

Научная статья

УДК 629.018+629.3.024

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-54-64

Лагунова Юлия Андреевна^{1,2}, Калянов Александр Евгеньевич¹,
Жилинков Александр Александрович^{1,2}, Разбитнов Сергей Леонидович^{1,4}
Буялич Геннадий Даниилович³

¹ Уральский государственный горный университет² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина³ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева⁴ ООО «Груберский щебеночный завод»* для корреспонденции: yu.lagunova@mail.ru

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНУСНЫХ ДРОБИЛОК НА ЩЕБЕНОЧНЫХ КАРЬЕРАХ



Информация о статье

Поступила:

01 ноября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 ноября 2024 г.

Принята к печати:

24 ноября 2024 г.

Опубликована:

12 декабря 2024 г.

Ключевые слова:

эффективность эксплуата-
ции; конусные дробилки мелко-
го дробления; физико-
механические свойства горных
пород; экспериментальные
данные; камера дробления

Аннотация.

Рассмотрены предложения по повышению эффективности эксплуатации конусных дробилок. Показано, что эффективность эксплуатации конусных дробилок напрямую связана с физико-механическими свойствами дробимого материала, их влиянием на профиль камеры дробления конусных дробилок и влиянием зазора эксцентрикового узла. Настоящая работа посвящена проблеме необходимости проведения обязательных предпроектных исследований. Проведенный анализ показал возможность совершенствования рабочего процесса за счет исключения прессования материала в некоторых зонах камеры дробления, увеличения пропускной способности камер дробления, управления процессом дробления. В качестве выводов предложено ряд рекомендаций по совершенствованию рабочего процесса в конусных дробилках мелкого дробления. Рекомендации должны учитывать расположение дробилки в технологической цепочке дробильно-сортировочной фабрики, физико-механические свойства дробимых материалов (позволяющие регламентировать условия эксплуатации дробилок), оценку точности изготовления деталей и узлов дробилки, образующих камеру дробления, что обеспечивает расчетные параметры процесса дробления. Приведены результаты экспериментальных данных по определению физико-механических свойств и характеристик дробимости материалов Баженовского месторождения, Хустской руды и Междуреченского сланца. Показан пример спроектированной брони неподвижного конуса с повышенными технологическими показателями для конкретных условий эксплуатации. Даны рекомендации по конструктивному совершенствованию дробилки для реализации необходимых параметров режима эксплуатации и надежности машины

Для цитирования: Лагунова Ю.А., Калянов А.Е., Жилинков А.А., Разбитнов С.Л., Буялич Г.Д. Предложения по повышению эффективности эксплуатации конусных дробилок на щебеночных карьерах // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 6 (176). С. 54-64. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-54-64, EDN: VKRKVR

Введение

Современные технический уровень и технологические режимы эксплуатации конусных дробилок заметно отстают от их действительных возможностей. Это приводит к снижению эффективности их использования по таким показателям, как удельный расход электроэнергии, удельный расход броней,

качество дробленого материала, оперативность проведения профилактических и аварийных ремонтов, эффективность учета расхода запасных частей (брони, детали эксцентрикового узла и др.) и оценка их качества.

Теоретические основы научно-технического задела по математическому описанию рабочего про-

Табл. 1. Экспериментальные данные по определению коэффициента трения покоя
Table 1. Experimental data for determining the coefficient of static friction

Серия	Номер образца	Угол наклона плоскости, град.				Коэффициент трения покоя, k
		φ_1	φ_2	φ_3	φ_{cp}	
Баженовская руда (1)	1	22,5	25,5	20,0	22,5	0,467
	2	27,0	25,0	25,2	25,2	
	3	20,0	29,0	26,0	25,0	
	4	24,5	20,0	25,0	23,2	
	5	23,0	30,5	29,0	27,5	
	6	28,0	24,0	26,5	26,2	
	7	27,0	24,0	24,0	25,0	
	8	26,0	23,5	24,5	24,7	
	9	26,0	24,0	24,0	24,7	
	10	28,0	25,0	26,5	26,5	
Хустский гранит (2)	1	22	21	20	21,0	0,39
	2	19	22	18	19,7	
	3	22	19	22	21,0	
	4	19	27	26	24,0	
	5	21	23	20	21,3	
	6	19	17	25	20,3	
	7	27	21	22	23,3	
	8	24	22	20	22,0	
	9	19	8	19	18,7	
	10	27	21	24	24,0	
Междуреченский сланец (3)	1	34	27	26	29,0	0,43
	2	25	18	17	20,0	
	3	21	31	21	24,3	
	4	23	30	18	23,7	
	5	21	27	21	23,0	
	6	24	21	24	23,0	
	7	21	25	18	21,3	

Табл. 2. Экспериментальные данные по определению коэффициента трения движения
Table 2. Experimental data for determining the coefficient of friction of motion

Серия	Угол наклона, φ	Номер образца	Время движения куска, с.				Коэффициент трения движения, k_1
			t_1	t_2	t_3	t_{cp}	
Баженовская руда (1)	28	1	0,96	1,2	1,16	1,11	0,31
		2	1,35	1,04	1,03	1,14	
		3	0,99	1,00	0,80	0,93	
		4	1,00	0,83	0,98	0,94	
		5	0,97	1,22	1,34	1,18	
		6	0,96	0,91	0,89	0,92	
		7	1,15	1,21	1,20	1,19	
		8	1,26	1,38	1,75	1,46	
		9	1,32	1,35	1,21	1,29	
		10	1,26	1,17	1,20	1,21	
Хустский гранит (2)	25	1	1,35	1,50	1,42	1,42	0,304
		2	1,28	1,23	1,32	1,28	
		3	1,69	1,55	1,81	1,68	
		4	1,68	1,56	1,39	1,54	
		5	0,75	0,88	1,33	0,99	
		6	1,32	1,12	1,15	1,20	
		7	1,60	1,36	1,20	1,39	
		8	1,16	1,20	1,18	1,18	
		9	1,4	1,11	1,12	1,21	
		10	1,14	1,11	1,07	1,11	
Междуреченский сланец (3)	27	1	0,91	1,00	1,11	1,01	0,302
		2	0,76	0,93	0,78	0,82	
		3	1,20	1,04	1,02	1,09	
		4	1,20	1,63	0,92	1,25	
		5	1,56	1,08	1,64	1,43	
		6	1,45	1,08	1,33	1,29	
		7	1,55	1,18	0,90	1,21	

цесса, происходящего в камере дробления конусной дробилки мелкого дробления, изложены в многочисленных работах В. А. Масленикова, Ю. А. Муйземнека и др. [1-5].

