

Обогащение полезных ископаемых

УДК 552.321.(571.56)

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-3-6

Разработка конструкции нового измельчителя горных пород комбинированного действия

А.И. Матвеев, В.Р. Винокуров

*Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск, Россия
vaviro@mail.ru*

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований процессов измельчения в новом центробежном вертикальном измельчителе (ЦВИ) конструкции ИГДС СО РАН. Наиболее важными конструктивными факторами для нового типа оборудования, влияющими на эффективность измельчения геоматериалов с учетом их исходной максимальной крупности, являются зазор между рабочими органами и расположение узла разгрузки измельченного геоматериала (относительно центральной оси корпуса измельчителя). Модельными испытаниями на лабораторном образце установлены рациональные рабочие параметры вертикального центробежного измельчителя (угол разгрузки -150° , зазор между рабочими дисками – 3 мм). Изменения параметров данных факторов в заданных пределах позволяют управлять процессом измельчения, в комбинированном режиме многократных динамических и истирающих воздействий. Управление процессом измельчения заключается в возможности ограничения выхода недоизмельченных частиц из рабочей зоны измельчения, а также задавать степень сокращения продуктов дезинтеграции. Разработаны проект и рабочая документация на опытно-промышленный образец центробежного вертикального измельчителя ЦВИ-12 с производительностью до 12 т/ч.

Ключевые слова: центробежные мельницы, конструкция, измельчение, рабочие органы, эффективность измельчения, разгрузочный узел, частицы, измельченный материал, экспериментальные исследования, рабочие параметры.

Благодарности. Работа выполнена в рамках НИР ИГДС СО РАН (№ 0297-2020-0043).

Введение

Одной из главных проблем горнодобывающей отрасли, требующей новых решений и подходов, является совершенствование дробильно-измельчительного оборудования для снижения затрат на подготовительные процессы при добыче полезных ископаемых (дробление, измельчение) [1–8].

В настоящее время в России и за рубежом активно ведутся работы по разработке малогабаритных и высокоэффективных измельчительных установок, предназначенных для переработки различных видов минерального сырья, наибольшее распространение среди которых получили центробежные измельчители ударного действия [9–17]. Это связано с тем, что они менее энергозатратны, просты по конструкции и имеют небольшие габаритные размеры при относительно высокой удельной производительности. В мире

разработано и создано множество ударных измельчительных установок, однако большинство существующего парка ударных измельчителей в своих конструктивных решениях не до конца учитывают многообразие физико-механических свойств измельчаемого сырья и в, частности, реализуют ограниченные одноактные механические воздействия, недостаточные для эффективного разрушения геоматериала [18–29]. Повышение эффективности измельчения невозможно без новых конструктивных решений в центробежных измельчителях, направленных на создание рациональных условий ударного разрушения материала в рабочей зоне измельчения аппарата.

В лаборатории обогащения полезных ископаемых ИГДС СО РАН разработан и запатентован ряд новых центробежных мельниц, основанных на принципе интенсивного разрушения ку-

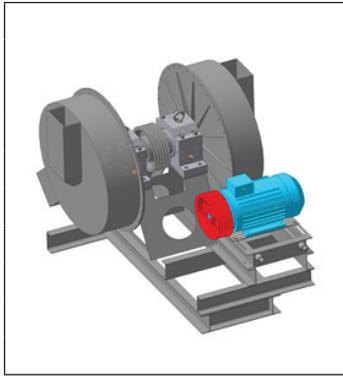
	ПАРАМЕТРЫ	ЕД. ИЗМ.	ПОКАЗАТЕЛИ
	НАИБОЛЬШИЙ РАЗМЕР ИСХ. КУСКА	ММ	5–20
	ДИАМЕТР	ММ	1200
	РАЗМЕРЫ ПРИЕМНОГО ОТВЕРСТИЯ	ММ	280×160
	РАЗМЕРЫ ВЫПУСКНОГО ЛОТКА	ММ	210×220
	ЧИСЛО ОБОРОТОВ ВНУТ. ДИСКА	ОБ/МИН	760
	ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ	кВт	30
	ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ	Т/Ч	до 12
	МАССА	КГ	6662,5
	МАССА БЕЗ ЭЛ. ДВИГАТЕЛЯ	КГ	6512,5

Рис. 1. Общий вид и основные параметры центробежного вертикального измельчителя ЦВИ-12.

Fig. 1. General view and basic parameters of a centrifugal vertical chopper CVI-12.

сковых горных пород многократными динамическими воздействиями с разной конструкцией рабочих органов (активаторов). Конструктивная особенность нового класса центробежных измельчителей заключается в реализации возможности сообщения многократных динамических воздействий по ходу перемещения частиц в рабочей зоне дезинтеграции [30, 31]. При этом сохранение эффекта разрушения геоматериалов по мере последовательного сокращения крупности (потери массы) достигается соответствующим увеличением скорости взаимодействия частиц с поверхностью рабочих органов.

Ранее нами был изготовлен и испытан опытно-промышленный вариант центробежной мельницы ЦМВУ-800, реализующий многократные динамические воздействия [32]. В результате испытаний были зафиксированы высокие значения степени измельчения для разных видов геоматериалов. Вместе с тем были выявлены и недостатки конструктивного характера:

- сложности разгрузочного узла из-за периферийной разгрузки материала, ограничивающий увеличение диаметра рабочих органов;
- напрессование и накопление частиц на вертикальных стенках ступеней рабочих органов, в результате чего снижается эффективность измельчения;
- относительно небольшая производительность мельницы до 6 т/ч.

