20 мм, которые составляют 31,19%. В продуктах дробления РД-МДВ-900 данные классы крупности отсутствуют, это объясняется наличием в конструкции дробилки калибровочной решетки с зазором 10 мм. С наличием калибровочной

решетки также связано то, что наибольшее накопление продуктов дробления РД-МДВ-900 приходится на классы крупности -10 + 5 мм и составляет 37,83%. Однако из графика видно, что в продуктах дробления РД-МДВ-900 присутствуют классы крупности -20 + 10, которые составляют 8,11%, наличие данных классов в продуктах дробления РД-МДВ-900 объясняется тем, что они прошли колосниковую решетку из-за своей лещадной формы.

Наличие в конструкции дробилки РД-МДВ-900 колосникового грохота-питателя позволяет организовать на его поверхности интенсивные динамические контакты кусков руды друг с другом в режиме самоизмельчения, что позволяет повысить эффективность разрушения горных пород. Это подтверждается увеличенной степенью дробления в РД-МДВ-900 (11,88) по сравнению с дробилкой ДКД-300 (9,04).

Проведенные исследования по применению дробилок комбинированного ударного действия ДКД-300 и роторной дробилки РД-МДВ-900 при переработке различных геоматериалов показывают возможность существенно повысить эффективность схем рудоподготовки различного минерального сырья. При этом новый способ дробления, реализованный в конструкции дробилки РД-МДВ-900, позволяет добиться высокой степени дробления и дает возможность задавать крупность верхних классов продуктов дробления, что существенно сокращает или исключает образование циркулирующей нагрузки в схемах рудоподготовки.

#### Список литературы

1. Андреев Е.Е., Тихонов О.Н. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению: учебник для вузов. – СПб.:СПбГТИ, 2007. – 439 с.
2. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Туркин В.Я. Вибрационные дробилки. Основы расчета, проектирования и технологического применения. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. – 306 с.
3. Львов Е.С., Матвеев А.И. Изучение формирования гранулометрического состава и раскрытия минералов при дроблении руд с использованием дробилки многократного динамического действия ДКД-300 // Горн. информ. – анализ. бюл. – 2014. – № 10. – С. 112–116.
4. Матвеев А.И., Львов Е.С., Осипов Д.А., Григорьев Ю.М., Савицкий Л.В. Исследования процесса дробления кимберлитовых руд трубки «Зарница» в дробилке комбинированного ударного действия // Горный журнал. – 2012. – № 12. – С. 66–71.
5. Матвеев А.И., Львов Е.С., Осипов Д.А. Обоснование применения дробилки комбинированного ударного действия ДКД-300 в схеме сухого обогащения кимберлитовых руд трубки «Зарница» // ФТРПИ. – 2013. – № 4. – С. 107–115.
6. Патент № 2111055 РФ. Дробилка комбинированного ударного действия // Матвеев А.И., Винокуров В.П., Григорьев А.Н., Монастырев А.М // Оpubл. в БИ. – 1998. – № 14.
7. Патент № 2471561 РФ. Способ ударного дробления и дробилка для его осуществления // Матвеев А.И., Нечаев П.Б., Григорьев А.Н. // Оpubл. в БИ. – 2013.

#### References

1. Andreev E.E., Tikhonov O.N. Drobleniye, izmelcheniye i podgotovka syrya k obogashcheniyu (Crushing, grinding and preparation of raw materials for enrichment), St. Petersburg, SPbGGI, 2007, 439 p.
2. Weisberg L.A., Zarogatsky L.P., Turkin V.Y. Vibracionnye drobilki. Osnovy rascheta, proektirovaniya i tehnologicheskogo primeneniya. (Vibracionn Vibrating mills. Bases for design, engineering and technological applications), SPb: VSEGEI, 2004. 306 p.
3. Lvov E.S., Matveev A.I. Izuchenie formirovaniya granulometricheskogo sostava i raskrytija mineralov pri droblenii rud s ispolzovaniem drobilki mnogokratnogo dinamicheskogo dejstviya DKD-300 // Gorn. inform. analit. bjul. 2014. no. 10. pp. 112-116.
4. Matveev A.I., Lvov E.S., Osipov D.A. Obosnovaniye primeneniya drobilki kombinirovannogo udarnogo deystviya DKD-300 v skheme sukhogo obogashcheniya kimberlitovykh rud trubki «Zarnitsa», Fiziko-tehnicheskkiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh, 2013, no. 4, pp. 107–115.
5. Matveev A.I., Lvov E.S., Osipov D.A., Grigoriev Yu.M., Sawicki L.V. Issledovaniya protsessa drobleniya kimberlitovykh rud trubki «Zarnitsa» v drobilke kombinirovannogo udarnogo deystviya, Gornyy zhurnal, 2012, no. 12, pp. 66–71.
6. Matveev A.I., Vinokurov V.P., Grigoriev A.N., Monastirev A.M. Patent RU 2111055 B02C13/20, 20.05.1998
7. Matveev A.I., Nechaev P.B., Grigorev A.N. Patent RU 2471561 B02C13/20, 10.01.2013.