Именно параметры рабочего процесса разрушения дробимого материала в камере дробления с обязательным учетом его физико-механических свойств позволяют дать оценку эффективности ис-

пользования конусных дробилок в зависимости от тех или иных технологических условий эксплуатации. Оценка непременно должна быть комплексной с учетом состояния дробилки – износа броней и деталей эксцентрикового узла, то есть с учетом зазоров в этом узле и неравномерности ширины зоны дробления по периметру камеры дробления на разных ее уровнях [6-10].

Повышение эффективности эксплуатации конусных дробилок [11-17] возможно, если улучшить технический уровень их использования, который включает:

- правильный выбор дробилки и выбор технологического режима ее эксплуатации (производительность, крупность питания и продукта);
- контроль режимов эксплуатации и состояние самой дробилки (разноразмерность ширины разгрузочной щели, зазоров в эксцентриковом узле и др.);
- учет и сопоставление режимов и результатов работы.

Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации конусных дробилок базируется на теории рабочего процесса, когда разрушение кусков и осколков реализуется сжимающими силами по принципу «кусок о броню», и на оценках эффективности рабочего процесса и технического уровня эксплуатации. Наибольшая эффективность работы обогатительной фабрики достигается при оптимальном соответствии параметров дробильно-размольного оборудования физико-механическим характеристикам горных пород. Параметры машин должны быть приспособлены к определенным свойствам горных пород. Именно поэтому было проведено сравнение физико-механических свойств дробимых материалов, характерных для Баженовского месторождения, Хустской руды и Междуреченского сланца.

Методы

Основными физико-механическими свойствами дробимых материалов для проектирования профиля камеры дробления конусной дробилки являются коэффициенты трения покоя и движения, а также эквивалентный коэффициент трения при ударе. Величины коэффициентов трения определяли с помощью трибометра, представляющего собой плоскость скольжения, угол наклона которой может изменяться. Опыты проводились по четырем сериям, в каждой из которых оценивалась порода конкретного месторождения (Баженовского, Хустского, Междуреченского). С каждым образцом в серии опыт повторялся 3 раза. Полученные данные по коэффициентам трения покоя и движения сведены в Таблицы 1 и 2. Результаты каждого исследования подвергнуты статистической обработке для выявления среднего значения параметра и его дисперсии.

Для определения величины коэффициента трения при ударе также использовался трибометр. Кусок породы (образец) сбрасывали на плоскость скольжения с фиксированной высоты, равной 0,045 м, и с помощью электросекундомера измеряли время скольжения.

Коэффициент трения при ударе определен по формуле:

$$f_0 = \tan \varphi - \frac{l - 0,5g(\sin \varphi - k_1 \cos \varphi)t_{\text{ср}}^2}{t_{\text{ср}}\sqrt{2gh} \cos \varphi}, \quad (1)$$

где φ – угол наклона плоскости скольжения трибометра; l – длина плоскости скольжения, м; k_1 – коэффициент трения скольжения при движении; $t_{\text{ср}}$ – время прохождения пути l , с; h – высота падения образца породы на плоскость скольжения, м; g – ускорение свободного падения.

Статистические характеристики величины угла трения покоя для исследуемых месторождений составили:

- Баженовская руда (среднее значение угла – 25,05 град; дисперсия – 1,477; коэффициент вариации – 5,89%);
- Хустский гранит (среднее значение угла – 21,53 град; дисперсия – 3,219; коэффициент вариации – 8,34 %);
- Междуреченский сланец (среднее значение угла – 23,47 град; дисперсия – 8,060; коэффициент вариации – 12,1 %);

При подстановке статистических характеристик в формулу (1) получено значение коэффициента трения при ударе f_0 с учетом угла наклона плоскости в 36 градусов, данные сведены в Таблицу 3.

Технологический процесс дробления основан на использовании физического свойства дробимости горных пород. Поэтому проводимые исследования дробимости горных пород предусматривали эксперимент по разрушению одиночных образцов неправильной формы сжимающими силами и анализ гранулометрического состава (грансостав) продуктов разрушения. Отдельные куски пород и их многослойные укладки имеют верхний предел восприятия внешней нагрузки сжатия, определяемый величиной относительной деформации прессования. Реакция горных пород на нагрузку сжатия является их физическим свойством, то есть неуправляема, не может изменяться по воле проектанта дробилки и, следовательно, должна учитываться при расчете (проектировании) камеры дробления в своем неизменном виде.

В ходе лабораторного эксперимента разрушению на прессе подвергались образцы трех размерных групп (50, 60 и 70 мм по толщине кусков). Отбор образцов производился без учета изометричности, то есть практически использовались куски любой формы, фиксировалась только их толщина (наименьший размер). Были скомплектованы серии по 5 штук в каждой, затем куски каждой серии разрушались при уровне относительной деформации 20, 30, 40, 50% и прессовании. Образцам был присвоен индекс (первая цифра – номер серии, вторая – номер образца). Образцы измеряли и взвешивали, выборочно фиксировали уровень деформации первичного разрушения (появление трещин), который составил 6%. Каждый разрушенный образец подвергался рассеиву на стандартных лабораторных ситах с круглыми отверстиями размером 2, 5, 10, 12, 16, 20 и 40 мм. Результат отсева каждой серии получен в виде кумулятивных кривых грансостава (Рис. 1-3). Числовые значения характеристик круп-

Табл. 3. Экспериментальные данные по определению коэффициента трения при ударе
Table 3. Experimental data for determining the coefficient of friction during impact

Серия	Номер образца	Время движения куска, с				Коэффициент трения при ударе, f_0
		t_1	t_2	t_3	t_{cp}	
Баженовская руда (1)	1	1,05	0,98	0,95	0,993	0,36
	2	0,89	0,96	1,06	0,970	
	3	0,96	0,91	0,99	0,953	
	4	1,02	1,05	0,98	1,017	
	5	0,94	0,96	1,00	0,967	
Хустский гранит (2)	1	1,05	1,06	1,18	1,097	0,45
	2	0,76	0,80	0,86	0,810	
	3	0,76	0,86	0,79	0,800	
	4	0,83	0,62	0,75	0,730	
	5	0,87	0,87	0,87	0,870	
	6	0,82	0,73	0,90	0,820	
	7	0,92	0,86	0,85	0,880	
	8	0,81	0,92	0,90	0,880	
	9	0,99	0,98	0,99	0,990	
	10	0,98	0,95	0,93	0,950	
Междуреченский сланец (3)	1	0,90	0,91	0,87	0,89	0,52
	2	0,89	0,84	0,82	0,85	
	3	0,88	0,90	0,85	0,88	
	4	0,91	0,85	0,92	0,89	
	5	0,86	0,88	0,92	0,89	
	6	0,99	1,01	0,95	0,98	
	7	0,88	0,84	0,88	0,87	

