

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДРОБИЛОК УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ ДАУ-250 И ДКД-300 НА ПОКАЗАТЕЛИ ДРОБЛЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

Матвеев А.И., Львов Е.С.

*Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск*

Ключевые слова: дробление, дробилка, дезинтеграция, рудоподготовка, обогащение, гранулометрическая характеристика, степень дробления, удельный расход энергии.

Аннотация. Целью работы является определение влияния производительности ударных дробилок ДАУ-250 и ДКД-300 на показатели дробления золотосодержащих руд. При обработке двух типов золотосодержащих руд с коэффициентом крепости по шкале М. Протодяконова 9 и 16 определили показатели дробления: степень дробления и удельный расход энергии при дроблении в данных аппаратах. Определены рациональные уровни производительности дробилок ДАУ-250 и ДКД-300 при дроблении золотосодержащих руд с кварцевой матрицей с включением разных рудных минералов. Установлено, что по степени дробления и удельному расходу электроэнергии наиболее рациональными производительностями являются для руд с коэффициентом крепости 16 для дробилки ДАУ-250 – 0,8 т/ч, для дробилки ДКД-300 – 6 т/ч., для руд с коэффициентом крепости 9 – для дробилки ДАУ-250 – 1 т/ч, для дробилки ДКД-300 – 6 т/ч.

STUDY ON THE IMPACT OF PRODUCTIVITY OF IMPACT CRUSHERS DAU-250 AND DKD-300 ON THE CRUSHING PERFORMANCE OF GOLD-BEARING ORES

Matveev A.I., Lvov E.S.

*N.V. Chersky Institute of Mining of the North of Siberian Branch of the Russian Academy of Science,
Yakutsk*

Keywords: crushing, crusher, disintegration, ore preparation, enrichment, granulometric characteristics, degree of crushing, specific energy consumption.

Abstract. The aim of the work is to determine the influence of the productivity of the impact crushers DAU-250 and DKD-300 on the crushing indices of gold-bearing ores. When processing two types of gold-bearing ores with a strength coefficient according to the M. Protodyakonov scale of 9 and 16, the crushing indices were determined: the degree of crushing and the specific energy consumption during crushing in these devices. Rational levels of productivity of the crushers DAU-250 and DKD-300 were determined when crushing gold-bearing ores with a quartz matrix with the inclusion of different ore minerals. It has been established that in terms of the degree of crushing and specific energy consumption, the most rational productivity is for ores with a strength factor of 16 for the DAU-250 crusher – 0.8 t/h, for the DKD-300 crusher – 6 t/h, for ores with a strength factor of 9 – for the DAU-250 crusher – 1 t/h, for the DKD-300 crusher – 6 t/h.

Введение

В горнорудной и строительной промышленности, в тех областях где необходимо сократить размер используемого сырья применение дробильно-измельчительного оборудования влечёт за собой большие капитальные и энергетические затраты. При этом дробление – это основной этап первичной подготовки рудного сырья, применяемый в металлургии и горнодобывающей промышленности. Его основная цель при дроблении – сокращение исходной крупности рудных материалов для более широкого раскрытия полезных компонентов (минералов) на последующих стадиях измельчения, однако раскрытие полезных компонентов является главной задачей особенно для руд с относительно крупной вкрапленностью полезных компонентов. Чем полнее раскрываются минералы на стадии дробления, тем эффективнее система рудоподготовки и тем выше результаты дальнейшей переработки. На некоторых рудниках потребление энергии только на процесс

рудоподготовки может достигать 50% от всех затрат на обогащение полезных ископаемых. В условиях роста цен на энергоресурсы многие предприятия стремятся сократить энергопотребление для снижения себестоимости продукции и это в первую очередь относится к процессам рудоподготовки [1-3]. Установлено, что применение дробилок с новым принципом работы – реализация способа многократного динамического воздействия позволяет повысить эффективность процесса рудоподготовки. Эффект, прежде всего, связан с созданием режима дезинтеграции – разрушением геоматериалов по наиболее слабым механическим связям: по дефектам текстуры и структуры и по границам минералов, при этом раскрытые минералы в большинстве случаев максимально сохраняют исходную гранулометрию, обеспечивая более эффективное последующее извлечение ценных компонентов. В конечном счете использование новых дробилок позволяет сократить стадийность дробления, в некоторых случаях за счет возможности объединения стадий среднего и мелкого дробления в одну т.е. в одном аппарате дробления [4, 5]. В условиях растущего внимания к вопросам энергосбережения, повышение эффективности дробления, снижение энергопотребления становятся приоритетными задачами в данных отраслях [6,7].

