

6. Шолох М. В., Сергеева М. П. (2017). Економічна оцінка втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у залізородній масі. / Зб. наукових праць «Вісник КНУ». – Кривий Ріг, – Вип. 102. – С. 51–56.

7. Sholokh M. V. (2018). Determination and research of norms of the ferrous quartzites prepared to booty. 25–52. / Development of scientific foundations of resource-saving technologies of mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – 264 p. ISBN 978-954-353-355-8.

8. Sholokh M. V., Sholokh S. M., Sergieieva M. P. (2018). An analysis of surveyor control of losses of balance-industrial supplies is at mastering of bowels of the Earth. 415–438. / Innovative development of resource-saving technologies for mining. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – 439 p. ISBN 978-954-353-351-0

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 621.926.23.001.2

В.И. КЛЯЦКИЙ, канд.техн.наук, доц., А.В. ЛОПУШАН, студентка
Криворожский национальный университет

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ КОНСТРУКЦИИ

Цель работы. Разработка конструкции футеровочных броней, образующие оптимальный профиль камеры дробления, обеспечивающий повышение эффективности работы конусных дробилок.

Методы. В работе применены теоретические, статистические и экспериментальные методы исследований. Теоретические исследования выполнены с использованием аналитического метода с применением математического анализа ЭВМ. При построении математической модели расчета параметров профиля камеры дробления использованы методы теории вероятностей и математической статистики.

Научная новизна. Установлено, что в процессе эксплуатации профиль камеры дробления конусной дробилки мелкого дробления претерпевает существенные изменения вследствие неравномерного износа футеровки рабочих органов, закономерности которых необходимо учитывать при ее профилировании. Профиль камеры дробления оптимизирован решением изоперимитрической вариационной задачи, с учетом износа броней, что обеспечивает ее неизменяемость в процессе эксплуатации дробилки. Получены аналитические выражения, описывающие профили конуса и чаши, в виде цепной линии – катеноиды, позволяющие выполнить конструирование футеровочных броней дробилок мелкого дробления. Установлены закономерности изменения формы и размеров камеры дробления конусных дробилок мелкого дробления, заключающиеся в уменьшении размеров приемного отверстия для КМДТ-2200 в 1,3...1,6 раза. Установлено влияние состояния профиля рабочей камеры на качество продукта дробления дробилки КМДТ-2200 (класс +20 при $T=0$ – 18,5%; при $T=0,5T_{пр}$ – 15%; при $T = T_{пр}$ – 22,5%; где $T_{пр}$ – предельный срок службы комплекта броней. Разработан метод профилирования камеры дробления по критериям износа футеровочных броней.

Практическая значимость. Значение работы заключается в установлении закономерностей изменения формы и геометрических размеров рабочей камеры и разработке на этой основе расчетного метода ее оптимального профилирования, обеспечивающего повышения эффективности работы конусных дробилок, что является вкладом в теорию управления качеством горных машин в процессе эксплуатации. Предложены конструктивные параметры профиля камеры дробления конусной дробилки мелкого дробления, обеспечивающие увеличение производительности на 15...20%, стабильное качество продукта дробления в процессе эксплуатации дробилки, равномерный износ броней вдоль образующих, неизменяемую геометрию на протяжении всего срока службы комплекта броней, увеличение износостойкости броней на 25...40%.

Результаты. Разработана методика расчета оптимальных конструктивных параметров профиля камеры дробления конусной дробилки мелкого дробления может быть принята при проектировании нового дробильного оборудования. Разработана новая конструкция футеровочных броней.

Ключевые слова. Конусная дробилка, брони, износ, камера дробления, профиль.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-177-184

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время закономерности процесса дробления в конусных дробилках изучены недостаточно. Это объясняется разнообразием режимов работы дробилок в практике их эксплуатации и широким диапазоном физико-механических свойств дробимого материала. Из закономерностей процесса дробления в дробилках мелкого дробления значительный интерес представляют зависимости между гранулометрическим составом дробленого продукта и параметрами профиля дробящего пространства. При дроблении горной массы конусными дробилками происходит интенсивное изнашива-

ние подвижного и неподвижного конусов, поверхности которых образуют дробящее пространство, что приводит к большому расходу высокомарганцовистой стали 110Г13Л, а также к простоям оборудования и затратам, связанных с частой заменой футеровок. Одним из методов повышения долговечности футеровочных броней является выбор оптимального профиля дробящего пространства, образованного подвижным и неподвижным конусами.