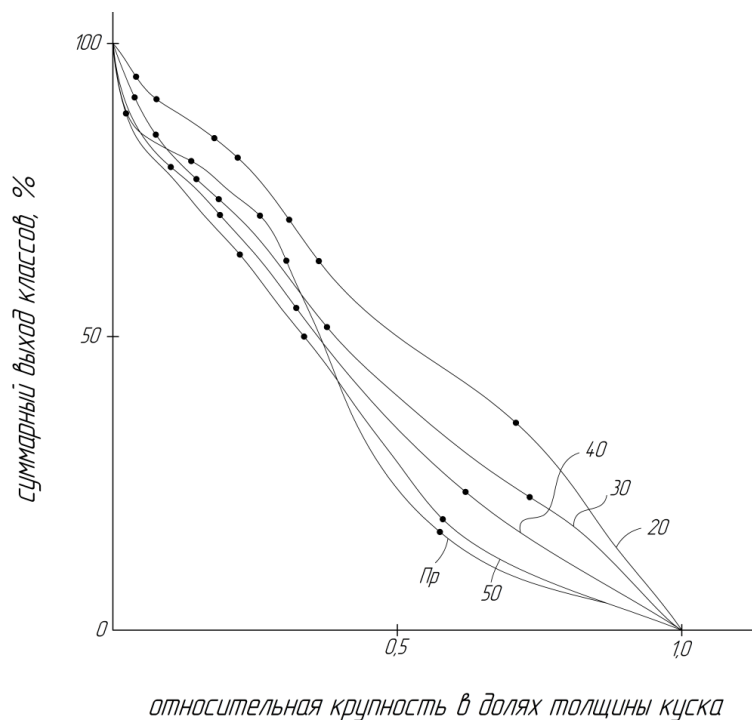


Рис. 1. Гранулометрический состав продуктов разрушения сжатием пород Баженовского месторождения при различных деформациях
Fig. 1. Granulometric composition of the products of destruction by compression of rocks Bazhenovskoye field at various deformations

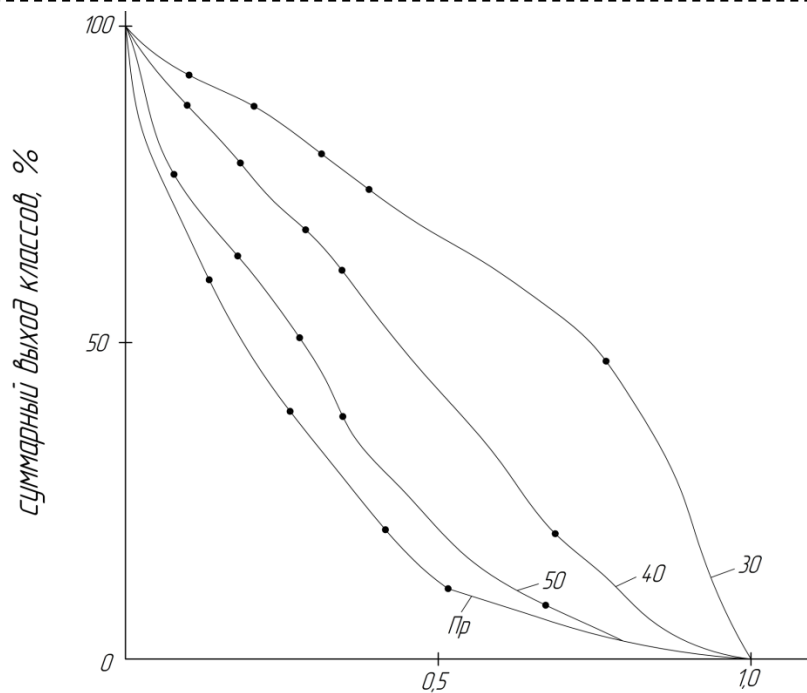
ности продуктов разрушения приведены в Таблице 4. На Рис. 4 приведены зависимости максимального осколка и усилия сжатия от относительной деформации.

Полученные экспериментальные данные являются основанием для проектирования профиля камеры дробления, в которой не должно возникать неблагоприятных нагрузок – прессования кусков, и

процесс разрушения куска должен быть эффективным по всему сечению камеры.

Результаты исследования и рекомендации

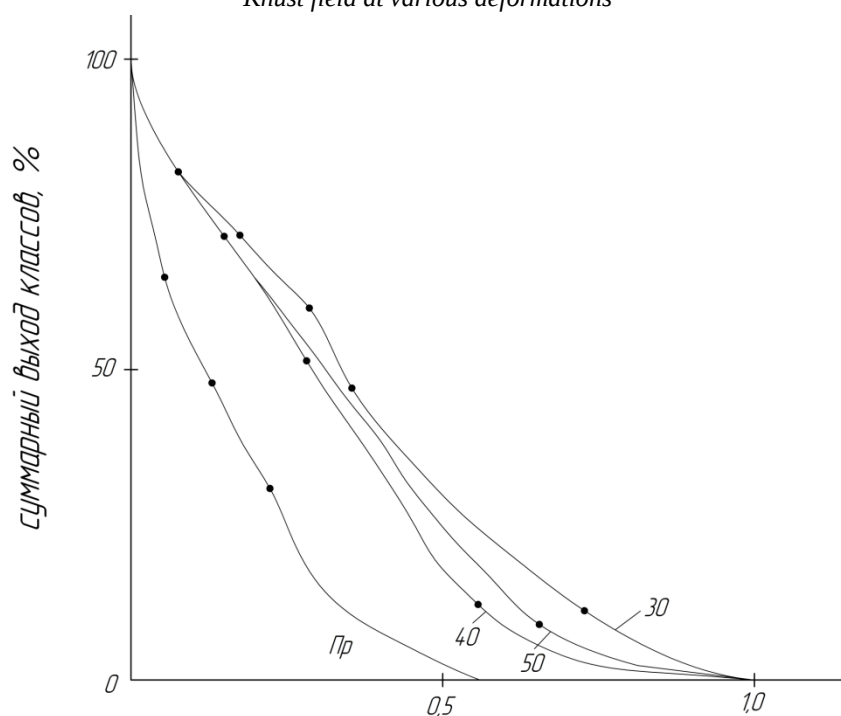
Проблема определения оптимального режима эксплуатации, обеспечивающего минимально допустимую крупность продукта, имеет конструктивные ограничения, а процесс дробления – характеристику: разрушение «в слое» или «кусок о броню»,