Цель исследования

Определение рациональных рабочих параметров работы аппаратов ударного дробления в зависимости от загрузки.

Материал и методы исследования

В настоящее время существует множество общепринятых методов оценки энергоэффективности механического дробления [8, 9]. Главными из них является степень дробления, при этом очень часто используются энергетические характеристики, в частности критерий Бонда.

Объектом исследования явились трех роторная дробилка ДАУ-250 и шести роторная дробилка ДКД-300.

Схема устройства дробилки ДАУ-250 представлена на рисунке 1. Принцип её работы заключается в следующем: загруженные куски руды, поступая через наклонный лоток в область первичного ротора, подвергаются ударному воздействию. Особенность дробилки ДАУ-250 заключается в том, что отражательный удар происходит не о статичную поверхность, а о вторичный ротор, который активно участвует в процессе дробления, придавая дополнительный импульс частицам. Благодаря этому дробление становится более направленным и эффективно использует энергию, что дало название «активный удар».

Под влиянием роторного импульса частицы выбрасываются вверх, где они попадают в зону вторичных роторов и испытывают отражательный удар. При синхронном вращении роторов угол удара составляет около $90 \pm 10^\circ$, что обеспечивает максимальный контакт между ротором и частицами материала. Это по сути аппарат двухактного действия в открытом режиме работы. Основное разрушение материала происходит за счет ударно-отражательного взаимодействия, хотя некоторая часть материала разрушается истиранием в закрытом режиме работы. В случае закрытого варианта (при разгрузке дробленого материала через калиброванное отверстие) процесс дробления происходит многократным повторением динамических воздействий.

В ходе экспериментальных работ дробилка работала в открытом режиме.

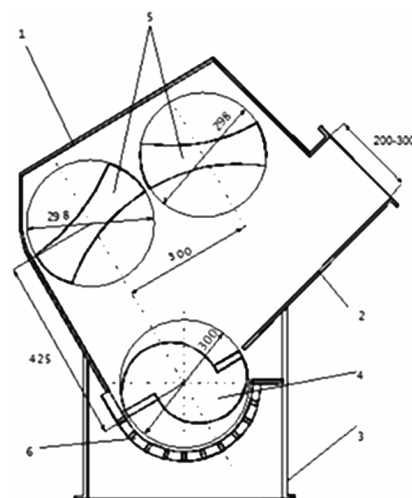


Рис. 1. Схематическая конструкция дробилки ДАУ-250: 1 – корпус дробилки; 2 – загрузочный патрубкок; 3 – разгрузочный отсек; 4 – первичный ротор; 5 – вторичные ротора; 6 – разгрузочное решето

Дробилка ДКД-300 (рис. 2) включает корпус с делителем исходного материала, который равномерно распределяет руду на два потока для подачи к роторам первичного дробления. В состав конструкции входят ротора первичного, нижнего и верхнего дробления, а также разгрузочный патрубок. Оси вращения роторов симметрично расположены по окружности относительно вертикальной оси корпуса, что создает зону с множественными столкновениями частиц. Благодаря синхронному вращению роторов, процесс дробления в ДКД-300 организован таким образом, что частицы руды многократно подвергаются ударам как от роторов, так от столкновения друг с другом, что увеличивает степень разрушения руды.

В рамках исследования энергоэффективности процессов дробления в аппаратах ударного действия были проведены эксперименты на образцах золотосодержащих руд месторождения Дуэтское. Образцы руд данного месторождения были предварительно разделены на типы по их минеральному составу: темно-серый песчаник и жильный кварц.

На начальном этапе исследований была проведена оценка физико-механических характеристик образцов руд. В частности, измерены коэффициенты крепости по шкале Протодяконова, которые составили для руды с темно-серым оттенком с преобладанием вмещающих горных пород – 16, для кварцжильной разновидности руды – 9.

