

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБРАЗЦОВ НА АППАРАТАХ С УДАРНЫМ ПРИНЦИПОМ РАБОТЫ ДАУ-250 И ДКД-300

Матвеев А.И., Львов Е.С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск

Ключевые слова: разрушение, дробилка, дезинтеграция, раскрытие, рудоподготовка, обогащение, гранулометрическая характеристика.

Аннотация. Апробация ранее предложенной методики определения степени дезинтеграции на примере дробления рудных образцов с различными коэффициентами крепости золоторудных месторождений Дуэтское и Малый Тарын на аппаратах ударного действия ДАУ-250 и ДКД-300 выявила взаимосвязь между степенью дезинтеграции и процессами дробления. Новый показатель дробления как степень дезинтеграции свойственный для тех или иных пород тесно связана и коррелируется с традиционным показателем - степенью дробления. С увеличением степени дезинтеграции повышается значение степени дробления, при этом отмечается снижение удельных энергозатрат на дробление. Степень дезинтеграции действительно показывает склонность тех или иных горных пород к селективному (избирательному) разрушению вследствие наличия структурных и текстурных особенностей которые, более всего, проявляются при ударном способе дробления. При этом степень дезинтеграции является дополнительным показателем и дать некоторое пояснение общего уровня степени дробления той или иной руды (горной породы).

APPROBATION OF THE METHOD FOR DETERMINING THE DEGREE OF DISINTEGRATION OF GOLD ORE SAMPLES ON DEVICES WITH IMPACT OPERATION PRINCIPLE DAU-250 AND DKD-300

Matveev A.I., Lvov E.S.

*Chersky Mining Institute of the North of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yakutsk*

Keywords: destruction, crusher, disintegration, opening, ore preparation, enrichment, grading characteristics.

Abstract. The approbation of the previously proposed method for determining the degree of disintegration by the example of crushing ore samples with different strength coefficients of the Duetskoye and Maly Taryn gold deposits on impact devices DAU-250 and DKD-300 revealed the relationship between the degree of disintegration and crushing processes. The new crushing index as the degree of disintegration characteristic of certain rocks is closely related and correlated with the traditional indicator - the degree of crushing. With an increase in the degree of disintegration, the value of the degree of crushing increases, while there is a decrease in specific energy consumption for crushing. The degree of disintegration really shows the tendency of certain rocks to selective (selective) destruction due to the presence of structural and textural features that, most of all, manifest themselves with the impact method of crushing. At the same time, the degree of disintegration is an additional indicator and give some explanation of the general level of the degree of crushing of a particular ore (rock).

Введение

Разрушение рудных материалов как полиминерального комплекса является сложным физическим процессом, зависящий от механической нагрузки, свойств материалов и его текстуры. В последнем случае особенности текстуры имеют важнейшее значение, так как с точки зрения процессов разрушения горных пород задаются изначально очаги разрушения в виде неоднородностей, пустот, трещин, а также границ срастания минеральных форм с естественно разными физическими свойствами (прочностью). При сообщении механических воздействий вследствие развития данных очагов (трещин) происходит макроскопическое

разрушение. Процесс разрушения геоматериалов в классическом контексте можно наблюдать в процессах подготовки руды перед обогащением. Основной задачей здесь выступает проблема максимального раскрытия мономинеральных зерен, что обычно достигается в пределах измельчения в зависимости от их вкрапленности.

Известно, что чем мельче вкрапленность полезных минералов, тем выше расходы на разрушение. Для большинства рудных полезных ископаемых более 60% расходов приходится на процессы измельчения. Вместе с тем, для увеличения эффективности процесса разрушения с точки зрения раскрытия мономинеральных компонентов достаточно большим потенциалом обладают процессы дробления крупнокусковых руд с учетом процессов избирательного раскрытия мономинеральных форм в ходе селективного разрушения. С этой точки зрения процессы дробления представляют собой некий резерв повышения эффективности рудоподготовки в целом учитывая, что КПД этого процесса в несколько раз выше, чем при традиционном измельчении. При этом важным направлением развития оборудования для рудоподготовки является создание систем, которые основываются на принципе многократного динамического воздействия, которая позволяет повысить эффективность процесса. То есть раскрыть минералы и разрушить материал по слабым сечениям с дефектами структуры, обеспечивая более эффективное извлечение ценных компонентов [1-4].