относительная крупность в долях толщины куска

Рис. 2. Гранулометрический состав продуктов разрушения сжатием пород Хустского месторождения при различных деформациях

Fig. 2. Granulometric composition of the products of destruction by compression of rocks Khust field at various deformations



относительная крупность в долях толщины куска

Рис. 3. Гранулометрический состав продуктов разрушения сжатием пород Междуреченского месторождения при различных деформациях

Fig. 3. Granulometric composition of the products of destruction by compression of rocks Mezhdurechenskoye field at various deformations

расход энергии на дробление, усилие дробления и производительность. Ограничением крупности продукта при разрушении «кусок о броню» является необходимая производительность, исключение эф-

фекта прессования оригинальных кусков материала и их осколков, разноразмерность ширины разгрузочной щели, являющейся следствием погрешности изготовления деталей, образующих камеру дробле-

Табл. 4. Экспериментальные данные по дробимости руд

Table 4. Experimental data on ore crushability

Месторождение	Номер образца	Исходный кусок		Деформация, %		Толщина максимального осколка, мм
		масса, г	толщина, мм	заданная	фактическая	
Баженовская руда (1)	11	565	56	20	14,5	36
	12	1045	57	20	26,0	19
	13	430	61	20	31,0	20
	14	760	55	20	20,0	43
	15	695	56	20	23,0	25
	21	585	54	30	35,0	30
	22	495	53	30	28,0	25
	23	610	57	30	38,0	29
	24	800	56	30	29,0	38
	25	800	57	30	29,8	25
	31	795	68	40	35,0	36
	32	1280	65	40	40,0	17
	33	975	66	40	42,0	38
	34	1025	65	40	38,0	33
	35	715	67	40	37,0	36
	41	845	70	50	49,0	33
	42	1045	65	50	52,0	18
	43	865	70	50	50,0	28
	44	800	69	50	45,0	27
	45	870	70	50	49,2	25
	51	00	72	Пр	58,0	29
	52	1445	67	Пр	61,0	27
	53	865	67	Пр	58,0	26
	54	685	81	Пр	65,0	23
	55	760	63	Пр	62,0	20
Хустский гранит (2)	11	200	43	Пр	62,8	10
	12	575	39	Пр	48,7	21
	13	280	36	Пр	50,0	13
	21	330	48	30	25,0	35
	22	385	55	30	31,8	30
	23	400	61	30	31,1	30
	24	440	57	30	29,8	30
	25	235	44	30	27,3	24
	31	700	56	40	39,3	34
	32	630	52	40	42,3	29
	33	600	64	40	39,8	35
	34	885	67	40	40,3	25
	35	870	55	40	38,2	26
	41	580	59	50	49,6	16
	42	500	58	50	50,0	21
	43	635	63	50	52,4	26
	44	540	64	50	50,0	23
	45	730	54	50	50,0	17
Междуреченский сланец (3)	11	710	70	Пр	64,3	19
	12	680	74	Пр	70,3	19
	13	715	64	Пр	57,8	18
	14	840	79	Пр	69,6	17
	15	855	71	Пр	67,6	18
	21	990	51	30	31,4	32
	22	696	58	30	29,3	29
	23	860	52	30	28,8	37
	24	415	60	30	38,3	18
	25	485	54	30	27,8	20
	31	575	65	50	53,8	27
	32	885	55	50	47,3	23

ния, и неравномерности износа параллельной зоны камеры дробления. В реальных конусных дробилках параметры камеры дробления, определяющие деформацию кусков породы (размер ширины куска;

рабочий ход подвижного конуса, соответствующий номинальной деформации куска; ширина разгрузочной щели), также оказываются нестабильными, и изменение их зависит от особенностей конструк-

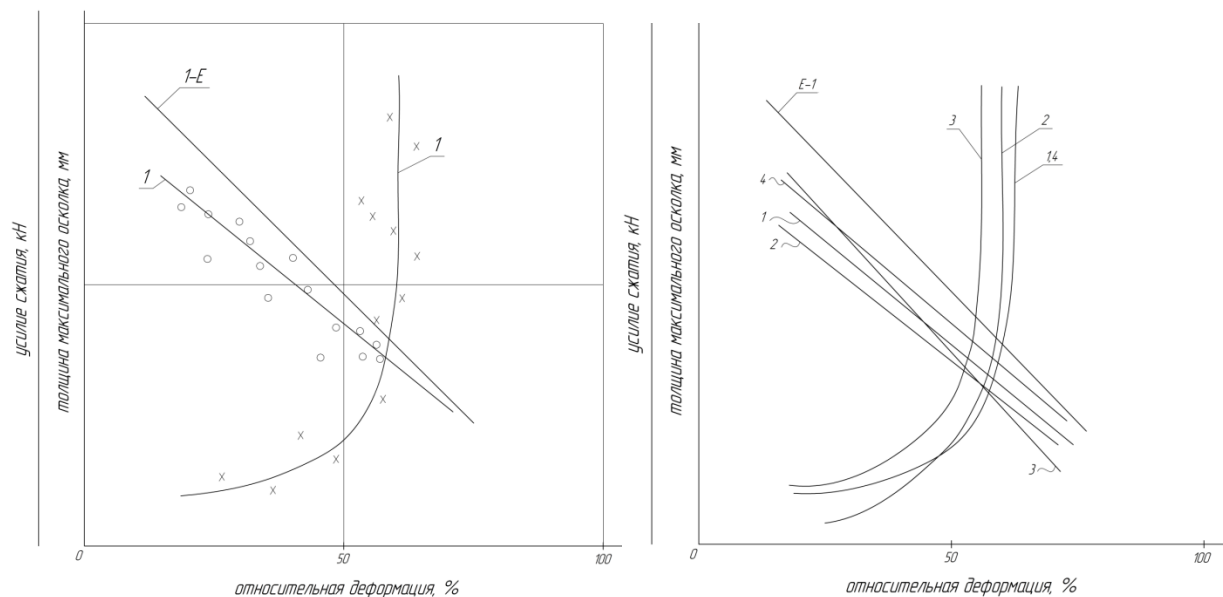


Рис. 4. Зависимости толщины максимального осколка куска породы и усилия сжатия от деформации разрушения следующих месторождений:

1 – Баженовское; 2 – Дегтярское; 3 – Хустское; 4 – Междуреченское

Fig. 4. Dependences of the thickness of the maximum fragment of a piece of rock and the compressive force from destruction deformation of the following deposits:

1 - Bazhenov; 2 - Degtyarskoye; 3 - Khust; 4 - Mezhdurechenskoye

ции и условий эксплуатации дробилки. Рассмотрим некоторые из них.

