

Е.С. Львов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ КУСКОВЫХ ГЕОМАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ДРОБЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований по определению особенностей дезинтеграции кусковых геоматериалов в процессе дробления с использованием динамических воздействий, осуществляемых в дробилке ДЖД-300, разработанной в лаборатории обогащения полезных ископаемых ИГДС СО РАН. Экспериментально установлена взаимосвязь конечного гранулометрического состава дробленого материала с исходным, при котором выявлено, что при дроблении куски руды меньших размеров имеют больший выход крупных фракций продукта дробления и, напротив, с увеличением их исходных размеров наблюдается увеличение выхода мелких фракций. Показано, что при использовании ударного дробления интенсивнее разрушаются крупные фракции. Исследованиями по характеру разрушения кварцевых золотосодержащих руд и доломитового известняка при использовании ударного дробления, выявлены различия разрушения геоматериалов однородной и сложной текстуры.

Ключевые слова: дробление, дробилка, конструкция, обогащение, распределение, гранулометрическая характеристика, рудоподготовка, крупность, золото.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-154-160

В горнодобывающей, перерабатывающей и строительной промышленности, использующих для получения продукции операции дробления и измельчения, выбор оборудования связан, в основном, с возможностью снижения затрат, связанных с покупкой, обслуживанием и энергопотреблением дробильного оборудования [1–4]. В настоящее время, тенденция развития технологии, способствующих снижению затрат на рудоподготовку связана с упрощением операций дробления и измельчения в технологических схемах [5]. Снижение затрат и количества операций дробления осуществляется за счет применения оборудования с высокой степенью сокращения круп-

ности и с высокой единичной производительности. Этим требованиям удовлетворяют аппараты дробления, использующие ударный принцип дробления [6, 7].

Вместе с тем, при выборе дробилки и способа дробления, осуществляемого в ней, необходимо также учитывать такие важные параметры, как требуемые условия сокращения материала, что также связано с физико-механическими свойствами.

Исследования, по определению особенностей дезинтеграции кусковых геоматериалов в процессе дробления с использованием динамических воздействий, осуществлялись в шести роторной дробилке комбинированного удар-

ного действия ДКД-300, разработанной сотрудниками ИГДС СО РАН. В основу работы дробилки заложен принцип разрушения кусковых геоматериалов многократным свободным ударом, обеспечивающий дополнительное разрушение кусков самоизмельчением вследствие ударного взаимодействия кусков в рабочей зоне дробления друг с другом благодаря принятой системе расположения роторов в конструкции дробилки, обеспечивающие пересекающиеся траектории перемещения дробимого материала [8].

На результат дробления влияет не только прочность, абразивность, дробимость, фазовый минералогический состав руды подвергающейся дроблению, а также исходный размер дробимого материала. Особенно важно это учитывать в ударных дробилках, где заложен принцип разрушения геоматериалов свободным ударом. В этом случае энергия удара напрямую зависит от исходной крупности (массы) материала. Обычно геоматериал проходящий стадию рудоподготовки, состоит из кусков руды различной крупности, вследствие чего подвергаться разрушению они будут по-разному.

Экспериментальные работы по определению влияния исходных размеров кусков руды на выход дробленого продукта, проводились на черно-сланцевой

золотосодержащей руде и известняке. Причем руда представляет геоматериал со сложной текстурой, а известняк относительно однородным. Неоднородные текстуры также в свою очередь имеют свои особенности. Наиболее распространенными являются полосчатые и сланцеватые текстуры [9, 10].

Для определения особенностей дробления пород различной текстуры были проведены исследования на золотосодержащей руде месторождения «Гурбей» и известняке месторождения «Саасабы».

Руда месторождения «Гурбей» представлена метаморфическими сланцами различного состава (преобладают биотит-кварцевые) с вкрапленной сульфидной минерализацией (рис. 1). Текстура представленных пород сланцевая и слоистая. По данным минералогических исследований в составе пробы существенно преобладают нерудные минералы, доля которых достигает 94,04%. Основная часть породообразующих минералов представлена полевыми шпатами (23,93%), кварцем (17,85%), амфиболами и пироксенами (13,44%), слюдами (10,68%) и хлоритом (9,96%); в подчиненном количестве присутствуют гранаты (4,40%), каолинит (4,51%), карбонаты (5,71%) и ставролит (2,79%); в существенно меньшем количестве отмечаются апатит и барит.