Результаты исследования

Исследования по эффективности дезинтеграции золотосодержащих руд в зависимости от режимов производительности проводились на дробильных установках ДАУ-250 и ДКД-300, каждая из которых имела фиксированные значения производительности по загрузке: минимальную, среднюю и максимальную. Для дробилки ДАУ-250 это значения производительности 0,5 т/ч, 0,8 т/ч и 1 т/ч. Показатели производительности для дробилки ДКД-300 составляли 3 т/ч, 6 т/ч и 10 т/ч. Исходная средняя крупность подготовленных проб для дробилки активного удара ДАУ-250 составляла 50 мм. Размеры кусковых образцов для проведения испытаний в ДКД-300 варьировались в пределах 80-110 мм.

В ходе экспериментов регулярно замерялся расход электроэнергии для оценки удельных затрат на разрушение руд, исключая энергопотребление на холостой ход. После завершения дробления продукты подвергали ситовому анализу для определения их гранулометрического состава, что позволило детально оценить распределение размеров частиц. На основе данных ситового анализа были рассчитаны показатели степени дробления для каждого вида рудных образцов. Результаты гранулометрического анализа продуктов дробления на установки ДАУ-250 представлены в таблице 1.

В результате гранулометрического анализа продуктов дробления аппарата ДАУ-250 и расчете степени дробления, видно, что степень дробления зависит как от механических свойств испытуемого материала (крепости), так и от условий дробления.

Так для образцов руд с коэффициентом крепости 16 степень дробления в пределах (5,29-5,63), что ниже, чем у образцов с коэффициентом крепости 9 (7,53-8,15). При этом, наибольшая степень дробления достигается при производительности 0,8 т/ч. Наименьшая степень дробления осуществляется при минимальной производительности 0,5 т/ч, это объясняется, тем что при такой производительности, объем руды подвергающейся дроблению не достаточен, для заполнения рабочей камеры дробилки, чтобы получать разрушающие импульсы как от

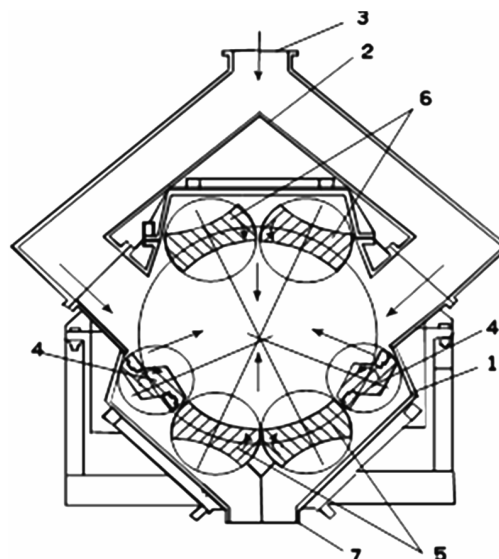


Рис. 2. Схематическая конструкция дробилки ДКД-300: 1 – корпус дробилки; 2 – делитель потока; 3 – загрузочный патрубок; 4 – первичные ротора; 5 – нижняя пара роторов; 6 – верхняя пара роторов; 7 – разгрузочный патрубок

рабочих органов, так и кусов руды между собой. Таким образом, при дроблении образцов золотосодержащих руд с крепостью 9 и 16 по шкале Протодяконов на дробилке ДАУ-250, при производительности 0,8 т/ч создаются условия, при которых взаимодействие дробимого материала с рабочими органами аппарата являются наиболее эффективными.

В таблице 2 представлены результаты гранулометрического анализа продуктов дробления ДКД-300.

Табл. 1. Гранулометрические составы продуктов дробления ДАУ-250 в зависимости от производительности

Класс крупности, мм	Выход, %					
	Образцы с коэффициентом крепости 9			Образцы с коэффициентом крепости 16		
	1 т/ч	0,8 т/ч	0,5 т/ч	1 т/ч	0,8 т/ч	0,5 т/ч
-0,05	1,17	1,26	1,04	1,26	1,11	0,67
-0,1+0,05	1,94	2,07	1,73	1,79	1,48	1,44
-0,2+0,1	3,24	3,68	3,80	3,05	2,96	2,78
-0,315+0,2	3,47	3,93	3,97	3,21	3,27	3,45
-0,63+0,315	6,44	7,25	7,34	5,24	5,44	5,75
-1+0,63	5,63	5,99	6,22	7,56	7,29	7,00
-2+1	12,11	12,29	11,92	6,22	6,55	6,52
-3,2+2	11,44	11,64	10,45	8,74	8,89	8,82
-5+3,2	14,27	12,95	12,35	14,67	13,90	12,75
-7+5	6,75	6,15	5,70	3,07	2,90	4,03
-10+7	12,20	11,54	12,61	11,19	12,72	11,70
-20+10	18,19	18,09	17,96	22,97	22,73	21,70
-40+20	3,15	3,17	4,92	11,03	10,75	13,40
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Степень дробления	7,88	8,15	7,53	5,51	5,63	5,29