Влияние зазоров эксцентрикового узла. При дроблении ширина разгрузочной щели увеличивается примерно на величину суммарного радиального зазора в эксцентриковом узле [2]. Увеличение ширины разгрузочной щели происходит также вследствие деформации корпусных деталей. Это необходимо учитывать при оценке возможностей камер дробления в части оценки действительных деформаций, которые испытывают куски и осколки в камере дробления.

При эксплуатации дробилки подшипники эксцентрикового узла разрабатываются, а зазоры увеличиваются. Это приводит к нестабильности параметров разрушения материала в камере дробления и результатов дробления. Износ эксцентрикового узла можно компенсировать соответствующим уменьшением ширины разгрузочной щели, если измерение ее производить на холостом ходу. Минимизация зазоров эксцентрикового узла лимитируется точностью его изготовления, которая и оказывает непосредственное влияние на эксплуатационные показатели конусных дробилок.

Влияние точности изготовления деталей, образующих камеру дробления, и их износа. Основное влияние на общую погрешность профиля камеры дробления, связанную с неточностью изготовления деталей и узлов, оказывает резьбовое соединение регулирующего кольца и опорной чаши. Опыт эксплуатации конусных дробилок среднего и мелкого дробления показывает, что резьбовое соединение для обеспечения условий сборки выполняется с большими зазорами, которые в процессе эксплуатации дополнительно разрабатываются и увеличиваются, что негативно сказывается на эффективности процесса дробления.

Предложения по снижению крупности дробленого материала базируются на повышении эффективности рабочего процесса в камере дробления, которое достигается как за счет согласования грансостава питания и камеры дробления, так и за счет совершенствования профиля самой камеры дробления.

В ранних инструкциях по эксплуатации дробилок типа КМД УЗТМ была принята такая редакция: «... питании дробилки должно содержаться не менее 15% фракции, превышающей ширину приемной щели в закрытом состоянии». В последующих инструкциях это требование скорректировано следующим образом: «...оптимальная производительность дробилки типа КМД может быть достигнута лишь при кондиционном питании, в котором фракция с кусками ($-d...+0,6d$) должна составлять 15-20%, где d – наибольший размер кусков питания». Здесь видны, по нашему мнению, по крайней мере, две неточности регламентирования условий эксплуатации.

1. Наибольший допустимый размер кусков в питании устанавливается условно и принимается меньшим, чем ширина приемной щели на открытой стороне. Например, для дробилок КМД-2200Гр ширина приемной щели на открытой стороне принята 140 мм, а наибольший размер кусков в питании – 110 мм, что явно не связано с шириной приемной щели на закрытой стороне камеры дробления.

2. Средний размер куска d , как правило, устанавливается рассевом на ситах с круглыми и квадратными отверстиями. В камере дробления куски ориентируются по периметру камеры дробления по своей толщине, то есть крупность кусков питания регламентируется не по тому параметру, который определяет положение куска в камере дробления. В

некоторых случаях куски породы могут получить предельную деформацию (прессование) уже на первом шаге дробления, а второй акт разрушения уже не произойдет. Этим объясняются ограничения по возможной ширине разгрузочной щели и невозможности получения более мелкого материала.

Выводы

На примере щебеночного производства ПАО «Ураласбест» можно сделать следующие заключения и рекомендации по повышению эффективности эксплуатации конусных дробилок и снижению крупности дробленого материала.

1. Конусные дробилки мелкого дробления вследствие несоответствия грансостава питания и камеры дробления эксплуатируются неэффективно. Так, степень сокращения материала в них при опробовании составила 2,75; 2,93 (КМД-4, КМД-3). В дробилках не реализуется гарантированный двухшаговый процесс дробления, а уменьшение ширины разгрузочной щели при сохранении грансостава питания приводит к прессованию осколков уже на первом шаге дробления.

2. Физико-механические свойства руд Баженовского месторождения по сравнению с другими породами имеют меньшие коэффициенты трения, поэтому их можно отнести к «быстрым» рудам. Оптимальность технологических параметров дробилки обеспечивается соответствием ее характеристик характеристикам перерабатываемого материала.

3. Необходимо модернизировать конусные дробилки типа КМД в условиях щебеночного производства ПАО «Ураласбест» путем изменения геометрии профиля камеры дробления для исключения прессования кусков породы и достижения необходимого числа зажатий кусков и осколков для получения гарантированного гранулометрического состава продукта дробления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Масленников В. А. Математические модели технических систем «Камера дробления дробилки КМД», «Рабочий процесс дробилки КМД» // Изв. Уральского горного института. Сер.: Горная электромеханика. 1993. Вып. 4. С. 9–49.
2. Муйземнек Ю. А., Лагунова Ю. А. Влияние погрешности изготовления на технологические параметры конусных дробилок // Изв. вузов. Горный журнал. 1991. № 8. С. 66–70.
3. Муйземнек Ю. А. Повышение технического уровня эксплуатации – средство повышения эффективности использования конусных дробилок // Тяжелое машиностроение. 1991. № 6. С. 23–25.
4. Лагунова Ю. А. Определение комплексной характеристики свойства дробимости горных пород // Изв. вузов. Строительство. Новосибирск. 1998. № 1. С. 116–118.
5. Анциферов С. И., Сычев Е. А., Карачевцева А. В., Обернихин А. А. Усовершенствованная

конструкция брони подвижного конуса в конусной дробилке для горнорудной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № (12–2). С. 17–33. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-122-0-17.

6. Ma Y., Fan X., He Q. Prediction of Cone Crusher Performance Considering Liner Wear // Applied Sciences. 2016. № 6(12). 404. DOI: 10.3390/app6120404.

7. Ибраева Н. Р., Лагунова Ю. А. К вопросу диагностики технического состояния привода конусной дробилки на основе нейронных сетей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 11–1. С. 162–170. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-111-0-162.