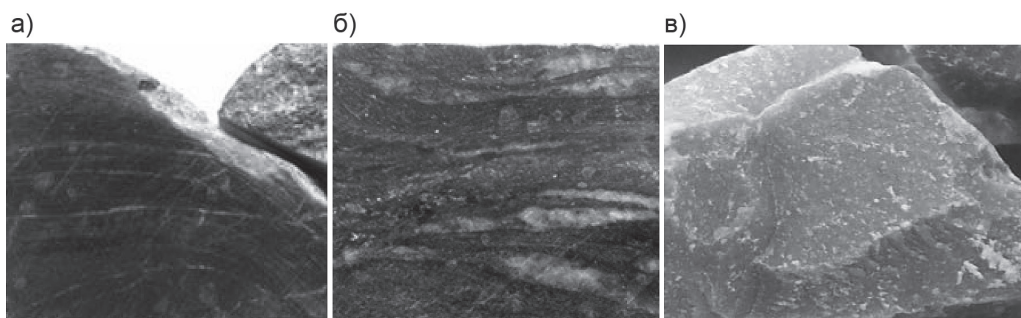


Рис. 1. Биотит-кварцевые сланцы сланцеватой текстуры (а); биотит-кварцевые сланцы полосчатой текстуры (б); доломитовый известняк с однородной массивной текстурой (в)

Fig. 1. Foliate-structure biotite-quartz schist (a); laminated-structure biotite-quartz schist (b); dolomite limestone with uniform massive texture (v)

Рудная минерализация представлена сульфидными минералами: пирротином (2,89%) и пиритом (0,94%), а также титансодержащими соединениями, преимущественно ильменитом (1,98%). В незначительном количестве (0,15% в сумме) присутствуют гидроксиды железа, халькопирит и сфалерит. Коэффициент крепости исследуемой руды, по шкале Протодьяконова, составил 6,16, что позволяет отнести руду к категории VI – «довольно крепкие породы».

Известняк месторождения Саасабыт, представлен доломитовыми известняками с однородной массивной текстурой, с коэффициентом крепости по шкале Протодьяконова –8,2.

Для проведения экспериментальных работ, исходные партии руды и известняка предварительно сортировались по классам крупности: –100+40 мм; –40+20 мм; –20+10 мм; –10+5 мм. Далее каждый класс крупности окрашивали в цвета, отличающиеся от другого класса крупности, для того чтобы после дробления произвести их идентификацию. После окрашивания производилась подготовка пробы непосредственно к дроблению путем смешивания окрашенных классов крупности с одинаковой величиной по массе.

Полученная смесь материалов разной крупности подвергалась дроблению в дробилке комбинированного ударного действия ДКД-300. Таким образом, на искусственной смеси моделировался процесс совместного дробления исходного материала разной крупности. Материал, прошедший дробление, подвергался расситовке по классам крупности. Далее каждый класс крупности идентифицировался и классифицировался по цветовому признаку с уточнением принадлежности к какому исходному классу крупности он относился до дробления. В итоге проводился анализ продуктов дробления с определением степени дроб-

ления отдельных классов крупности по полученной гранулометрии.

Проведенный гранулометрический анализ продуктов дробления черно-сланцевой руды показал, что по всем исходным классам крупности наибольший выход продробленной руды приходится на класс крупности –5 мм (табл. 1). Максимальное значение достигается для класса крупности –10+5 мм и составляет 65,57%. Однако в этом же классе крупности, наблюдается максимальный выход не продробленной руды и составляет 34,43%. Это связано с особенностью ударного дробления близкой к дезинтеграции геоматериала сложной текстуры, имеющей место при фатальном разрушении. При этом момент разрушения куска материала имеет вероятностный характер зависящий от количества и энергии механического нагружения.

Анализ продуктов дробления известняка (геоматериал относительно однородной текстуры) показал, что при дроблении классов крупностью –100+40 мм и –40+20 мм наибольший выход приходится на класс –5 мм и составляет 59,80% и 38,79% соответственно. А при дроблении классов крупностью –20+10 мм и –10+5 мм наибольший выход приходится на класс –10+5 мм и составляет 55,09% и 61,25% соответственно. Это показывает то, что 61,25% исходной руды крупностью –10+5 мм не получает достаточных ударных импульсов для разрушения в процессе дробления.