Для усовершенствования процессов эффективного измельчения геоматериалов и устранения выявленных недостатков был разработан и спроектирован новый тип центробежного вертикального измельчителя условной марки ЦВИ (рис. 1), защищенный патентом РФ [33]. На рис.1 представлены общий вид и техническая характеристика

запроектированного типоразмера измельчителя ЦВИ-12 с производительностью до 12 т/ч.

В данной работе приведены результаты опытно-конструкторских работ и экспериментальных исследований по разработке нового центробежного вертикального измельчителя ЦВИ-12 комбинированного действия.

Наиболее важными конструктивными факторами для нового типа оборудования, влияющими на эффективность измельчения геоматериалов с учетом их исходной максимальной крупности, являются зазор между рабочими органами и расположение узла разгрузки измельченного материала (относительно центральной оси корпуса измельчителя), что было подтверждено в ходе предварительных модельных испытаний на лабораторном образце, проведенных для определения наиболее рациональных рабочих параметров центробежного вертикального измельчителя.

Материалы и методика экспериментальных исследований

Разработанный двухкамерный измельчитель (рис. 2) содержит цилиндрический корпус с верхним загрузочным и нижним разгрузочным узлом, регулирующим угол разгрузки измельченного продукта, и соосные рабочие органы специальной формы в виде вертикально расположенных дисков с радиальными разгонными и отбойными элементами, обеспечивающие многократные динамические и истирающие воздействия на разрушаемый материал, также имеет две симметрично расположенные рабочие камеры, которые позволяют спроектировать сбалансированную механическую схему привода.

Для проведения экспериментальных исследований по определению рациональных рабо-

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ НОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ГОРНЫХ ПОРОД

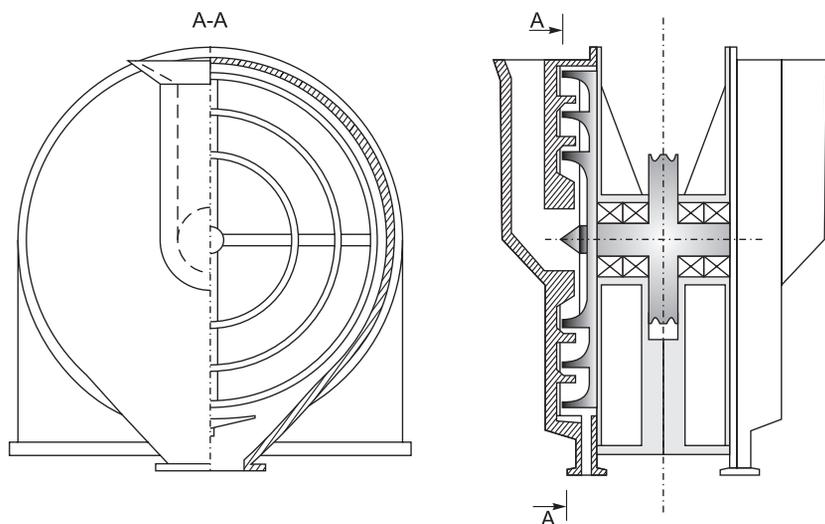


Рис. 2. Конструкция центробежного вертикального измельчителя.

Fig. 2. Design of a centrifugal vertical chopper.

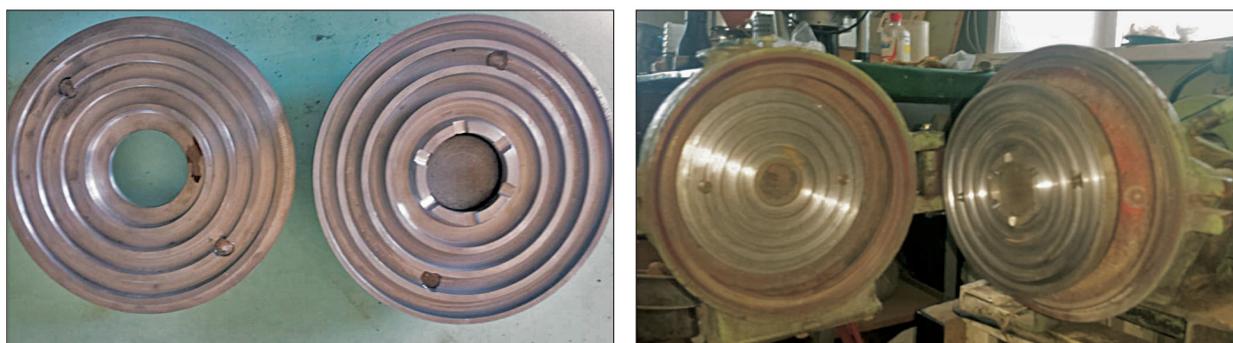


Рис. 3. Рабочие органы и рабочая камера лабораторной модели измельчителя.

Fig. 3. Working bodies and the working chamber of the laboratory model of the grinder.

чих параметров центробежного вертикального измельчителя была разработана и изготовлена лабораторная модель.

Лабораторная модель изготовлена в однокамерном варианте и содержит в себе цилиндрический корпус с верхним загрузочным и нижними разгрузочными отверстиями под разными углами наклона относительно центральной оси корпуса, а также соосные рабочие органы специальной формы в виде вертикально расположенных дисков с радиальными разгонными и отбойными элементами, обеспечивающие многократные динамические и истирающие воздействия на разрушаемый материал. На рис. 3 показана рабочая камера лабораторной модели с подвижным внутренним и неподвижным внешним рабочими органами.

Дезинтеграция происходит следующим образом: разрушаемый материал попадает через загрузочный узел в центр рабочей камеры измельчителя между двумя рабочими дисками специальной формы, ширина камеры (зазор) регулируется от 1 до 20 мм в зависимости от степени крепости исходного материала и заданной крупности продуктов измельчения.