8. Numbi B. P., Xia X. Optimal energy control of a crushing process based on vertical shaft impactor // Appl. Energy. 2016. № 162. Pp. 1653–1661.

9. Delaney G. W., Morrison M. D., Cummins S., Cleary P. W. DEM modeling of non-spherical particle breakage and flow in an industrial scale cone crusher // Miner. Eng. 2015. № 74. Pp. 112–122.

10. Zhang Z.; Ren T.; Cheng J. Constant Wear Criterion for Optimization of the Crushing Chamber of Cone Crushers. *Minerals*, 2022, 12, 807. DOI: 10.3390/min12070807.

11. Yang J., Feng F., Ma J., Shi J. Wear Law and Parameter Optimization Study on the Split Cone of a Vertical Shaft Impact Crusher // Math. Prob. Eng. 2021. 9976571. DOI: 10.1155/2021/9976571.

12. Belov N. V., Borodina M. B., Smirnova O. A., Chasovskikh A. S. Failure analysis of main components of cone crushers // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2021. № 3. Pp. 17–27. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-3-0-17-27.

13. Мнацаканян В. У., Бойко П. Ф. Технология восстановления работоспособности эксцентриковых стаканов дробильных агрегатов // Технология машиностроения. 2011. № 2. С. 38–39.

14. Napolskikh S. A., Lipatov A. G., Furin V. O., Zhuravlev A. G. Improvement of primary crushing technology for stollensky ferruginous quartzite using updated gyratory crushers manufactured kkd-1500/180 // Gornyi Zhurnal. 2021. № 6. Pp. 41–46. DOI: 10.17580/gzh.2021.06.02.

15. Мусина З. Ж., Куанышев Г. И. Разработка инноваций в конструкцию конусной дробилки для обработки твердых камней и обоснование основных параметров // News of Science and Education. 2017. Т. 3. № 10. С. 006–009.

16. Фурин В. О., Федулов К. А., Турьянский Б. В. Интеллектуальные конусные дробилки ПАО «Уралмашзавод» // Горная промышленность. 2016. № 6(130). С. 15.

17. Сахаров Д. Ф., Витушкин А. В. Энергоэффективность конусной дробилки с упорами // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2022. Т. 65. № 10. С. 733–739.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Лагунова Юлия Андреевна, проф., доктор техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3828-434X>, e-mail: yu.lagunova@mail.ru.

Калянов Александр Евгеньевич, доцент, канд. техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-6905-0416>, e-mail: aleksandr.kalyanov@m.ursmu.ru

Жилинков Александр Александрович, канд. техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3252-8577>, e-mail: zhilinkov@m.ursmu.ru

Разбитнов Сергей Леонидович, аспирант, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), Главный инженер ООО «Грубский щебеночный завод» (620100, Россия, г. Екатеринбург, пер. Базовый, 20).

Буялич Геннадий Данилович, доктор тех. наук, профессор, (Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: gdb@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Лагунова Юлия Андреевна — генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, научный менеджмент, написание текста статьи.

Калянов Александр Евгеньевич — математическая обработка результатов эксперимента

Жилинков Александр Александрович — подготовка и проведение эксперимента, анализ результатов.

Разбитнов Сергей Леонидович — проведение промышленных испытаний.

Буялич Геннадий Данилович — сбор и анализ данных, написание текста, оформление статьи по требованиям.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-54-64

Yuliya A. Lagunova^{1,2}, **Aleksander E. Kalyanov**¹, **Aleksander A. Zhilinkov**^{1,2},
Sergey L. Razbitnov^{1,4}, **Gennady D. Buyalich**³

¹ Ural State Mining University

² Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin

³ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

⁴ Limited Liability Company "Grubersky Crushed Stone Plant"

* for correspondence: yu.lagunova@mail.ru

SUGGESTIONS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF OPERATION OF CONE CRUSHERS IN CRUSHED STONE QUARRYS



Article info

Received:

01 November 2024

Accepted for publication:

15 November 2024

Accepted:

24 November 2024

Abstract.

Proposals for improving the efficiency of operation of cone crushers are considered. It is shown that the efficiency of operation of cone crushers is directly related to the physical and mechanical properties of the crushed material, their influence on the profile of the crushing chamber of cone crushers, and the influence of the gap of the eccentric assembly. This work is devoted to the problem of the need for mandatory pre-project studies. The analysis showed the possibility of improving the workflow due to: exclusion of material pressing in some areas of the crushing chamber, increasing the throughput of the crushing chambers, and controlling the crushing process. As a conclusion, a number of recommendations are proposed for improving the workflow in cone crushers for fine crushing. Recommendations should take into account the location of the crusher in the technological chain of the crushing and screening plant, the assessment of the physical and mechanical properties of the crushed materials (allowing

Published:
12 December 2024

Keywords: operating efficiency; cone crushers for fine crushing; physical and mechanical properties of rocks; experimental data; crushing chamber

to regulate the operating conditions of the crushers), the assessment of the accuracy of manufacturing parts and assemblies of the crusher that form the crushing chamber, which provides the design parameters of the crushing process. The results of experimental data on the determination of physical and mechanical properties and crushability characteristics of materials from the Bazhenov deposit, Khust ore and Mezhdurechensk shale are presented. An example of a designed armor of a fixed cone with increased technological performance for specific operating conditions is shown. Recommendations are given for the structural improvement of the crusher to implement the necessary parameters of the operating mode and reliability of the machine

For citation: Lagunova Yu. A., Kalyanov A. E., Zhilinkov A. A., Razbitnov S.L., Buyalich G.D. Suggestions to improve the efficiency of operation of cone crushers in crushed stone quarries. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2024; 6(176):54-64 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-54-64, EDN: VKRKVR