Известно, что в процессах дробления и измельчения рудные кусковые материалы подвергаются в той или иной степени дезинтеграции. При чем, эффективность процесса разрушения определяется степенью дробления или степенью измельчения, то есть по соотношению размеров исходного и конечного продуктов. Наиболее часто применяемый показатель это – отношение средневзвешенного значения крупности определяемого по гранулометрическому составу исходного и разрушенного продуктов [5]. А степень дезинтеграции как сопутствующий основному процессу разрушения геоматериалов практически не идентифицируется.

Материалы и методы исследований

Для более точной количественной оценки эффекта дезинтеграции предложена методика [6]. Она позволяет разделить два процесса в рудоподготовке: механическое разрушение рудных геоматериалов и сопутствующий ему процесс дезинтеграции. Графически методика представлена на рисунке 1, где гранулометрическая характеристика имеет две моды – мелкие и крупные части. Мода в крупных фракциях имеет форму логнормального распределения, а заштрихованная часть представляет долю материала, разрушенного дезинтеграцией, т.е. самопроизвольной дисперсией слабых частей геоматериала. Таким образом, соотношение заштрихованной площади к общей массе раздробленного материала отражает степень дезинтеграции, а расчёт степени дезинтеграции основан в определении доли продуктов в результате механического воздействия и вычитании из общего гранулометрического состава продуктов дробления.

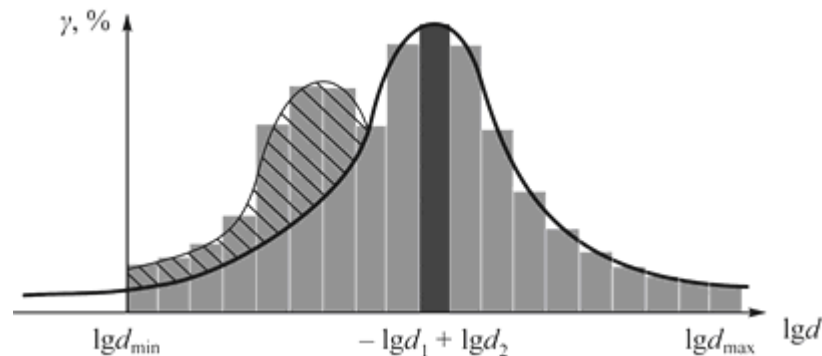


Рис. 1. К методике определения степени дезинтеграции

В теории расчетная часть методики выглядит следующим образом. Выявляются параметры области моды в области крупных фракций, ограниченных её крупностью lgd_1 и lgd_2 и значение её выхода γ_{max} . Определяется площадь:

$$S_0 = \int_{\lg d_1}^{\lg d_2} f(x) dx, \quad (1)$$

где d_1, d_2 – крупность дробленого материала.

Из условия $S' = f(x)$, приравненной к функции логнормального распределения:

$$e^{-\frac{\lg(x-a)^2}{2\delta^2}} = f(x), \quad (2)$$

где x – значения выхода продукта дробления данной крупности, a – среднее значение класса крупности дробленого материала,

$$e^{-\frac{\left(x - \frac{d_1+d_2}{2}\right)^2}{2\delta^2}} = f(x) \quad (3)$$

определяется значение δ – среднее квадратичное отклонение, затем вычисляется площадь под функцией логнормального распределения на интервале (n_i, N_i) :

$$S = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}} \int_{n_i}^{N_i} e^{-\frac{\lg(x-a)^2}{2\delta^2}} dx, \quad (4)$$

где n_i – логарифм минимальной крупности дробленого материала; N_i – логарифм максимальной крупности дробленого материала.