В рабочей камере частицы разрушаемого материала при помощи радиальных разгонных элементов, установленных на поверхности рабочих органов, приобретают первоначальную скорость и под действием центробежной силы и силы тяжести, испытывая многократные ударные и истирающие нагрузки как друг с другом, так и с ударно-отражательными элементами рабочих органов и корпуса, начинают продвигаться к кромке ра-

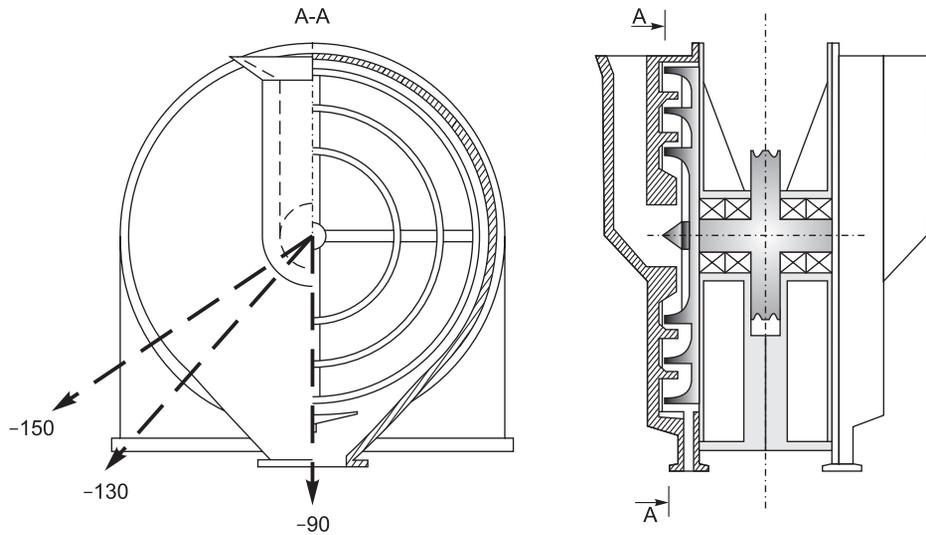


Рис. 4. Конструкция центробежного вертикального измельчителя при разных углах разгрузки.

Fig. 4. Design of a centrifugal vertical chopper at different discharge angles.

бочих дисков. Измельченный материал, потеряв массу и инерцию, своевременно выводится из рабочего пространства через разгрузочный узел.

С точки зрения эффективности измельчения наиболее важными рабочими параметрами для центробежного вертикального измельчителя является зазор между поверхностями рабочих органов (сочетание динамических и истирающих воздействий), а также расположение узла разгрузки измельченного материала относительно центральной оси корпуса измельчителя. Например, расположение узла разгрузки при -90° сопровождается механическим выносом недоизмельченного материала как из-за силы тяжести, так и за счет формирующихся в рабочей камере воздушных потоков.

Для испытаний использовались пробы кварцевой руды твердостью по шкале Мооса 7, классами крупности: $-5+3$ мм; $-3+2$ мм; $-2,5+1,6$ мм. Частота вращения подвижного рабочего органа составляла 1500 об./мин. Диапазон регулировки зазора между дисками составил от 3 до 10 мм. Для определения гранулометрического состава продуктов измельчения и определения степени измельчения применялся ситовый анализатор со стандартной методикой определения гранулометрического состава.

На рис. 4 приведены варианты установки узла разгрузки под определенным углом относительно центральной оси корпуса, что соответствует и оси вращения рабочих органов измельчителя.

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 5 представлены результаты измельчения кварцевой руды класса крупности $-3+2$ мм при наиболее рациональных зазорах от 3 до 7 мм. Наиболее эффективные показатели измельчения получены при зазоре 3 мм.

Далее были проведены экспериментальные исследования по измельчению разных классов крупности (рис. 6). При измельчении класса крупности $-5+3$ мм в продуктах измельчения наблюдается наиболее низкий выход характерного критического класса крупности материала $-1,6+1$ мм, что и определяет в основном эффективность процесса измельчения в целом.

В таблицах 1–3 представлены результаты экспериментальных исследований по циклическому измельчению кварцевой руды в лабораторной модели от 1 до 3 циклов.

В табл. 4 приведены сравнительные результаты по циклам по степени измельчения. Из полученных данных видно, что степень измельчения (1–3 цикла) у исходной измельчаемой пробы класса крупности $-5+3$ мм выше, чем у проб классов крупности $-3+2$ мм, $-2,5+1,6$ мм. Очевидно, что это связано с особенностью ударного разрушения в режиме свободного удара, зависящего от массы частицы. Для повышения эффективности измельчения мелких классов крупности возможным вариантом является уменьшение зазора между рабочими органами. Однако такой путь будет связан с увеличением доли разрушения материа-

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ НОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ГОРНЫХ ПОРОД