Табл. 2. Гранулометрические составы продуктов дробления ДКД-300 в зависимости от производительности

Класс крупности, мм	Выход, %					
	Образцы с коэффициентом крепости 9			Образцы с коэффициентом крепости 6		
	10 т/ч	6 т/ч	3 т/ч	10 т/ч	6 т/ч	3 т/ч
-0,05	0,79	0,75	0,71	0,83	1,05	1,09
-0,1+0,05	0,99	1,12	1,09	0,95	1,14	1,01
-0,2+0,1	1,94	2,27	2,17	1,77	2,08	1,48
-0,315+0,2	2,07	2,42	2,32	1,96	2,28	2,13
-0,63+0,315	3,82	4,41	4,16	3,37	3,97	2,65
-1+0,63	5,25	5,90	5,58	4,36	5,10	3,82
-2+1	5,64	6,26	6,50	4,97	5,12	4,49
-3,2+2	8,21	8,60	9,21	6,77	7,78	9,02
-5+3,2	11,54	12,82	13,41	10,68	11,68	15,47
-7+5	5,11	4,07	4,72	4,06	4,70	7,84
-10+7	11,39	11,21	12,40	10,63	12,04	14,32
-20+10	25,40	24,29	26,46	25,21	22,37	20,51
-40+20	13,09	13,75	9,33	19,42	16,08	13,23
-60+40	4,73	2,11	1,94	5,02	4,61	2,93
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Степень дробления	8,09	9,23	9,89	6,78	8,79	8,92

Гранулометрический анализ продуктов дробления аппарата ДКД-300 так же показал, что эффективность дробления материала определяется не только его прочностными характеристиками, но и режимными параметрами процесса дробления, прежде всего, степенью загруженности (производительностью). Образцы руд с коэффициентом крепости 16 имеют степень дробления в диапазоне 6,78-8,92, что ниже, чем у образцов с коэффициентом крепости 9, у которых этот показатель варьируется от 8,09 до 9,89. Однако в отличие от показателей дробления в ДАУ-250 в аппарате ДКД-300, минимальная степень дробления наблюдается при максимальной производительности 10 т/ч. Это связано с конструктивной особенностью дробилки при котором траектории движения частиц после получения динамических контактов между роторами (верхним отражающим и нижним первичными роторами) происходит практически по одной линии и при высокой степени загруженности дробилки скорости движения частиц взаимно снижаются (гасятся) за счет чего существенно снижается импульс при встрече с рабочей поверхностью роторов.

Сравнительный анализ по степени дробления при минимальной и средней значениях загруженности, показал, что они практически близки 8,92 при 3 т/ч, 8,79 при 6 т/ч для образцов руды с коэффициентом крепости 16 и 9,89 при 3 т/ч, 9,23 при 6 т/ч для образцов руды с коэффициентом крепости 9. Более детальное изучение гранулометрических характеристик продуктов дробления золотосодержащих руд, выявило, что наибольший выход классов крупностью -1 мм, который часто представляет собой наиболее подготовленный материал для последующего обогащения по степени раскрытия в нем полезных компонентов [10], образуются при дроблении с производительностью 6 т/ч (рис. 3).