Анализ исследований и публикаций. Камера дробления конусных дробилок в значительной мере определяет производительность и назначение дробильной машины в цикле дробления на горно-обогатительных комбинатах (ГОКах). Современные конусные дробилки мелкого дробления отличаются большим разнообразием конструктивных решений, типоразмеров и профилей камеры дробления. Профиль камеры дробления, как правило, образуется двумя коническими поверхностями неподвижного и подвижного конусов и для дробилок среднего и мелкого дробления функционально подразделяется на три зоны: приемная зона, зона дробления и зона калибровки. В приемной зоне производится прием, распределение и подача руды в зону дробления. Зона дробления и зона калибровки образуют камеру дробления, где производится разрушение материала по законам, предопределяемым физико-механическими свойствами руды, геометрическими и кинематическими параметрами камеры дробления. Объемная форма камеры дробления представлена горизонтальными и вертикальными сечениями (рис. 1, 2).

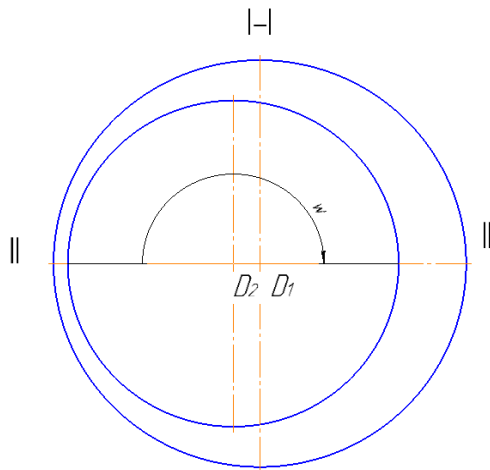


Рис.1. Горизонтальное сечение камеры дробления

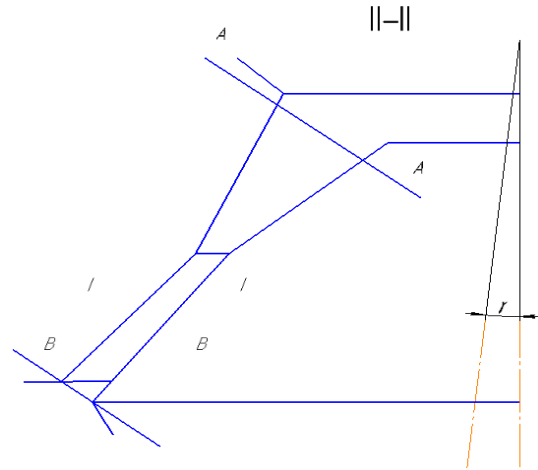


Рис.2. Профиль камеры дробления

При качании (гирации) подвижного конуса между коническими поверхностями образуется кольцевая щель. Расстояние между коническими поверхностями характеризует величину щели в закрытом состоянии со стороны загрузки - по верху (А) и со стороны разгрузки - по низу (В). Угол между подвижной и неподвижной коническими поверхностями (вертикальное сечение) выбирается так, чтобы он мог обеспечить надежный прием и удержание куска руды при его разрушении, исключая выброс его вверх. Процесс разрушения кусков руды в камере дробления конусных дробилок происходит непрерывно. Общая степень сокращения дробимого материала, определяемая геометрией камеры дробления, достигается многократным зажатием и разрушением отдельных кусков между дробящими поверхностями при перемещении их из верхней части в нижнюю. В фазе раскрытия камеры дробления происходит заполнение ее кусками горной массы, а в фазе сближения - разрушение до размеров, которые будут определяться как геометрией профиля камеры, так и свойствами дробимого материала [1, 2].

Последовательно чередующиеся фазы раскрытия и сближения дробящих поверхностей, которые задаются вращением эксцентрика дробилки, обеспечивают формирование дробленого продукта, который разгружается через разгрузочное отверстие. Для определения рациональных размеров приемных щелей и конфигурации рабочего пространства применяют различные способы профилирования камеры дробления, учитывающие гранулометрический состав исходного продукта и конструктивные параметры дробилок. Известен метод профилирования камеры дробления, который основан на гранулометрическом составе исходного питания [3].

При этом методе объем отдельных зон дробления выбирается равным объему, занимающему фракцией крупности в исходном питании. Сущность этого метода состоит в том, чтобы обеспечить разрушение узких фракций крупности в зонах, отвечающих их размеру, что позволит рас-

предельную работу по дроблению руды по высоте камеры дробления в соответствии с содержанием этих фракций. Однако этот метод может дать положительные результаты в том случае, если в процессе дробления существенным образом не изменится соотношение между отдельными фракциями по сравнению с исходным питанием. Известна дробилка «Жиросфера», где рабочая поверхность конуса представляет собой часть сферической поверхности, центр которой располагается на вертикальной оси конуса. [4]. Однако, при решении, принятом в дробилке «Жиросфера» оно приводит к ограничению высоты камеры дробления, что снижает возможность варьирования в широких пределах такими параметрами как крупность исходного питания и угол наклона образующей к горизонту. Ряд авторов пытались решить вопрос подбора рационального профиля брони дробилок среднего и мелкого дробления экспериментальным путем (рис. 3, 4) [5, 6].