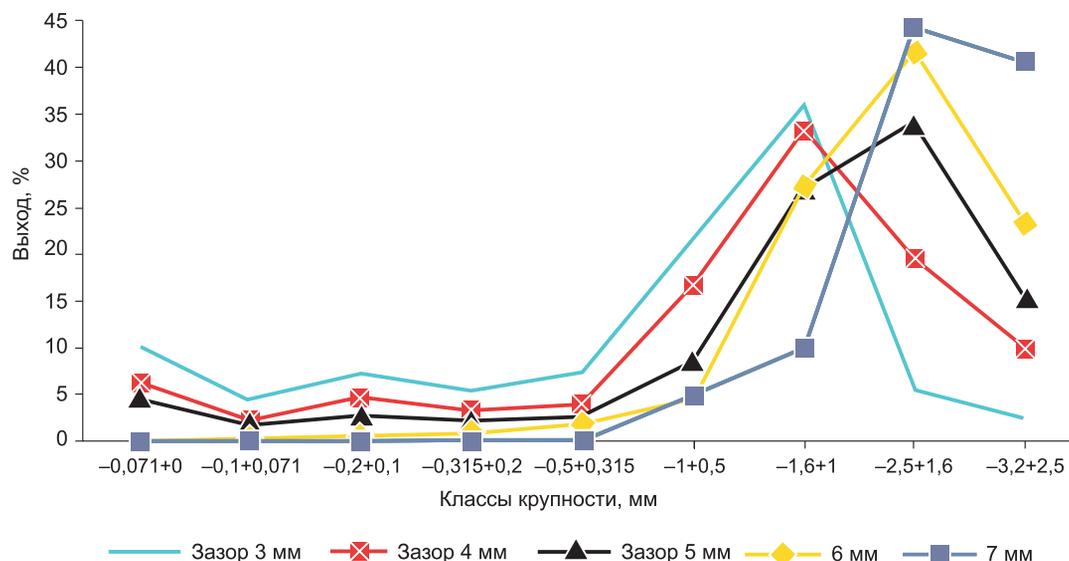


Рис. 5. Распределение продуктов измельчения при разных зазорах.

Fig. 5. Distribution of grinding products at different gaps.

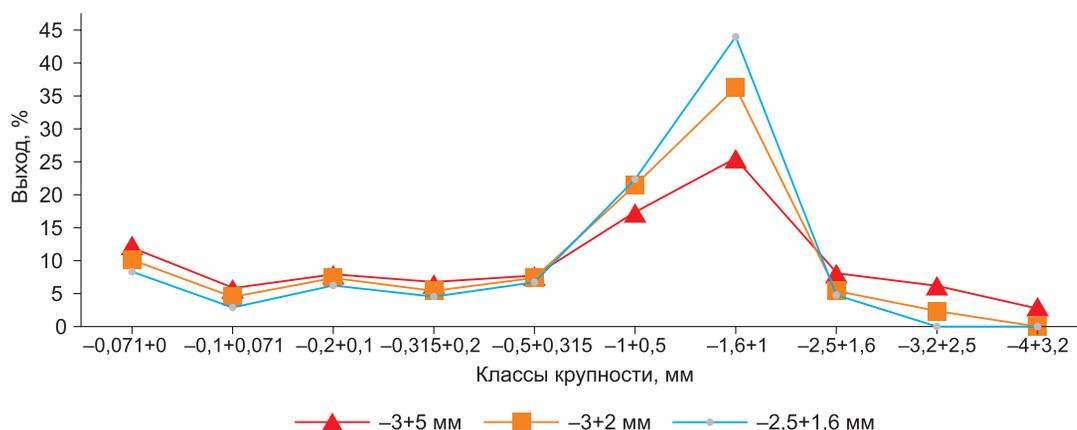


Рис. 6. Сравнительные результаты измельчения.

Fig. 6. Comparative grinding results.

ла за счет истирания, что неизбежно повлечет за собой повышенный износ рабочих органов.

При экспериментальном определении угла разгрузки на эффективность измельчения материала использовались пробы кварцевой руды твердостью по шкале Мооса 7, классом крупности $-2,5+1,6$ мм. Экспериментальные исследования проводились на однокамерной модели центробежного вертикального измельчителя с возможностью регулировки угла наклона разгрузочного отверстия относительно соосно установленных рабочих органов, который одновременно отвечает за разгрузку и за качество продуктов измельчения.

На рис. 7 приведены сравнительные результаты измельчения при разных углах установки

узла разгрузки относительно центральной оси корпуса при наиболее рациональном зазоре 3 мм между рабочими органами, который был определен экспериментальным путем.

На основании полученных результатов установлено, что при угле разгрузки -150° гранулометрический состав продуктов измельчения наиболее равномерный с наибольшим содержанием мелких классов, потому что именно при таком критическом значении угла разгрузки происходит вынос наиболее мелких и легких фракций из зоны измельчения.

Таким образом, были определены наиболее рациональные рабочие параметры вертикальной мельницы (зазор, угол разгрузки), которые по-

Таблица 1

**Результаты исследований
при 1 цикле измельчения**

Table 1

Research results for 1 grinding cycle

Класс крупности, мм	Выход, %		
	-5+3 мм	-3+2 мм	-2,5+1,6 мм
-0,071+0	12,2	10,2	8,3
-0,1+0,071	5,6	4,4	2,9
-0,2+0,1	8	7,3	6,3
-0,315+0,2	6,8	5,4	4,4
-0,5+0,315	7,6	7,3	6,8
-1+0,5	17,3	21,5	22,4
-1,6+1	25,7	36,1	43,9
-2,5+1,6	8	5,4	4,8
-3,2+2,5	6	2,4	0
-4+3,2	2,8	0	0

Таблица 3

**Результаты исследований
при 3 циклах измельчения**

Table 3

Research results for 3 grinding cycles

Классы крупности, мм	Выход, %		
	-5+3 мм	-3+2 мм	-2,5+1,6 мм
-0,071+0	12,8	10,2	9,6
-0,1+0,071	5,1	5,1	4,3
-0,2+0,1	9,2	8,2	7,5
-0,315+0,2	7,2	6,6	5,9
-0,5+0,315	7,7	7,7	6,4
-1+0,5	23,6	25,6	26,7
-1,6+1	30,7	34,3	38
-2,5+1,6	2,5	2	0
-3,2+2,5	1	0	0

зволят управлять процессом измельчения в режиме многократных динамических и истирающих воздействий (исключение выброса недоизмельченных материалов из рабочей камеры измельчителя) и задавать крупность помола продуктов дезинтеграции.