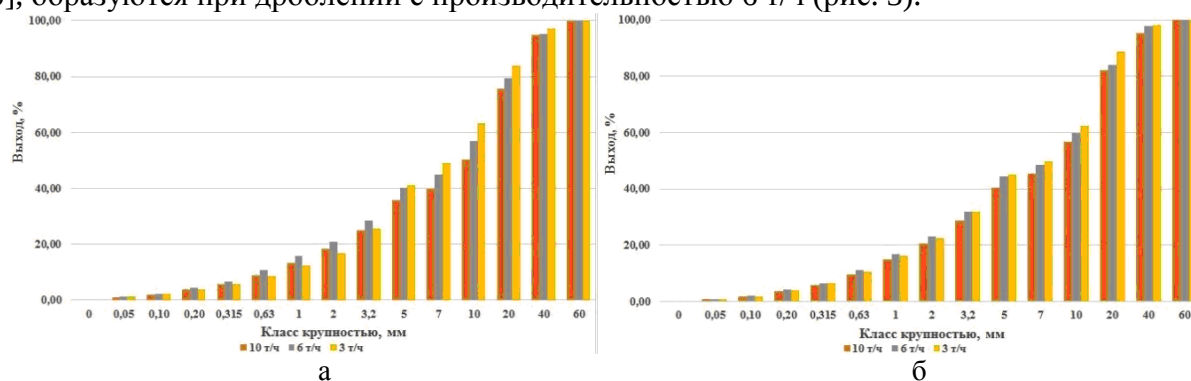


Рис. 3. Кумулятивная характеристика продуктов дробления ДКД-300 по минусу:

а – образцы руды с преобладанием вмещающих горных пород, б – образцы кварцжильной руды

Таким образом, для дробления золотосодержащих руд с крепостью 9 и 16 по шкале Протодяконова наиболее эффективные условия работы дробилки ДКД-300 достигаются при производительности 6 т/ч. В этих условиях взаимодействие материала с рабочими органами аппарата наиболее интенсивное, что связано с оптимальным количеством материала в рабочей камере и активным взаимодействием разрушаемых кусков как с рабочими органами дробилки, так и между собой в режиме самоизмельчения.

Для определения оптимальных режимов дробления, помимо показателей дробления важно учитывать и энергетические затраты. Для этих целей во время работы дробилок, замеряли расход электроэнергии. Результаты расчетов по расходу электроэнергии представлены в таблице 3.

По данным из таблицы 3 видно, что коэффициент крепости напрямую влияет на количество энергии, необходимой для её дробления. Мы видим, образцы руды с коэффициентом крепости 16 требует больше энергии для дробления, удельный расход энергии колеблется в диапазоне от 1,334 до 1,717 кВт·ч/т для ДАУ-250 и 0,949 до 1,313 кВт·ч/т для ДКД-300. При дроблении руд с коэффициентом крепости 9, требуется меньше энергии, в диапазоне от 0,805 до 0,935 кВт·ч/т для ДАУ-250 и 0,700 до 1,112 кВт·ч/т для ДКД-300.

Табл. 3. Показатели энергоэффективности дробилок ДАУ-250 и ДКД-300

Коэффициент крепости испытываемых образцов руды	Наименование дробилки	Производительность, т/ч	Удельный расход энергии, кВт·ч/т	Эффективность дробления, т/кВт·ч
16	ДКД-300	10	0,949	1,053
		6	1,000	1,000
		3	1,313	0,761
	ДАУ-250	1	1,717	0,582
		0,8	1,334	0,750
		0,5	1,571	0,637
9	ДКД-300	10	0,700	1,429
		6	0,902	1,108
		3	1,112	0,899
	ДАУ-250	1	0,805	1,242
		0,8	0,870	1,150
		0,5	0,935	1,069

Также на энергоэффективность влияет производительность дробилок, экспериментальными исследованиями показано, что максимальный удельный расход энергии и соответственно минимальная эффективность дробления осуществляется для аппарата ДКД-300 при производительности 3 т/ч и составляет 1,313 кВт·ч/т и 0,761 т/кВт·ч для руды коэффициентом крепости 16, и 1,112 кВт·ч/т и 0,899 т/кВт·ч для руды коэффициентом крепости 9. Наименьший удельный расход и наибольшая эффективность дробления для аппарата ДКД-300 при производительности 10 т/ч.