Таким образом, в результате исследований установлена взаимосвязь конечного гранулометрического состава дробленого материала с исходным, при котором выявлена, что при дроблении куски руды меньших размеров имеют больший выход крупных фракций продукта дробления и, напротив, с увеличением их исходных размеров наблюдается увеличение выхода мелких фракций. Этим результатом количественно и ка-

Таблица 1

Распределение продуктов дробления по классам крупности в %
Grain-size distribution of crushing products, %

Класс крупности продуктов дробления, мм	Выход, %							
	исходные классы крупности, мм							
	черно-сланцевая руда				известняк			
	-100+40	-40+20	-20+10	-10+5	-100+40	-40+20	-20+10	-10+5
+40	3,87	—	—	—	—	—	—	—
-40+20	16,27	13,85	—	—	10,77	12,94	—	—
-20+10	22,72	25,97	31,71	—	5,23	16,27	25,40	—
-10+5	13,41	13,85	21,14	34,43	24,20	32,00	55,09	61,25
-5	43,73	46,32	47,15	65,57	59,80	38,79	19,51	38,75
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

чественно подтверждается ранее предполагаемая гипотеза об интенсивном разрушении более крупных частиц при ударном дроблении.

Не меньший интерес вызывают особенности дробления пород различной текстуры, зависящие от условий их формирования и сказывающиеся в пространственном расположении отдельных вещественных фрагментов и составляющих породы. Другими словами, это сложение породы, обусловленное ориентировкой составных частей породы, типом их взаимного расположения, способом заполнения пространства. Вследствие чего разрушаться горные породы отлич-

ных текстур будут по-разному. В сравнении результатов дробления пород с неоднородной (черносланцевой руды) и однородной (известняк) текстурой, действительно прослеживается такая особенность. В частности, выход мелких фракций для черносланцевой золотосодержащей руды обусловлено дезинтеграцией минерально-породной текстуры тогда, когда для относительно однородной породы (известняк) наблюдается четкое накопление класс -10+5 мм, вследствие недостаточности получаемых импульсов, даже при условии высоких физико-механических характеристик показателей по шкале Мооса (меньшая степень разру-

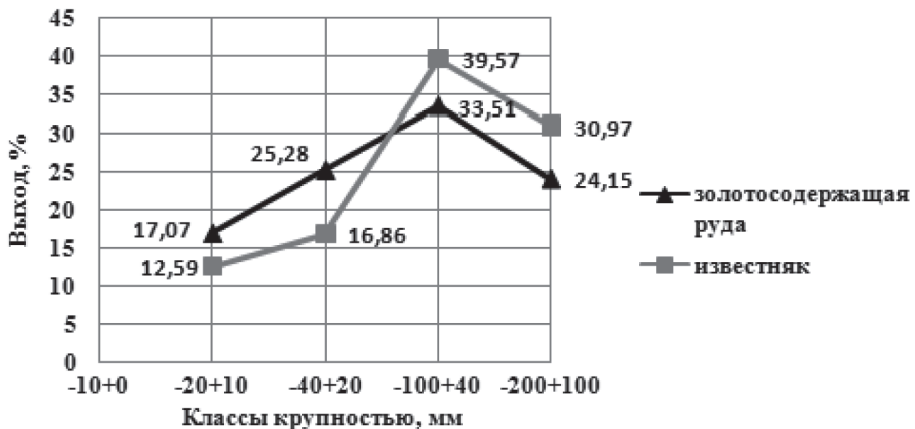


Рис. 2. Гранулометрический состав подготовленных проб
 Fig. 2. Grain-size composition of prepared samples

Таблица 2

Гранулометрический состав продуктов дробления ДКД-300
Grain size composition of crushing products in DKD-300

Класс крупности, мм	Выход, %	
	известняк	золотосодержащая руда
-0,063	2,21	2,93
-0,1+0,063	3,09	2,27
-0,315+0,1	5,12	7,35
-0,5+0,315	4,07	3,71
-1+0,5	6,78	7,46
-2+1	10,65	9,67
-5+2	11,95	20,73
-10+5	24,89	15,25
-20+10	17,75	19,85
-40+20	12,32	10,78
-100+40	1,17	
Степень дробления	9,13	8,40

шения относительно крупных фракций). Моделирование процессов дробления в смесях подтверждается и результатами испытаний для реальных пробах руд и известняка.

Для проведения эксперимента, из данных руд были подготовлены пробы крупностью $-200+10$ мм. Гранулометрический состав подготовленного материала для исследований представлен на рис. 2.

Далее подготовленные пробы прошли один цикл дезинтеграции многократным динамическим воздействием на дробилке ДКД-300.