Также при работе лабораторной модели наблюдалось скопление шлама и неразрушенных частиц на кольцевых отбойных элементах (рис. 8). Для устранения недостатка внутренняя поверхность кольцевых отбойных элементов должна иметь вогнутую, пологую форму, что будет пре-

Таблица 2

**Результаты исследований
при 2 циклах измельчения**

Table 2

Research results for 2 grinding cycles

Классы крупности, мм	Выход, %		
	-5+3 мм	-3+2 мм	-2,5+1,6 мм
-0,071+0	11,6	9,4	8
-0,1+0,071	4,8	4,7	3,5
-0,2+0,1	8,7	7,8	7,6
-0,315+0,2	6,3	5,2	5,5
-0,5+0,315	7,7	7,3	7
-1+0,5	21,7	25,1	25,2
-1,6+1	31,9	35,6	40,4
-2,5+1,6	4,8	3,6	2,5
-3,2+2,5	2,4	1	0

Таблица 4

**Сравнительные результаты исследований
по циклам измельчения**

Table 4

Comparative results of research on grinding cycles

Классы крупности, мм	Степень измельчения ($i = d_n/d_k$)		
	1 цикл	2 цикл	3 цикл
-5+3	5,6	6,4	7,5
-3+2	3,5	4	4,7
-2,5+1,6	2,5	2,9	3,4

пятствовать накоплению на них шлама и неразрушенных частиц.

С учетом полученных данных на лабораторной модели измельчителя разработан эскизный проект основных узлов опытно-промышленного образца центробежного вертикального измельчителя ЦВИ-12 конструкции ИГДС СО РАН производительностью до 12 т/ч. По сравнению с лабораторной моделью в опытно-промышленном образце ожидаются более высокие показатели измельчения за счет увеличения диаметра рабочих органов (окружной скорости) и коррекции формы отбойных кольцевых элементов.

Таким образом была разработана, испытана и исследована модель центробежного вертикального измельчителя ЦВИ комбинированного действия конструкции ИГДС СО РАН. Получены исходные данные для проектирования и техниче-

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ НОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ГОРНЫХ ПОРОД

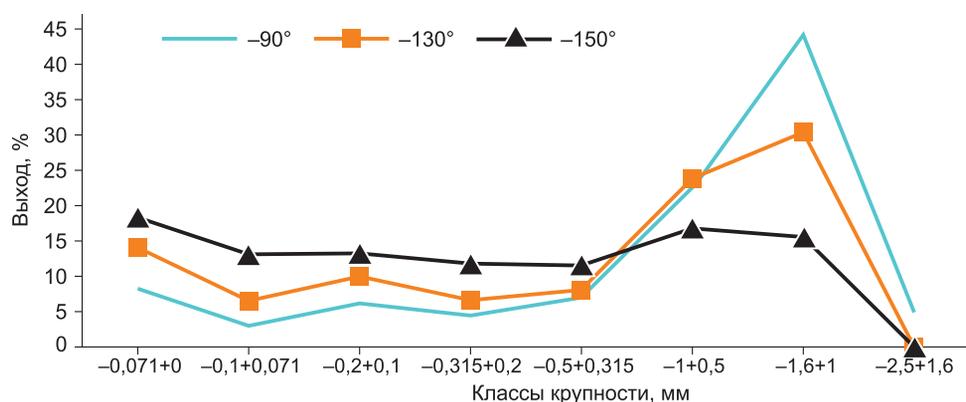


Рис. 7. Характеристика продуктов измельчения при разных углах разгрузки.

Fig. 7. Characterization of grinding products at different discharge angles.



Рис. 8. Скопление неразрушенных частиц на отбойных элементах.

Fig. 8. The accumulation of undestroyed particles on the fenders.

ской документации на изготовление опытно-промышленного варианта центробежного измельчителя ЦВИ-12.

Полученные результаты исследований на лабораторной модели вертикального центробежного измельчителя позволят повысить эффективность измельчения многократными динамическими и истирающими воздействиями за счет возможности регулирования наиболее важных рабочих параметров, таких как зазор между рабочими органами и возможность изменения расположения узла разгрузки измельченного материала.

Заключение

Экспериментальными исследованиями на лабораторной модели центробежного вертикального измельчителя ЦВИ-12 конструкции ИГДС СО РАН установлены рациональные рабочие параметры вертикального измельчителя (зазор между рабочими дисками – 3 мм, угол разгрузки – 150°), что позволило обеспечить управление процессом

измельчения в режиме многократных динамических и истирающих воздействий (исключение выброса недоизмельченных частиц из рабочей зоны измельчения), а также задавать степень сокращения продуктов дезинтеграции. Разработаны проект и рабочая документация на опытно-промышленный образец центробежного вертикального измельчителя ЦВИ-12 с производительностью до 12 т/ч.

Литература

1. Клушанцев Б. В. и др. Дробилки. М.: Машиностроение, 1990.
2. Oliveira J.F.G., Silvab R.J., Duoc C., Hashimoto F. Manufacturing technology // Industrial challenges in grinding. 2009. Vol. 58, Iss. 2. P. 663–680.
3. Крупна П.И., Щербачев В.И. Перспективы реконструкции рудоподготовительных операций обоганительных фабрик на основе модернизации процессов дробления и нового поколения российского дробильно-классифицирующего оборудования // Горные машины и автоматика. 2004. № 3. С. 35–38.