Для аппарата ДАУ-250 максимальный удельный расход энергии и соответственно минимальная эффективность дробления при производительности 1 т/ч – 1,717 кВт·ч/т и 0,582 т/кВт·ч для руды коэффициентом крепости 16, и при производительности 0,5 т/ч – 0,935 кВт·ч/т и 1,069 т/кВт·ч для руды коэффициентом крепости 9. Минимальный удельный расход и максимальная эффективность дробления для руды коэффициентом крепости 16 при производительности 0,8 т/ч и составляет 1,334 кВт·ч/т и 0,750 т/кВт·ч, для руды коэффициентом крепости 9 при производительности 1 т/ч – 0,805 кВт·ч/т и 1,245 т/кВт·ч соответственно.

Выводы

Для максимальной эффективности процесса дробления нужно определить оптимальное соотношение между показателями дробления и энергетическими затратами.

Так на примере представленных типов золотосодержащих руд, при дроблении на дробилке ДАУ-250 сравнение показателей дробления и энергоэффективности, показало, что для образцов руды с преобладанием вмещающих горных пород и коэффициентом крепости - 16, рационально соотношение при уровне производительности 0,8 т/ч, здесь достигается максимальная эффективность дробления (0,750 т/кВт·ч) при наибольшей степени дробления (5,63) для данных образцов в этом аппарате. Для жильного кварца с коэффициентом крепости 9 оптимальный баланс осуществляется при производительности 1 т/ч, где эффективность дробления максимальна (1,245 т/кВт·ч) при приемлемой степени дробления (7,88).

Для дробилки ДКД-300 при дроблении представленных двух типов минеральных образований максимальная эффективность достигается при производительности 10 т/ч (1,053 т/кВт·ч и 1,429 т/кВт·ч), но при данной производительности наименьшие показатели степени дробления (6,78 и 8,09). В тоже время максимальная степень дробления данных типов руд осуществляется при производительности 3 т/ч и составляет 8,92 для руды с преобладанием вмещающих горных пород и коэффициентом крепости 16, и 9,89 для жильного кварца с коэффициентом крепости 9, но при данной производительности

максимальный удельный расход энергии и минимальная эффективность дробления 0,761 т/кВт·ч и 0,899 т/кВт·ч соответственно.

Таким образом, по совокупности энергетических показателей и показателей дробления, также принимая во внимание кумулятивную характеристику продуктов дробления, оптимальной производительностью при дроблении данных типов руд в аппарате ДКД-300 является 6 т/ч. При данной производительности, рациональное соотношение между показателями дробления и энергозатратами, которые составляют для жильного кварца 1,108 т/кВт·ч при степени дробления 9,23, для руды с преобладанием вмещающих горных пород 1 т/кВт·ч при степени дробления 8,79.

Заключение

Определение наиболее эффективных параметров дробления для каждой дробилки зависят от типа руды и оптимального соотношения между эффективностью и степенью дробления.

При дроблении в дробилке активного удара ДАУ-250 золотосодержащих руд, представленных основными пороодообразующими минералами (темно-серым песчаником и жильным кварцем), определена оптимальная производительность для руды с преобладанием вмещающих горных пород – 0,8 т/ч, для руды кварцжильного типа – 1 т/ч.

В дробилке комбинированного ударного действия ДКД-300 при производительности 6 т/ч достигается лучший баланс между этими показателями, что делает её оптимальной для представленных типов минеральных составляющих руд.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №0297-2021-0022, ЕГИСУ НИОКТР №122011800089-2) с использованием оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН и в рамках программы комплексных научных исследований в РС(Я), направленных на развитие производительных сил и социальной сферы на 2021-2024 гг. (проект №4, этап 2, ЕГИСУ НИОКТР №АААА-Б-17-217060520052-0).