Далее определяются степень дезинтеграции:

$$D = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}} \int_{n_i}^{N_i} e^{-\frac{\lg(x-a)^2}{2\delta^2}} dx. \quad (5)$$

Теоретически в формулах используется переменная δ , на практике вычислить её затруднительно, поэтому для практических расчетов описанные выше выражения видоизменяются.

Один из способов идентификации параметров основной моды логнормального распределения описан в предыдущей работе [7].

В настоящее время основными технологическими показателями процесса дробления являются степень дробления, эффективность дробления или удельный расход энергии на дробление перерабатываемого материала. Основным количественным показателем процесса дробления, выражаемым в степени дробления, оцениваемая как отношение среднего куска до дробления к среднему зерну после дробления. Эффективность дробления определяется массой раздробленного материала, получаемого при расходе единицы электроэнергии (т/кВт·ч). Величина обратная эффективности дробления называется удельным расходом энергии (кВт·ч/т). Эффективность дробления в основном, зависит от прочности дробимого материала [8].

Определение взаимосвязи предложенной методики определения степени дезинтеграции с общими показателями процесса дробления на аппаратах ударного действия является предметом изучения данных исследований.

Исследования по определению взаимосвязи предложенной методики определения степени дезинтеграции с общими показателями процесса дробления на аппаратах ударного действия ДКД-300 и ДАУ-250, проводились на золотосодержащих рудах месторождений Малый Тарын и Дуэтское. Рудные кусковые материалы данных месторождений разделили на характерные по составу минералов рудные образования. Месторождения Дуэтское на темно-серый песчаник и кварцевую руду, Месторождение Малый Тарын представлено среднезернистым песчаником. В начале исследований определили характеристику данных образцов руды, по коэффициентам крепости по шкале Протодьяконова [9]: месторождение Дуэтское: темно-серый песчаник коэффициент крепости 16 и кварцевая руда коэффициент крепости 9; месторождение Малый Тарын среднезернистый песчаник коэффициент крепости 7.

В качестве аппаратов дробления с ударным принципом дробления использовались трех роторная дробилка ДАУ-250 и шести роторная дробилка ДКД-300.

Схематическая конструкция дробилки ДАУ-250 представлена на рисунке 2. Дробилка работает следующим образом: загружаемые куски рудной массы по наклонному лотку попадают в зону действия первичного ротора, испытывают удар и под действием его импульса отбрасываются вверх. В последующем, по достижении обломками поверхности роторов вторичного дробления они испытывают отражательный удар. При синхронизации вращения роторов ударно-отражательные элементы воспринимают удар кусков пробы под углом $90 \pm 10^\circ$ и в этом положении имеют наибольшую площадь контакта с дробимым материалом. За счет этого в дробилке достигается направленное взаимодействие скоростей дробимых кусков и ударных элементов дробилки, что приводит к более полному, использованию кинетической энергии частиц, нежели в известных ударных способах. Необходимо заметить, что в отличие от известных дробилок ударно-отражательного типа отражательный удар происходит не об неподвижную преграду. При этом вторичный рабочий орган «активно» участвует в процессе дробления, придавая частице после удара направленный импульс. Неслучайно, поэтому, для того чтобы, как-то отразить особенность работы данной дробилки, было принято назвать ее дробилкой «активного» удара. Дезинтегрированная рудная масса проваливается через калиброванную перфорацию разгрузочного решета. Непродробленная масса возвращается в зону дробления ротором первичного удара. Таким образом, в дробилке основное разрушение кусков горной породы происходит под действием ударно-отражательного дробления (или активного удара). Вместе с тем, часть непродробленных кусков на поверхности разгрузочного решета подвергается сложному виду нагружения и абразивному истиранию. Для экспериментальных работ использовался вариант без разгрузочной решетки, чтобы исключить разрушение пород истиранием.

Дробилка ДКД-300 (рис. 3.) состоит из корпуса 1, имеющего делитель исходного материала 2, располагаемого ниже питающего патрубка 3, пары роторов первичного 4, нижнего 5 и верхнего 6 дробления, разгрузочного патрубка 7.