4. *Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Арутюнов С.Ю.* Состояние и перспективы комплексных системных исследований процессов измельчения сыпучих материалов // Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева. 1988. Т. XXXIII, № 4. С. 362.
5. *Газалеева Г.И., Цытин Е.Ф., Червяков С.А.* Рудоподготовка. Дробление, грохочение, обогащение. Екатеринбург: ООО «УЦАО», 2014. 14 с.
6. *Хопунов Э.А.* Новый взгляд на процессы переработки минерального сырья // Современная техника и технологии. 2015. № 3 [Электронный ресурс]. <http://technology.snauka.ru/2015/03/5944>
7. *Кулебакин В.Г.* Применение механохимии в гидрометаллургических процессах. Новосибирск: Наука, 1988. 271 с.
8. *Справочник по обогащению руд.* Подготовительные процессы / О.С. Богданов и др.; под ред. О.С. Богданова. М.: Недра, 1982. 366 с.
9. *Учитель С.А., Стець В.А.* Опыт применения центробежно-ударных дробилок. М., 1991. 25 с. (Обзорная информация / Институт «Черметинформация». Сер. Обогащение руд; Вып. 1).
10. *Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П.* Новое оборудование для дробления и измельчения материалов // Горный журнал. 2000. № 3. С. 45–52.
11. *Центробежные дробилки и мельницы «Титан»* // Новые технологии. 2005. № 6.
12. *Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П.* Новые машины и комплектные технологические линии для дробления и измельчения материалов // Проблемы машиностроения и надежности машин. Машиноведение. 2002. № 1. С. 64–71.
13. *Баловнев В.И.* Интенсификация измельчения материалов на основе обобщающей гипотезы дробления // Строительные и дорожные машины. 2001. № 6. С. 31–35.
14. *Груздев А.В., Осадчий А.М., Колотыгин Ю.И.* Современное дробильно-размольное оборудование ОАО «Объединенные машиностроительные заводы» // Горные машины и автоматика. 2003. № 6. С. 13–16.
15. *Абрютин Д.В., Воронин Д.Ю., Пестриков А.Б.* Дробильно-размольное оборудование для переработки рудного сырья // Горная Техника. 2004. № 7.
16. *Левданский А.Э.* Исследование и внедрение новых конструкций ударно-центробежных мельниц // Журнал прикладной химии. 2004. Т. 77, № 6. С. 956–960.
17. *Hoon Lee, Heechan Cho, Jihoe Kwon.* Powder Technology. Using the discrete element method to analyze the breakage rate in a centrifugal/vibration mill // Department of Energy Systems Engineering, Seoul National University, South Korea. Seoul. 2010. Vol. 198, Iss. 3. P. 364–372.
18. *Ладаев Н.М., Гуюмджян П.П., Жбанова Е.В.* О критерии разрушения одиночных частиц хрупких материалов ударом // Информационная среда вуза. XV Международная научно-техническая конференция. Иваново, 2008. С. 837–839.
19. *Гуюмджян П.П.* Закономерности разрушения одиночных частиц ударом // Сб. трудов Ивановской государственной архитектурно-строительной академии. Иваново; ИГАСА, 1999. С. 38–41.
20. *Барон Л.И., Коняшин Ю.Г.* Научные основы рациональных режимов разрушения горных пород механическими способами при динамическом приложении нагрузки М.: Ин-т горного дела им. Скопинского, 1986. 57 с.
21. *Липанов А.М., Денисов В.А., Причинин А.Е.* Модель процесса измельчения в ударно-центробежной мельнице ММС-1500-900-10 // Междунар. конгресс по управлению отходами (ВэйстТэк-2005): сб. докл. М.: СИБИКО Инт., 2005. С. 203–204.
22. *Левданский А.Э.* Исследование ударно-центробежного измельчения материалов // Инж.-физ. журнал. 2004. Т. 77, № 5. С. 46–51.
23. *Смирнов Н.М.* Совершенствование процессов и оборудования для ударного измельчения материалов различной абразивности: Дисс. ... д-ра техн. наук. Иваново, 1997. 390 с.
24. *Власов О.Е., Смирнов С.А.* Сравнение показателей работ различных измельчителей // Теор. основы хим. технологии. 1986. Т. 2, № 4. С. 831–837.
25. *Барон Л.И., Веселова Г.М., Коняшин Ю.Г.* Экспериментальные исследования горных пород ударом / Л.И. Барон, М.: АН СССР, 1962. 219 с.
26. *Ладаев Н.М., Ваганов Ф.А., Гуюмджян П.П.* О давлении, возникающем в хрупком материале при ударе // Информационная среда вуза. XV Международная научно-техническая конференция. Иваново, 2008. С. 833–836.
27. *Buss B.* Uber die Einzelkornprall zerkleinerung von Steinsalz und anderen Stoffen // Bergakademie. 1980. Vol. 22, No. 10. P. 592–598.
28. *Ревнивцев В.И., Гапонов В.Г., Загоратский Л.П. и др.* Селективное разрушение минералов. М.: Недра, 1988. 286 с.
29. *Saravacos G., Kostaropoulos A.E.* Handbook of Food Processing Equipment/Part of the series Food Engineering Series Date: 30 December 2015/Mechanical Processing Equipment, P. 149–232.
30. *Матвеев А.И., Львов Е.С., Винокуров В.Р.* Новое в рудоподготовке – аппараты дробления и измельчения многократного ударного действия // Горн. информ.-аналит. бюл. 2016. № 8 (специальный выпуск № 21). С. 242–252.
31. *Патент № 2198028, 7 В 02 С 13/20.* Центробежный измельчитель / Матвеев А.И., Григорьев А.Н., Винокуров В.Р. / Ин-т горн. дела Севера СО РАН. Заявл. 11.01.01; Опубл. 10.02.2003 // Изобретения. Полезные модели. 2003. № 4, ч. 2. С. 338.
32. *Патент № 2150323 7 В 02 С 13/20.* Центробежный измельчитель встречного удара / Матвеев А.И., Григорьев А.Н., Филиппов В.Е. / Ин-т горн. дела Се-

вера СО РАН. Заявл. 28.10.97; Оpubл. 10.06.2000 // Изобретения. Полезные модели. – 2000. № 16. ч. 2. С. 268.