Список литературы

1. Земсков А.Н., Иванов А.В. Современные тенденции развития отечественного горного машиностроения // Горная Промышленность. – 2018. – №3(139). – С. 50-54.
2. Чантурия В.А., Козлов А.П. Развитие физико-химических основ и разработка инновационных технологий глубокой переработки техногенного минерального сырья // Горный журнал. – 2014. – № 7. – С. 79-84.
3. Мамонов С.В., Закирничный В.Н., Метелев А.А., Дресвянкина Т.П., Волкова С.В., Кузнецов В.А., Зиятдинов С.В. Перспективные технологии раскрытия минерального сырья при подготовке к флотационному обогащению // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – №5. – С. 158-169.
4. Матвеев А. И., Львов Е. С. Дезинтеграция геоматериалов при рудоподготовке – роль и значение // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2019. – Т. 6, №3. – С. 301-307. – doi.org/10.1080/17480930.2020.1782573.
5. Львов Е.С. Определение особенностей дезинтеграции кусковых геоматериалов в процессе дробления с использованием динамических воздействий// Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 11. – С. 154-160. – DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-154-160.
6. Каллаев И.Т., Струк Г.В., Николаева Н.В. Современные тенденции в области рудоподготовки комплексных медных руд // Успехи современного естествознания. – 2024. – № 4. – С. 101-112. – DOI: 10.17513/use.38255.
7. Бортников А.В., Самуков А.Д. Методический подход к выбору рациональной технологии и схемы рудоподготовки // Обогащение руд. – 2010. – № 2. – С. 3-7.
8. Зобнин Б.Б., Горбенко О.А., Ажипа И.А., Батморон А. Статистическое управление технологическим процессом дробления руд // Естественные и технические науки. – 2015. – № 7(85). – С. 52-57.
9. Липатов А. Г., Фурин В. О., Холодков А. А., Журавлев А. Г. Инновационные решения в повышении эффективности крупного дробления на железорудных горно-обогатительных комбинатах // Горная промышленность. – 2023. – № 3. – С. 93-100. – DOI: 10.30686/1609-9192-2023-3-93-100.
10. Матвеев А.И., Львов Е.С., Заикина А.В. Особенности механического разрушения золотосодержащих руд месторождения Гурбей ударными динамическими воздействиями // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2021 – № 2. – С. 141-151.

References

1. Zemskov A.N., Ivanov A.V. Modern trends in the development of domestic mining engineering // Mining Industry. 2018, no. 3(139), pp. 50-54.
2. Chanturia V. A., Kozlov A. P. Development of physical and chemical foundations and development of innovative technologies for deep processing of technogenic mineral raw materials // Mining Journal. 2014, no. 7, pp. 79-84.
3. Mamonov S.V., Zakirnichny V.N, Metelev A.A., Dresvyankina T. P., Volkova S.V., Kuznetsov V.A., Ziyatdinov S.V. Advanced technologies for the disclosure of mineral raw materials in preparation to flotation enrichment // Physical and technical problems of the development of useful minerals. 2019, no. 5, pp. 158-169.
4. Matveev A.I., Lvov E.S. Disintegration of geomaterials during ore preparation - the role and significance // Fundamental and Applied Problems of Mining Sciences. 2019, vol. 6, no. 3, pp. 301-307. doi.org/10.1080/17480930.2020.1782573.
5. Lvov E.S. Determination of the features of disintegration of lump geomaterials during crushing using dynamic influences // Mining information and analytical bulletin. 2018, no. 11, pp. 154-160. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-154-160.
6. Kallaev I.T., Struk G.V., Nikolaeva N.V. Modern trends in the field of ore preparation of complex copper ores // Advances in modern natural science. 2024, no. 4, pp. 101-112. DOI: 10.17513/use.38255.
7. Bortnikov A.V., Samukov A.D. Methodological approach to the selection of rational technology and ore preparation schemes // Obogashchenie Rud. 2010, no. 2, pp. 3-7.
8. Zobnin B.B., Gorbenko O.A., Azhipa I.A., Batmoron A. Statistical control of the technological process of ore crushing // Natural and technical sciences. 2015, no. 7(85), pp. 52-57.
9. Lipatov A.G., Furin V.O., Kholodkov A.A., Zhuravlev A.G. Innovative solutions to increase the efficiency of large crushing at iron ore mining and processing plants // Mining Industry. 2023, no. 3, pp. 93-100. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-3-93-100.
10. Matveev A.I., Lvov E.S., Zaikina A.V. Features of mechanical destruction of gold ores of the Gurbey deposit by shock dynamic influences // Physical and technical problems of mineral development. 2021, no. 2, pp. 141-151.

Сведения об авторах:

Матвеев Андрей Иннокентьевич – доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории обогащения полезных ископаемых

Львов Евгений Степанович – научный сотрудник лаборатории обогащения полезных ископаемых

lvoves@bk.ru

Information about authors:

Matveev Andrey Innokentievich – doctor of technical sciences, senior researcher, chief researcher of the mineral processing laboratory

Lvov Evgeny Stepanovich – researcher at the mineral processing laboratory

Получена 05.11.2024