REFERENCES

1. Maslennikov V.A. Mathematical models of technical systems "KMD crusher crushing chamber", "KMD crusher workflow". *Izv. Ural'skogo gornogo instituta. – Ser.: Gornaya elektromekhanika*. 1993; 4:9–49. [In Rus]
2. Mujzemnek Yu. A., Lagunova Yu. A. Influence of manufacturing error on technological parameters of cone crushers. *Izv. vuzov. Gornyj zhurnal*. 1991; 8:66–70. [In Rus]
3. Mujzemnek Yu. A. Increasing the technical level of operation is a means of increasing the efficiency of using cone crushers. *Tyazheloe mashinostroenie*. 1991; 6:23–25. [In Rus]
4. Lagunova Yu. A. Determination of the complex characteristic of the property of rock fragmentation. *Izv. vuzov. Stroitel'stvo*. 1998; 1:116–118. [In Rus]
5. Anciferov S.I., Sychev E.A., Karachevceva A.V., Obernihin A.A. Advanced design of Movable Cone Armor in Cone Crusher for Mining Industry. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*. 2022; 12(2):17–33. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-122-0-17. [In Rus]
6. Ma Y., Fan X., He Q. Prediction of Cone Crusher Performance Considering Liner Wear. *Applied Sciences*. 2016; 6(12):404. DOI: 10.3390/app6120404.
7. Ibraeva N. R., Lagunova YU. A. On the issue of diagnostics of the technical condition of the cone crusher drive based on neural networks. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*. 2021; 11(1):162–170. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-111-0-162. [In Rus]
8. Numbi B.P., Xia X. Optimal energy control of a crushing process based on vertical shaft impactor. *Appl. Energy*. 2016; 162:1653–1661.
9. Delaney G.W., Morrison M.D., Cummins S., Cleary P.W. DEM modeling of non-spherical particle breakage and flow in an industrial scale cone crusher. *Miner. Eng.* 2015; 74:112–122.
10. Zhang, Z.; Ren, T.; Cheng, J. Constant Wear Criterion for Optimization of the Crushing Chamber of Cone Crushers. *Minerals*. 2022; 12:807. DOI: 10.3390/min12070807.
11. Yang J., Feng F., Ma J., Shi J. Wear Law and Parameter Optimization Study on the Split Cone of a Vertical Shaft Impact Crusher. *Math. Prob. Eng.* 2021; 9976571. DOI: 10.1155/2021/9976571.
12. Belov N.V., Borodina M.B., Smirnova O.A., Chasovskikh A.S. Failure analysis of main components of cone crushers. (2021). *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021; 3:17–27. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-3-0-17-27.
13. Mnacakanyan V.U., Bojko P.F. Technology for restoring the operability of eccentric cups of crushing units. *Tekhnologiya mashinostroeniya*. 2011; 2:38–39. [In Rus]
14. Napol'skikh S.A., Lipatov A.G., Furin V.O., Zhuravlev A.G. Improvement of primary crushing technology for stoilensky ferruginous quartzite using updated gyratory crushers manufactured kkd-1500/180. *Gornyi Zhurnal*. 2021; 6:41–46. DOI: 10.17580/gzh.2021.06.02.
15. Musina Z.Zh., Kuanyshhev G.I. Development of innovations in the design of a cone crusher for processing hard stones and substantiation of the main parameters // *News of Science and Education*. 2017; 3(10):006–009.
16. Furin V.O., Fedolov K.A., Turyansky B.V. Intelligent cone crushers of PJSC Uralmashzavod. *Mining industry*. 2016; 130:15.
17. Sakharov D.F., Vitushkin A.V. Energy efficiency of a cone crusher with stops. *News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy*. 2022; 65:10:733–739.

© 2024 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Yuliya A. Lagunova, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ural State Mining University, (Russia, Yekaterinburg, 620144, Kuibyshev street, 30), Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, (Russia, Yekaterinburg, 620002, Str. Mira, 19), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3828-434X>, e-mail: yu.lagunova@mail.ru

Alexander E. Kalyanov, Candidate of Sciences in technology, Associate Professor, Ural State Mining University, (Russia, Yekaterinburg, 620144, Kuibyshev street, 30), ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-6905-0416>, e-mail: aleksandr.kalyanov@m.ursmu.ru

Aleksandr A. Zhilinkov, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Ural State Mining University, (Russia, Yekaterinburg, 620144, Kuibyshev street, 30), Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, (Russia, Yekaterinburg, 620002, Str. Mira, 19), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3252-8577>, e-mail: zhilinkov@m.ursmu.ru

Sergey L. Razbitnov, postgraduate student, Ural State Mining University (620144, Russia, Yekaterinburg, Kuibysheva St., 30), Chief Engineer of Grubersky Crushed Stone Plant LLC (620100, Russia, Yekaterinburg, Bazovy Lane, 20)

Gennady D. Buyalich, Dr. Sc. in Engineering, Professor, (T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Russia, Kemerovo, Vesennya st., 28), e-mail: gdb@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Yuliya A. Lagunova – generation of the research idea, formulation of the research problem, scientific management, writing the article.

Alexander E. Kalyanov – mathematical processing of the experimental results

Aleksandr A. Zhilinkov – preparation and conduct of the experiment, analysis of the results.

Sergey L. Razbitnov – conducting industrial tests.

Gennady D. Buyalich – data collection and analysis, writing a text, formatting an article according to requirements

Authors have read and approved the final manuscript.



ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА



6 (176) ♦ **2024**

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

12+

6(176)

2024

Основан в 2000 году

Выходит 6 раз в год

ISSN 1816-4528

Главный редактор:

Хорешок А.А., д.т.н., проф.

Зам. гл. редактора:

Лагунова Ю.А., д.т.н., проф.

Кантович Л.И., д.т.н., проф.

Редакционный совет:

Трубецкой К.Н., акад. РАН, д.т.н.

Галкин В.А., д.т.н.

Мерзляков В.Г., д.т.н., проф.

Блюменштейн В.Ю., д.т.н., проф.

Аксенов В.В., акад. АГН, д.т.н.

Редакционная коллегия:

Андреева Л.И., д.т.н.

Воронова Э.Ю., д.т.н., проф.

Галкин В.И., д.т.н., проф.

Глебов А.В., к.т.н.

Жабин А.Б., д.т.н., проф.

Зырянов И.В., д.т.н.

Ляхомский А.В., д.т.н., проф.

Певзнер Л.Д., д.т.н., проф.

Петров В.Л., д.т.н., проф.

Семыкина И.Ю., д.т.н., проф.

Трифанов Г.Д., д.т.н., проф.

Хазанович Г.Ш., д.т.н., проф.

Юнгмейстер Д.А., д.т.н., проф.

Учредитель и издатель:

ФГБОУ ВО «Кузбасский
государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева»

Адрес учредителя, издателя и редакции:

650000, Россия, Кемеровская область,
г. Кемерово, ул. Весенняя 28

Технический редактор:

Останин О.А.

Дизайн обложки, компьютерная верстка:

Бородин Д.А.