33. Патент № 2322299/2006.01 Российская Федерация. ВО2С13/00/ Центрбежный аппарат дезинтег-

рации / Матвеев А.И., Григорьев А.Н.; заявитель и патентообладатель Учреждение Рос. акад. наук Ин-т горн. дела Севера им. Н. В. Черского Сиб. отд-ния Рос. акад. наук. – № 2006106684/03; заявл. 03.03.2006; опубл. 20.04.2008, Бюл. № 11.

Поступила в редакцию 15.05.2020

Принята к публикации 03.07.2020

Об авторах

МАТВЕЕВ Андрей Иннокентьевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 43, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-4298-599>, andrei.mati@yandex.ru;

ВИНОКУРОВ Василий Романович, младший научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 43, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-5698-7922>, vaviro@mail.ru.

Информация для цитирования

Матвеев А.И., Винокуров В.Р. Разработка конструкции нового измельчителя комбинированного действия // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 3. С. 63–73. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-3-6>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-3-6

Development of the design of a new chopper of combined action

A.I. Matveev, V.R. Vinokurov

Chersky Institute of Mining of the North SB RAS, Yakutsk, Russia
vaviro@mail.ru

Abstract. *The results of experimental studies of grinding processes in a new centrifugal vertical grinder CVI designed at the IGDS, SB RAS are presented. The most important design factors for the equipment of the new type that affect the efficiency of geomaterial grinding taking into account the initial maximum size of the material are the gap between the working bodies and the location of the unloading unit for crushed geomaterial (relative to the central axis of the grinder body). The rational working parameters of the vertical centrifugal grinder were established by model tests with a laboratory sample (unloading angle – 150 deg., the gap between the working disks – 3 mm). Changes in these factors within certain limits allow one to control the grinding process, in the combined mode of multiple dynamic and abrasive effects. The control of the grinding process consists in the possibility of limiting the output of under-crushed particles from the grinding zone, as well as setting the degree of reduction of disintegration products. The project and working documentation for a pilot industrial model of a vertical centrifugal grinder CVI-12 with a capacity of up to 12 t/h are developed.*

Key words: centrifugal mills, construction, grinding, working bodies, grinding efficiency, discharge unit, particles, ground material, experimental studies, operating parameters.

References:

1. Klushancev B.V. *i dr.* Drobilki. M.: Mashinostroyeniye, 1990.
2. Oliveira J.F.G., Silvab R.J., Duoc C., Hashimoto F. Manufacturing technology // Industrial challenges in grinding. 2009. Vol. 58, Iss. 2. P. 663–680.

3. Krupna P.I., Shherbachev V.I. Perspektivy rekonstrukcii rudopodgotovitel'nyh operacij obogatitel'nyh fabrik na osnove modernizacii processov drobleniya i novogo pokoleniya rossijskogo drobil'no-klassificirujushhego oborudovaniya // Gornye mashiny i avtomatika. 2004. No. 3. P. 35–38.