Продукты дробления подвергли гранулометрическому анализу по классам крупности: $-100+40$ мм; $-40+20$ мм; $20+10$ 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. Результаты гранулометрического анализа представлены в табл. 2. По результатам анализа видно, что при одном цик-

ле дробления золотосодержащей руды, состоящей из сланцевой и полосчатой текстуры наибольшее накопление происходит в классе крупности $-5+2$ мм и составляет 20,73%, тогда как при дроблении доломитового известняка с однородной текстурой наибольшее накопление установлено в классе крупностью $-10+5$ мм и составляет 24,89%. При этом, в классы крупностью -5 мм переходит 54,12% продуктов дробления золотосодержащей руды, это подтверждают характер дезинтеграции породы со сложной минерально-вещественной текстурой. Выход этих же классов крупности для доломитового известняка с однородной текстурой составляет 43,87%. Однако из табл. 2 видно, что, несмотря на меньший выход мелких классов продуктов дробления известняка, степень дробления у него выше по сравнению с менее прочной золотосодержащей рудой. В этом и проявляются текстурные особенности пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайсберг Л. А., Зарогатский Л. П., Туркин В. Я. Вибрационные дробилки. Основы расчета, проектирования и технологического применения. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. — 306 с.

2. Oliveira J. F. G., Silva E. J., Guo C., Hashimoto F. Industrial challenges in grinding // *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 2009, Vol. 58, Issue 2, pp. 663–680.

3. Газалева Г. И., Цыпин Е. Ф., Червяков С. А. Рудоподготовка. Дробление, грохочение, обогащение. — Екатеринбург: ООО «УЦАО», 2014. — 914 с.

4. Андреев Е. Е., Тихонов О. Н. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению. Учебник для вузов. — СПб.: СПбГИ, 2007. — 439 с.

5. Баранов В. Ф. Обзор мировых достижений и проектов рудоподготовки новейших зарубежных фабрик // *Обогащение руд*. — 2008. — № 1. — С. 3–12.

6. Gorain V. K. Innovative Process Development in Metallurgical Industry // *Physical Processing: Innovations in Mineral Processing*. 2015, pp. 9–65.

7. Данилов А. В. Определение работы разрушения горных пород под воздействием динамических нагрузок // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2010. — № 8. — С. 260–263.

8. Матвеев А. И., Винокуров В. П., Григорьев А. Н., Монастырев А. М. Патент № 2111055 РФ. Дробилка комбинированного ударного действия. Оpubл. в БИ 1998. № 14.

9. Кузнецов В. Г. Литология. Осадочные горные породы и их изучение: Учебное пособие для вузов. — М.: ООО «Недра Бизнес центр», 2007. — 511 с.

10. Чернышов А. И., Вологодина И. В. Структуры и текстуры магматических и метаморфических горных пород: учебно-методическое пособие. — Томск: Издательский Дом ТГУ, 2014. — 36 с.

11. Львов Е. С., Матвеев А. И. Изучение формирования гранулометрического состава и раскрытия минералов при дроблении руд с использованием дробилки многократного динамического действия ДКД-300 // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2014. — № 10. — С. 112–116. **ИЗВ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Львов Евгений Степанович — младший научный сотрудник, e-mail: Ivotes@bk.ru, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения РАН.

ISSN 0236-1493. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018. No. 11, pp. 154–160.

Features of disintegration of lumpy geomaterials in crushing under dynamic effects

Lvov E.S., Junior Researcher, e-mail: Ivotes@bk.ru, Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 677018, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia.

Abstract. The article presents the experimental research data on determination of disintegration characteristics of lumpy geomaterials in crushing under dynamic effects using DKD-300 crusher designed at the Mineral Dressing Laboratory of the Institute of Mining of the North, SB RAS. The experimentally revealed interconnection between the grain-size compositions of the initial and crushed materials shows that disintegration of smaller size lumps results in the higher yield of larger particles while crushing of larger size ore produces the increased yield of fines. The studies demonstrate that larger particles disintegrate more intensively under impact crushing. The studies into the nature of failure of gold-bearing quartz ore and dolomite limestone under the impact crushing reveals differences in disintegration of geomaterials of uniform and complex texture.

Key words: crushing, crusher, design, dressing, distribution, granulometric characteristic, ore pretreatment, size, gold.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-154-160

REFERENCES

1. Vaysberg L. A., Zarogatskiy L. P., Turkin V. Ya. *Vibratsionnye dробилки. Osnovy rascheta, proektirovaniya i tekhnologicheskogo primeneniya* [Vibratory crushers. Fundamentals of design, engineering and application], Saint-Petersburg, VSEGEI, 2004, 306 p.

2. Oliveira J. F. G., Silva E. J., Guo C., Hashimoto F. Industrial challenges in grinding. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 2009, Vol. 58, Issue 2, pp. 663–680.

3. Gazaleeva G. I., Tsy-pin E. F., Chervyakov S. A. *Rudopodgotovka. Droblenie, grokhochenie, obogashchenie* [Ore pretreatment. Crushing, screening, concentration], Ekaterinburg, ООО «УЦАО», 2014, 914 p.