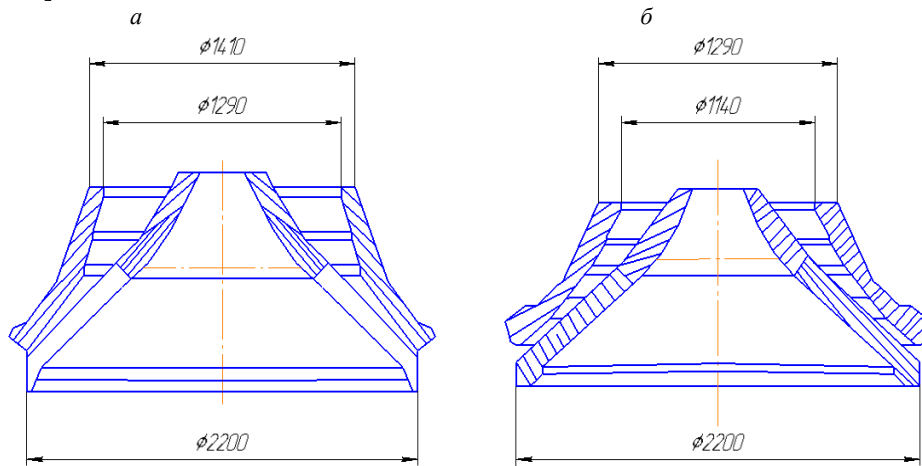


Рис.3. Комплект брони серийного (а) и изменённого (б) профиля дробилки КСД – 2200А

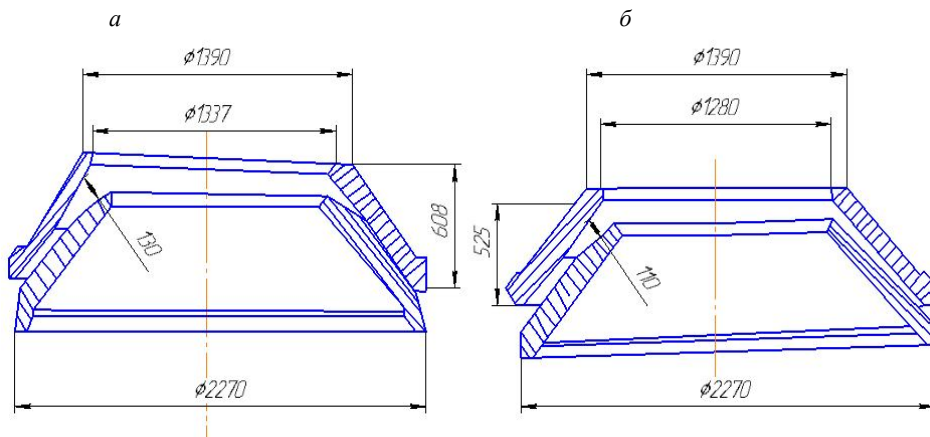


Рис.4. Комплект брони серийного (а) и изменённого (б) профиля дробилки КМД – 2200

Изменение профиля камеры дробления велось в направлении уменьшения приемной щели с целью более равномерной загрузки дробилки. Это создает в приемной зоне дробления постоянный слой руды, исключающий вхождение кусков руды в зону дробления с некоторой начальной скоростью, что благоприятно отразилось на качестве продукта-уменьшился выход крупной фракции. Однако, уменьшение приемных щелей вызывает некоторый рост потребляемой мощности дробилки, что объясняется дополнительным разрушением материала в верхней зоне. Институтом «Механобр» разработана методика профилирования камеры дробления конусных дробилок [7, 8, 9], позволяющая исключить переполнение зон дробления при любой крупности исходного питания. Достигается это обеспечением определенного перемещения материала в каждой зоне камеры дробления за один цикл, т.е. за период между двумя последовательными зажатиями. Авторами [55, 56] разработана методика проектирования камеры дробления, основанная на способе дробления, предполагающем свободное расположение кусков материала в камере дробления, т.е. каждый кусок дробится футеровкой, а не в слое материала. При

этом рассматриваются две конструкции камеры дробления дробилки мелкого дробления с образующими зоны калибровки дробящего конуса, пересекающимися в точке подвеса-пространство 1 или выше точки подвеса-пространство 2 (рис.5).