Телефон редакции:

+7 (384-2) 39-63-14

Email: gormash@kuzstu.ru

Сайт: <http://gormash.kuzstu.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

ГОРНЫЕ МАШИНЫ

Белов Н.В., Бородина М.Б., Зотов В.В., Лагунова Ю.А. Исследование динамики работы гидромеханического предохранительного устройства в приводе конусной дробилки	3
Бочкова К. В., Погапов В. Я., Комиссаров А. П., Бочков В. С., Потапов В. В. Повышение эффективности дробильного оборудования	15
Брозовский С.Ю., Шестаков В.С., Адамков А.В., Буялич К.Г. Разработка методики определения параметров подвески ковша экскаватора драглайна	26
Зверев В. Ю., Трифанов Г. Д. Обеспечение безопасной эксплуатации сосудов шахтных подъемных установок с большой наработкой	33
Лагунова Ю.А., Жилинков А.А., Макарова В.В., Калянов А.Е., Буялич Г.Д. Измерительная система для исследования процессов деформации в несущих элементах карьерных автосамосвалов	43
Лагунова Ю.А., Калянов А.Е., Жилинков А.А., Разбитнов С.Л., Буялич Г.Д. Предложения по повышению эффективности эксплуатации конусных дробилок на щебеночных карьерах	54
Либерман Я.Л., Лукашук О.А., Маалаоуи Х., Давыдова В.В. Система управления перемещениями ротора карьерного роторного экскаватора	65
Хазин М.Л., Симисиннов Д.И., Адаз В.Е. Анализ свойств конструкционных материалов грохота, произведенного по программе импортозамещения	73
ХРОНИКА	80

Позиция редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых материалов.

Полнотекстовый доступ к электронной версии журнала на сайте www.elibrary.ru
Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции

Издание соответствует коду 58.14.1 ОКПД 2 ОК 034-2014 (КПЕС 2008)

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций – Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-76284 от 19 июля 2019 г.

Журнал включен в Перечень ВАК РФ – ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по направлениям (технические науки):

- 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)
- 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (технические науки)
- 2.8.8. Геотехнология, горные машины (технические науки)

Дата выхода в свет: 12.12.2024. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Отпечатано на МФУ.
Уч.-изд. л. 10.25. Тираж 70 экз. Заказ 97. Цена свободная

Адрес типографии: Издательский центр КузГТУ
650000, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово, ул. Д.Бедного, 4а

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

MINING EQUIPMENT AND ELECTROMECHANICS

ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

12+

6(176)
2024

Founded in 2000

Issued 6 times a year

ISSN 1816-4528

Editor-in-chief:

Khoreshek A. A., Dr. Sc., prof.

Deputy editor-in-chief:

Lagunova, Yu. a., prof.

Kantowicz L. I., Dr. Sc., prof.

Editorial board:

Trubetskoy K. N., Acad. RAS, Dr. Sc.

Galkin V. A., Dr. Sc.

Merzlyakov V. G., Dr. Sc., prof.

Blumenstein V. Yu., Dr. Sc., prof.

Aksenov V. V., Akad. AMS., Dr. Sc.

Editorial Team:

Andreeva L. I., Dr. Sc.

Voronova E. Yu., Dr. Sc., prof.

Galkin V. I., Dr. Sc., prof.

Glebov A. V., Ph. D.

Zhabin A. B., Dr. Sc., prof.

Zyryanov I. V., Dr. Sc.

Lakomski A. V., Dr. Sc., Prof.

Pevzner L. D., Dr. Sc., prof.

Petrov V. L., Dr. Sc., prof.

Semykina I. Yu., Ph. D.

Trifanov G. D., Dr. Sc., prof.

Khazanovich G. Dr. Sc., prof.

Jungmeister D. A., Dr. Sc., prof.

Founder and publisher:

T. F. Gorbachev Kuzbass state technical
university

**Address of the founder, the publisher
and the Editorial office:**

Russia, 650000, Kemerovo region,
Kemerovo, 28 Vesennaya str.

Technical editor:

Ostanin O. A.

Cover design,

computer layout: Borodin D. A.

Tel.: +7 (384-2) 39-63-14

Email: gormash@kuzstu.ru

Website: <http://gormash.kuzstu.ru>

CONTENTS

MINING MACHINES

Belov N.V., Borodina M.B., Zotov V.V., Lagunova Yu.A. Study of the dynamics of the hydromechanical safety device in the drive of a cone crusher.....	3
Bochkova K.V., Potapov V.Ya., Bochkov V.S., Potapov V.V. Increasing the efficiency of crushing equipment.....	15
Brozovsky S.Yu., Shestakov V.S., Adamkov A.V., Buialich K.G. Analysis of loading of the boom of a dragline excavator.....	26
Zverev V.Yu., Trifanov G.D. Implementation of safe operation for the vessels of mine hoist installations at high operating time.....	33
Lagunova Yu.A., Zhilinkov A.A., Makarova V.V., Kalyanov A.E., Buyalich G.D. Measuring system for the study of deformation processes in the bearing elements of dump trucks.....	43
Lagunova Yu. A., Kalyanov A. E., Zhilinkov A. A., Razbitnov S.L., Buyalich G.D. Suggestions to improve the efficiency of operation of cone crushers in crushed stone quarries.....	54
Lieberman Ya.L., Lukashuk O.A., Maalaoui H., Davydova V.V. The rotor movement control system of a quarry rotary excavator.....	65
Khazin M.L., Simisinov D.I., Adas V.E. Analysis properties structural materials of the screen produced under the import substitution program.....	73
THE CHRONICLE	80

The editorial position does not always coincide with the point of view of the authors of the published materials.

Full-text access to the electronic version of the journal is on website www.elibrary.ru

Tax relief - All-Russian product classifier

The publication corresponds to 58.14.1 OKPD 2 OK 034-2014 (KPEC 2008)

The journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Communications - Certificate PI No. FS77-76284 of July 19, 2019.

The journal is included in the Russia List of the Higher Attestation Commission being the list of the leading peer-reviewed scientific journals and publications in which the main scientific results of theses for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences should be published in the following areas (engineering):

- 2.5.5. Technology and equipment for mechanical and physical-technical processing (engineering)

- 2.4.2. Electrotechnical complexes and systems (engineering)

- 2.8.8. Geotechnology, Mining machines (engineering)

Date of publication: 12 December 2024. Format 60×84 /8. Offset paper. Imprinted on MFPs. Published sheets 10.25. Edition 70 copies. Order 97. Free price

Address of the printing house:

Publishing center KuzSTU

Russia, 650000, Kemerovo region, Kemerovo, 4a, D. Bednogo str