4. Kafarov V.V., Dorohov I.N., Arutjunov S.Ju. Sos-tojanie i perspektivy kompleksnyh sistemnyh issle-dovaniy processov izmel'chenija sypuchih materialov // Zhurnal VHO im. D.I. Mendeleeva. 1988. Vol. XXXIII, No. 4. P. 362.
5. Gazaleeva G.I., Cypin E.F., Chervjakov S.A. Rudopodgotovka. Droblenie, grohochenie, obogashhenie. Ekaterinburg: OOO «UCAO», 2014. 914 p.
6. Hopunov Je.A. Novyj vzgljad na processy pererabotki mineral'nogo syr'ja // Sovremennaja tehnika i tehnologii. 2015. No. 3 [Jelektronnyj resurs]. <http://technology.snauka.ru/2015/03/5944>
7. Kulebakin V.G. Primenenie mehanohimii v gidrometallurgicheskikh processah. Novosibirsk: Nauka, 1988. 271 p.
8. Spravochnik po obogashheniju rud. Podgotovitel'nye processy / O.S. Bogdanov i dr.; pod red. O.S. Bogdanova. M.: Nedra, 1982. 366 p.
9. Uchitel' S.A., Stec' V.A. Opyt primeneniya centrobezchno-udarnyh drobilok. M., 1991. 25 p. (Obzornaja informacija / Institut «Chermetinformacija». Ser. Obogashhenie rud.; Vyp. 1).
10. Vajsberg L.A., Zarogatskij L.P. Novoe oborudovanie dlja droblenija i izmel'chenija materialov // Gornyj zhurnal. 2000. No. 3. P. 45–52.
11. Centrobezhnye drobilki i mel'nicy «Titan». Novye tehnologii. No. 6, 2005.
12. Vajsberg L.A., Zarogatskij L.P. Novye mashiny i komplektnye tehnologicheskie linii dlja droblenija i izmel'chenija materialov // Problemy Mashinostroeniya i Nadezhnosti Mashin. Mashinovedenie. 2002. No. 1. P. 64–71.
13. Balovnev V.I. Intensifikacija izmel'chenija materialov na osnove obobshhajushhej gipotezy droblenija // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2001. No. 6. P. 31–35.
14. Gruzdev A.B., Ocachij A.M., Kolotygin Ju.I. Sovremennoe drobil'no-razmol'noe oborudovanie OAO «Ob'edinennye mashinostroitel'nye zavody» // Gornye Mashiny i Avtomatika. 2003. No. 6. P. 13–16.
15. Abrjutin D.V., Voronin D.Ju., Pestrikov A.B. Drobil'no-razmol'noe oborudovanie dlja pererabotki rudnogo syr'ja // Gornaja Tehnika. 2004. No. 7.
16. Levdanskij A.Je. Issledovanie i vnedrenie novyh konstrukcij udarno-centrobezhnyh mel'nic // Zhurnal Prikladnoj Himii. 2004. Vol. 77, No. 6. P. 956–960.
17. Hoon Lee, Heechan Cho, Jihoe Kwon. Powder Technology. Using the discrete element method to analyze the breakage rate in a centrifugal/vibration mill/ Department of Energy Systems Engineering, Seoul National University, South Korea. Seoul. 2010. Vol. 198, Iss. 3. P. 364–372.
18. Ladaev N.M., Gujumdzhjan P.P., Zhbanova E.V. O kriterii razrusheniya odinochnyh chastic hrupkih materialov udarom / Informacionnaja sreda vuza. XV Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija. Ivanovo, 2008. P. 837–839.
19. Gujumdzhjan P.P. Zakonomernosti razrusheniya odinochnyh chastic udarom // Sb. trudov Ivanovskoj gosudarstvennoj arhitekturno-stroitel'noj akademii. Ivanovo: IGASA, 1999. P. 38–41.
20. Baron L.I., Konjashin Ju.G. Nauchnye osnovy racional'nyh rezhimov razrusheniya gornyh porod mehanicheskimi sposobami pri dinamicheskom prilozhenii nagruzki. M.: In-t gornogo dela im. Skochinskogo, 1986. 57 p.
21. Lipanov A.M., Denisov V.A., Prichinin A.E. Model' processa izmel'chenija v udarno-centrobezhnoj mel'nice MMS-1500-900-10 // Mezhdunar. kongress po upravleniju othodami (VjejestTjek-2005): sb. dokl. M.: SIBIKO Int., 2005. P. 203–204.
22. Levdanskij A.Je. Issledovanie udarno-centrobezhnogo izmel'chenija materialov // Inzh.-fiz. Zhurnal. 2004. Vol. 77, No. 5. P. 46–51.
23. Smirnov N.M. Sovershenstvovanie processov i oborudovaniya dlja udarnogo izmel'chenija materialov razlichnoj abrazivnosti: Diss. ... d-ra tehn. nauk. Ivanovo, 1997. 390 p.
24. Vlasov O.E., Smirnov S.A. Sravnenie pokazatelej rabot razlichnyh izmel'chitelej // Teor. Osnovy Him. Tehnologii. 1986. Vol. 2, No. 4. P. 831–837.
25. Baron L.I., Veselova G.M., Konjashin Ju.G. Jeksperimental'nye issledovaniya gornyh porod udarom. M.: AN SSSR, 1962. 219 p.
26. Ladaev N.M., Vaganov F.A., Gujumdzhjan P.P. O davlenii, voznikajushhem v hrupkom materiale pri udare // Informacionnaja sreda vuza. XV Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija. Ivanovo, 2008. P. 833–836.
27. Buss B. Uber die Einzelkornprall zerkleinerung von Steinsalz und anderen Stoffen // Bergakademie. 1980. Vol. 22, No. 10. P. 592–598.
28. Revnivcev V.I., Gaponov V.G., Zagoratskij L.P. i dr. Selektivnoe razrushenie mineralov. M.: Nedra, 1988. 286 p.
29. Saravacos G., Kostaropoulos A.E. Handbook of Food Processing Equipment/Part of the series Food Engineering Series Date: 30 December 2015/Mechanical Processing Equipment. P. 149–232.
30. Matveev A.I., L'vov E.S., Vinokurov V.R. Novoe v rudopodgotovke – apparaty droblenija i izmel'chenija mnogokratnogo udarnogo dejstvija // Gorn. inform.-analit. bjul. 2016. No. 8 (special'nyj vypusk No. 21). P. 242–252.
31. Patent No. 2198028, 7 V 02 S 13/20. Centrobezhnyj izmel'chitel' /Matveev A.I., Grigor'ev A.N., Vinokurov V.R. / In-t gorn. dela Severa SO RAN. Zajavl. 11.01.01; Opubl. 10.02.2003 // Izobretenija. Poleznye modeli. 2003. No. 4, Pt. 2. P. 338.
32. Patent No. 2150323 7 V 02 S 13/20. Centrobezhnyj izmel'chitel' vstrechnogo udara / Matveev A.I., Grigor'ev A.N., Filippov V.E. / In-t gorn. dela Severa SO RAN. Zajavl. 28.10.97; Opubl. 10.06.2000 // Izobretenija. Poleznye modeli. 2000. No. 16. Pt. 2. P. 268.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ НОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ГОРНЫХ ПОРОД

33. Patent No. 2322299/2006.01 Rossijskaja Federacija. VO2S13/00/ Centrobezhnyj apparat dezintegracii; Matveev A.I., Grigor'ev A.N.; zjavitel' i patentobladatel' Uchrezhdenie Ros. akad. nauk In-t gorn. dela Severa im. N. V. Cherskogo Sib. otd-nija Ros. akad. nauk. No. 2006106684/03; zjavl. 03.03.2006; opubl. 20.04.2008, Bjul. №11

About the authors

MATVEEV Andrey Innokentievich, doctor of technical sciences, full member of the academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), chief researcher, Chersky Institute of Mining of the North SB RAS, 43 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-4298-599>, andrei.mati@yandex.ru;

VINOKUROV Vasily Romanovich, junior researcher, Chersky Institute of Mining of the North SB RAS, 43 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-5698-7922>, vaviro@mail.ru.

Citation

Matveev A.I., Vinokurov V.R. Development of the design of a new chopper of combined action // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, No. 3. P. 63–73. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-3-6>