4. Andreev E. E., Tikhonov O. N. *Droblenie, izmel'chenie i podgotovka syr'ya k obogashcheniyu*. Uchebnik dlya vuzov [Crushing, milling and preparation of raw materials for dressing. Textbook for high schools], Saint-Petersburg, SPbGGI, 2007, 439 p.

5. Baranov V. F. *Obzor mirovykh dostizheniy i proektov rudopodgotovki noveyshikh zarubezhnykh fabrik* [Review of international achievements and projects in ore pretreatment at brand-new foreign plants], *Obogashchenie rud*. 2008, no 1, pp. 3–12. [In Russ].

6. Gorain B. K. *Innovative Process Development in Metallurgical Industry, Physical Processing: Innovations in Mineral Processing*. 2015, pp. 9–65.

7. Danilov A. V. *Opreделение raboty razrusheniya gornyx porod pod vozdeystviem dinamicheskikh nagruzok* [Determination of rock failure work under dynamic loading], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2010, no 8, pp. 260–263. [In Russ].

8. Matveev A. I., Vinokurov V. P., Grigor'ev A. N., Monastirev A. M. *Patent RU 2111055*, 1998.

9. Kuznetsov V. G. *Litologiya. Osadochnye gornye porody i ikh izuchenie: Uchebnoe posobie dlya vuzov* [Lithology. Sedimentary rocks and analyses: Higher educational aid], Moscow, OOO «Nedra Biznes tsentr», 2007, 511 p.

10. CHernyshov A. I., Vologdina I. V. *Struktury i tekstury magmatischeskikh i metamorficheskikh gornyx porod: uchebno-metodicheskoe posobie* [Structure and texture of magmatic and metamorphic rocks: Educational and methodical manual], Tomsk, Izdatel'skiy Dom TGU, 2014, 36 p.

11. L'vov E. S., Matveev A. I. *Izucheniye formirovaniya granulometricheskogo sostava i raskrytiya mineralov pri droblenii rud s ispol'zovaniem drobilki mnogokratnogo dinamicheskogo deystviya DKD-300* [Studies into formation of grain-size composition and dissociation of minerals under crushing using multiple dynamic effect crusher DKD-300], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 10, pp. 112–116. [In Russ].



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА КАК ГЛАВНЫЙ ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

(2018, № 6, СВ 34, 28 с.)

Агафонов Валерий Владимирович — доктор технических наук, профессор, МГИ НИТУ «МИСиС»,
Ошаров Алексей Владимирович — ведущий инженер, МГИ НИТУ «МИСиС»,
Захаров Святослав Игоревич — кандидат экономических наук, зав. лабораторией,
НИИОГР (г. Челябинск), e-mail: svzakharov@bk.ru.

Предложена схема влияния организационной структуры угольного разреза на его конкурентоспособность, описывающая механизм достижения заданных параметров технико-экономической эффективности производства при согласовании целей и стратегии развития компании с функционалом руководителя и работников. Представлены основные типы организационных структур угольного разреза, описано содержание и результаты функционирования организационных структур дестабилизирующего, стабилизирующего и развивающего типов. Описана методика совершенствования организационной структуры угольного разреза и блок-схема ее реализации. Рассмотрены результаты апробации методики совершенствования организационной структуры на угольном разрезе «Изыкский» за период 2013—2017 гг.

Ключевые слова: конкурентоспособность, технико-экономическая эффективность, организационная структура, функционал, рабочее время, преобразование, угольный разрез.

REORGANIZATION AS A KEY FACTOR OF TECHNICAL-AND-ECONOMIC INTENSIFICATION OF OPEN PIT COAL MINE

*Agafonov V.V.*¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, *Osharov A.V.*¹, Leading Engineer,
Zakharov S.I., Candidate of Economic Sciences, Head of Laboratory, Organization and Remuneration
Opencast Mining, Chelyabinsk, Russia, e-mail: svzakharov@bk.ru.

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISI», 119049, Moscow, Russia.

The proposed scheme of influence of the organizational structure on the competitive ability of an open pit coal mine describes the mechanism of reaching the preset technical-and-economic efficiency given the targets and strategy of the mine development agree with the functionalities of the mine manager and personnel. The key types of organizational structures are presented for an open pit mine, and the content and performance of the destabilizing, stabilizing and evolutive organizational structures are described. The improvement procedure and the implementation block-diagram for the organizational structure of an open pit coal mine includes. The test results of the organizational structure improvement procedure at Izykhsy open pit coal mine in 2013–2017 are discussed.

Key words: competitive ability, technical-and-economic efficiency, organizational structure, functionality, action time, manager, modification, production engineering, open pit coal mine.