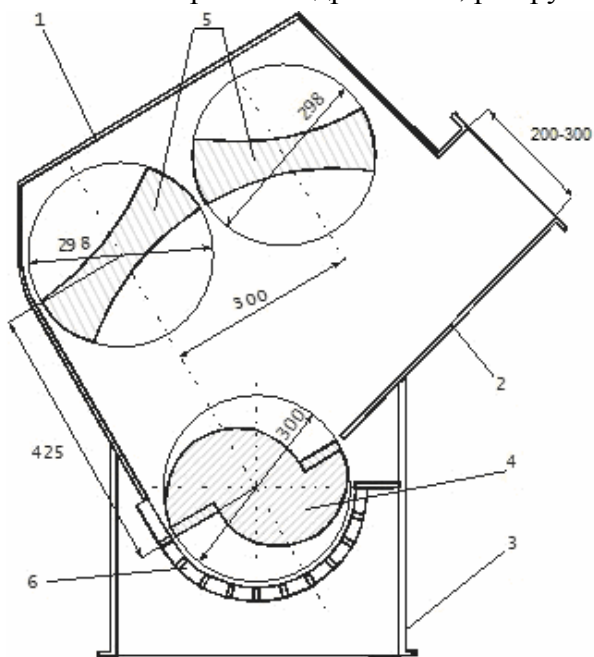


Рис. 2. Схематическая конструкция дробилки ДАУ-250: 1 – корпус дробилки; 2 – загрузочный патрубок; 3 – разгрузочный отсек; 4 – первичный ротор; 5 – вторичные ротора; 6 – разгрузочное решето

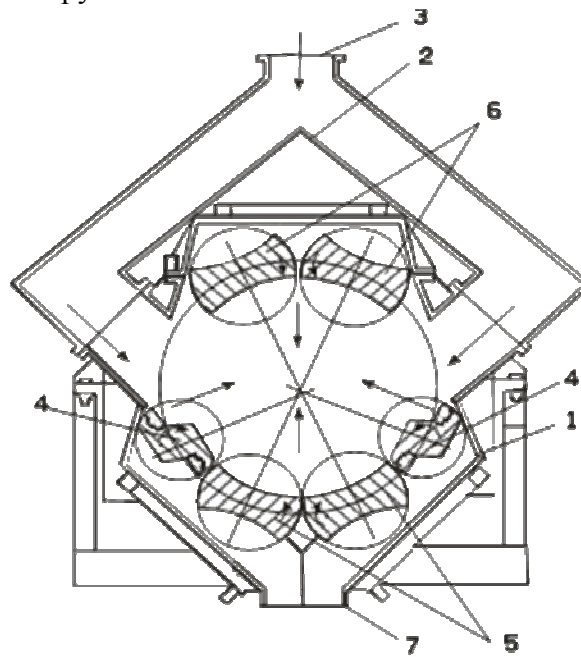


Рис. 3. Схематическая конструкция дробилки ДКД-300: 1 – корпус дробилки; 2 – делитель потока; 3 – загрузочный патрубок; 4 – первичные ротора; 5 – нижняя пара роторов; 6 – верхняя пара роторов; 7 – разгрузочный патрубок

Центры вращения пар роторов (первичного и вторичного дробления) располагаются по линии окружности, образованной одним радиусом от центра корпуса симметрично относительно вертикальной плоскости. Таким образом, геометрический центр корпуса является центром вероятной зоны взаимного столкновения горных пород, траектория движения которых

задаются работой (вращением) всех роторов. Делитель исходного материала 2 обеспечивает равномерную двупоточную подачу руды к роторам первичного дробления 4, которые оказывают кускам динамическое воздействие и сообщают им начальный импульс.

Действие роторов, расположенных по окружности, создает наибольшую вероятность столкновения частиц руды друг с другом в центре рабочей зоны.

В результате столкновения частиц происходит их дополнительное разрушение, и частицы разбрасываются по сторонам и снова попадают в зону действия роторов. В последующем, процесс разрушения многократно повторяется, пока частицы руды не достигнут требуемой крупности и не разгрузятся через межроторные зазоры. Для достижения высокой эффективности и предотвращения преждевременного вывода недораздробленных кусков руды из рабочей зоны дробилки вращение всех роторов синхронизировано попарно и между собой. Обеспечение синхронного вращения всех шести роторов было достигнуто путем установки промежуточного синхронизирующего редуктора, передающего вращение от двух электродвигателей к четырем нижним роторам. На верхние роторы вращение передается зубчатой цепной передачей [10].

В результате реализации способа комбинированного ударного дробления в ДКД повышается эффективность дробления за счет организации многократности динамического воздействия на рудные куски в рабочей зоне дробилки, где дробящей средой являются куски самой руды, а источником энергии – ротора.

Результаты экспериментов

Исследования по дезинтеграции руд проводились на дробилке ДАУ-250 с производительностью 0,8 т/ч, на дробилке ДКД-300 с производительностью 6 т/ч.

Для дезинтеграции на дробилке активного удара ДАУ-250. отобранные пробы данных руд имели среднюю исходную крупность 50 мм. Исходная средняя крупность подвергавшихся дезинтеграции руд на дробилке многократного ударного воздействия ДКД-300 составляла для темно-серого песчаника 109 мм, для жильного кварца 100 мм, для среднезернистого песчаника 90,3 мм. Во время дробления производились замеры расхода электроэнергии, для определения удельного расхода электроэнергии на разрушение данных руд. За вычетом расхода энергии на холостой ход данных дробилок.

После дробления полученные продукты дробления подвергли ситовому анализу для определения гранулометрического состава. Затем произвели расчет степени дробления для исследуемых руд. Результаты гранулометрического анализа продуктов дробления ДАУ-250 представлены в таблице 1.

Результаты гранулометрического анализа продуктов дробления ДКД-300 представлены в таблице 2.

Табл. 1. Гранулометрические составы продуктов дробления ДАУ-250

Класс крупности, мм	Выход %		
	Темно-серый песчаник	Кварц жильный	Среднезернистый песчаник
-0,05	1,112	1,26	1,22
-0,1+0,05	1,482	2,07	2,14
-0,2+0,1	2,965	3,68	4,23
-0,315+0,2	3,274	3,93	4,89
-0,63+0,315	5,435	7,25	9,07
-1+0,63	7,288	5,99	7,39
-2+1	6,547	12,29	14,67
-3,2+2	8,894	11,64	13,25
-5+3,2	13,897	12,95	12,58
-7+5	2,903	6,15	4,48
-10+7	12,724	11,54	8,41
-20+10	22,730	18,09	12,84
-40+20	10,747	3,17	4,84
Степень дробления	5,63	8,15	8,98

Далее по гранулометрическим характеристикам производим расчет степени дезинтеграции. На рисунке 4 представлена графическая часть определения степени дезинтеграции для кварцевой руды месторождения Дуэтское. Пунктирной линией изображена предполагаемая мода, характеризующая разрушение кускового геоматериала непосредственно ударной нагрузкой от рабочих органов дробилки.

Табл. 2. Гранулометрические составы продуктов дробления ДКД-300

Класс крупности, мм	Выход %		
	Темно-серый песчаник	Кварц жильный	Среднезернистый песчаник
-0,05	1,05	0,75	0,74
-0,1+0,05	1,14	1,12	1,61
-0,2+0,1	2,08	2,27	3,70
-0,315+0,2	2,28	2,42	4,28
-0,63+0,315	3,97	4,41	7,60
-1+0,63	5,10	5,90	9,40
-2+1	5,12	6,26	9,15
-3,2+2	7,78	8,60	11,10
-5+3,2	11,68	12,82	12,90
-7+5	4,70	4,07	5,11
-10+7	12,04	11,21	8,19
-20+10	22,37	24,29	17,72
-40+20	16,08	13,75	6,73
-60+40	4,61	2,11	1,77
Степень дробления	8,79	9,23	11,93



Рис. 4. Определение степени дезинтеграции в дробилке ДКД-300 кварцевой руды месторождения Дуэтское

Степень дезинтеграции данных золотосодержащих руд определена по расчетам с использованием формул, описанных выше, представлена в таблице 3.

Интерпретация этих данных по методике определения степени дезинтеграции показывает то что при увеличении степени дезинтеграции отмечается повышение степени дробления и снижение энергозатрат на дробление. Например, при использовании аппарата ДАУ-250 для руды с коэффициентом крепости 16, степень дезинтеграции составила 0,23, что соответствовало степени дробления в 5,63 и удельным энергозатратам 1,334 кВтч/т. С использованием ДКД-300 для того же образца, степень дезинтеграции увеличилась до 0,32, сопровождаемая повышением степени дробления до 8,78 и снижением энергозатрат до 1 кВтч/т.

Для менее крепких руд с коэффициентом крепости 9, степень дезинтеграции на ДАУ-250 составила 0,32, что соответствовало степени дробления в 8,15 и удельным энергозатратам в 0,87 кВтч/т. При использовании ДКД-300 для этих образцов, степень дезинтеграции достигла 0,42, с увеличением степени дробления до 9,23 и снижением энергозатрат до 0,902 кВтч/т.

Табл. 3 Результаты исследований по апробации методики степени дезинтеграции золоторудных образцов месторождений Дуэтское и Малый Тарын

Наименование руды	Дробилка	Коэффициент крепости	Степень дробления	Степень дезинтеграции	Удельный расход энергии, кВт·ч/т
Темно-серый песчаник	ДАУ-250	16	5,63	0,23	1,334
Кварцевая руда		9	8,15	0,32	0,870
Песчаник		7	8,98	0,48	0,851
Темно-серый песчаник	ДКД-300	16	8,78	0,32	1,000
Кварцевая руда		9	9,23	0,42	0,902
Песчаник		7	11,93	0,63	0,763

Для наименее крепких образцов рудного материала с коэффициентом крепости 7, степень дезинтеграции на ДАУ-250 составила 0,48, что соответствовало степени дробления в 8,98 и удельным энергозатратам в 0,851 кВтч/т. При использовании ДКД-300 для этих образцов степень дезинтеграции достигла 0,63, с удельными энергозатратами в 0,763 кВтч/т и степенью дробления. Эти результаты подчеркивают важность оценки степени дезинтеграции в процессах дробления и свидетельствуют о тесной связи между ней и характеристиками процесса дробления и энергозатратами, а также связано с особенностями работы дробильного оборудования.

Выводы

Апробация методики определения степени дезинтеграции при дроблении золоторудных образцов с разной степенью крепости с использованием аппаратов ударного действия (ДАУ-250 и ДКД-300) выявила важную взаимосвязь между степенью дезинтеграции и процессами дробления.

Представленные данные подтверждают, что предложенная методика для определения степени дезинтеграции кусковых геоматериалов в процессе дробления с использованием динамических воздействий предоставляет количественную характеристику процесса дезинтеграции. Эта характеристика может быть важной технологической характеристикой как самих рудных материалов, так и аппаратов для дробления и измельчения, независимо от используемых методов и типоразмеров.

Апробация методики на примере руды из двух разных месторождений подчёркивает возможность получения новой информации о процессе рудоподготовки и подчёркивает роль и значение дезинтеграции, которая заметно проявляется в аппаратах ударного действия с сообщением многократных динамических сил. Не случайно для дробилки с шестью роторами ДКД-300 по сравнению с ДАУ-250 степень дезинтеграции существенно выше. Полученные результаты также подтверждают наличие прямой связи между степенью дезинтеграции и показателями процесса дробления. Другими словами, что чем более склонна руда к дезинтеграции, тем выше степень дробления и эффективнее процессы рудоподготовки.

Заключение

В результате апробации методики определения степени дезинтеграции при дроблении золоторудных образцов на аппаратах ударного действия, мы пришли к следующим заключениям.

1. Предложенная методика для определения степени дезинтеграции руд позволяет дать дополнительную количественную оценку процесса дробления.
2. Апробация методики двух испытанных разных рудных образцов на аппаратах многократного динамического воздействия ДАУ-250 и ДКД-300 показывает наличие прямой зависимости от основных показателей дробления по степени дробления и энергоэффективности процесса.
3. Степень дезинтеграции даёт возможность для получения новой информации об эффективности процессов рудоподготовки за счёт дезинтеграции, что очень важно для последующих процессов обогащения.

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 грант №13.ЦКП.21.0016.

Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. Хопунов Э.А. Новые аспекты избирательного разрушения минерального сырья // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2013. – № 6. – С. 130-138.
4. Юсупов Т.С. Совершенствование процессов раскрытия минеральных сростков при освоении труднообогатимых объектов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – № 3. – С. 143-149.
5. Перов В.А., Андреев Е.Е., Биленко Л.Ф. Дробление, измельчение, грохочение полезных ископаемых. – М.: Изд-во «Недра», 1990. – 300 с.
6. 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.
7. Матвеев А.И., Львов Е.С. Разработка методики определения степени дезинтеграции геоматериалов в процессе многократного ударного дробления // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2020. – № 2. – С. 137-143. –doi.org/10.1080/17480930.2020.1782573.
8. Газалеева Г.И., Цыпин Е.Ф., Червяков С.А. Рудоподготовка. Дробление, грохочение, обогащение. – Екатеринбург: Изд-во ООО “УЦАО”, 2014. – 914 с.
9. Практикум по обогащению полезных ископаемых / Под ред. Н.Г. Бедрань – М.: Изд-во «Недра», 1991. – 526 с.
10. Патент №2111055 РФ. Дробилка комбинированного ударного действия / А.И. Матвеев, В.П. Винокуров, А.Н. Григорьев, А.М. Монастырев. – Заявка №96108301/03 от 23.04.1996; опубл. 20.05.1998, Бюл. №14.

References

1. 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.
2. 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.
3. Hopunov E.A. New aspects of selective destruction of mineral raw materials // News of higher educational institutions. Mining Journal. 2013, no. 6, pp. 130-138.
4. Yusupov T.S. Improving the processes of opening mineral aggregates during the development of refractory objects // Physical and technical problems of the development of useful minerals. 2016, no. 3, pp. 143-149.
5. Perov V.A., Andreev E.E., Bilenko L.F. Crushing, grinding, screening of minerals. – M.: Nedra, 1990. – 300 p.
6. 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.
7. Matveev A.I., Lvov E.S. Development of a method for determining the degree of disintegration of geomaterials in the process of multiple impact crushing // Physical and technical problems of the development of useful minerals. 2020, no. 2, pp. 137-143.
8. Gazaleeva G.I., Tsy-pin E.F., Chervyakov S.A. Ore preparation. Crushing, screening, enrichment. – Ekaterinburg: Publ. house of LLC “UCAO”, 2014. – 914 p.
9. Workshop on mineral enrichment / Edited by N.G. Bedran – M.: Publ. house "Nedra", 1991. – 526 p.
10. Patent No. 2111055 of the Russian Federation. Combined impact crusher / A.I. Matveev, V.P. Vinokurov, A. N. Grigoriev, A.M. Monastirev. – Appl. No. 96108301/03 from 23.04.1996; publ. 20.05.1998, Bul. No. 14.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Матвеев Андрей Иннокентьевич – доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории обогащения полезных ископаемых	Matveev Andrey Innokentievich – doctor of technical sciences, senior researcher, chief researcher of the mineral processing laboratory
Львов Евгений Степанович – научный сотрудник лаборатории обогащения полезных ископаемых	Lvov Evgeny Stepanovich – researcher at the mineral processing laboratory
lvoves@bk.ru	

Получена 23.11.2023