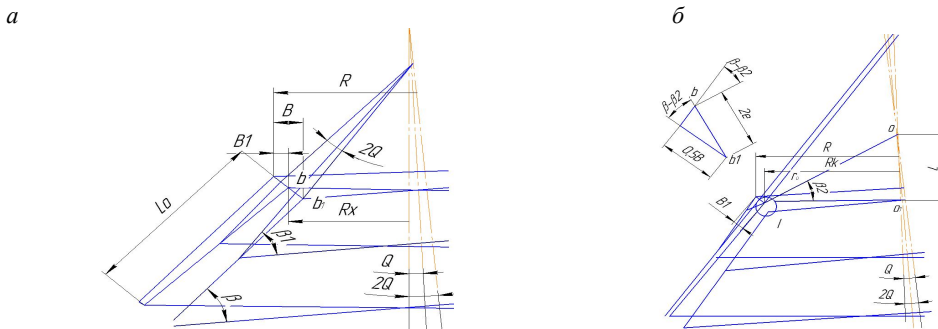


Рис.5. Дробящее пространство конусной дробилки, где a – пространство 1 ; b – пространство 2

Спроектированная камера дробления позволила увеличить технологические параметры (производительность, качество продукта) серийной дробилки КМДТ-2200. Таким образом, приведенные разными авторами исследования процессов дробления в конусных дробилках показали, что профили серийных дробящих конусов и, как следствие, геометрия камеры дробления применительно для условий горно-обогатительных комбинатов при существующих схемах дробления выбраны не совсем удачно. Существующие методики профилирования камеры дробления не полностью отражают условия работы конусных дробилок, так как они не учитывают непрерывного износа футеровочных броней.

Постановка задачи. Разработка конструкции футеровочных броней дробилки мелкого дробления, образующих оптимальный профиль камеры дробления, с учетом их износа и влияние на технологические показатели ее.

Изложение материала и результаты. В процессе эксплуатации дробилок футеровочные брони перерабатывая горную массу непрерывно изнашиваются, при этом изменяются размеры разгрузочной щели (она увеличивается), что приводит к увеличению крупности дробленого продукта. На практике для поддержания заданного качества дробленого продукта в течении срока службы броней регулируют размеры разгрузочной щели в определенных пределах за счет опускания неподвижной брони. Причем футеровочные брони дробилок среднего и мелкого дробления, образующие камеру дробления изнашиваются неравномерно, что приводит к ускоренному изменению зазоров между дробящими поверхностями по всей глубине камеры дробления в сравнении с первоначальным, а следовательно, к потере ее первоначальной формы (рис. 6) [10].

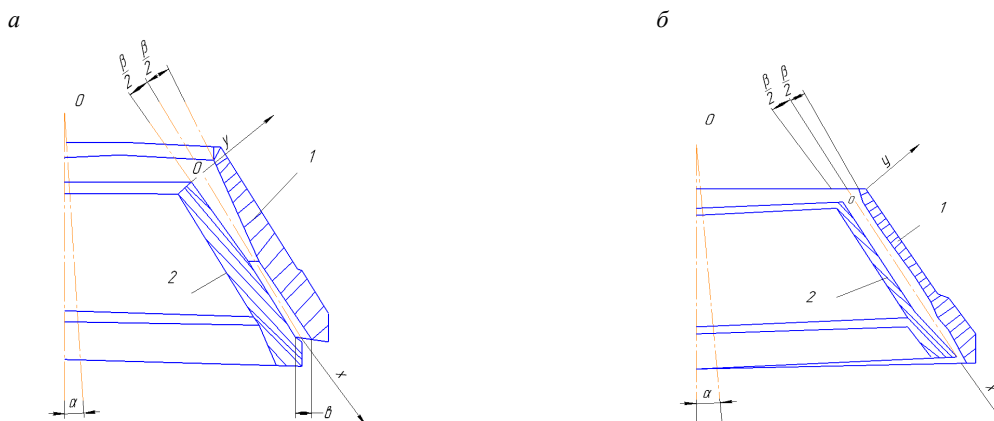


Рис.6. Схема определения профиля камеры дробления в начале (а) и в конце (б) срока службы комплекта броней, где 1 – профиль износа брони регулирующего кольца ; 2 – профиль износа брони подвижного конуса

Результаты замеров линейного износа футеровочных броней по длине образующей дробилок мелкого дробления при различных сроках службы приведены в табл.1 и показаны на (рис.7).

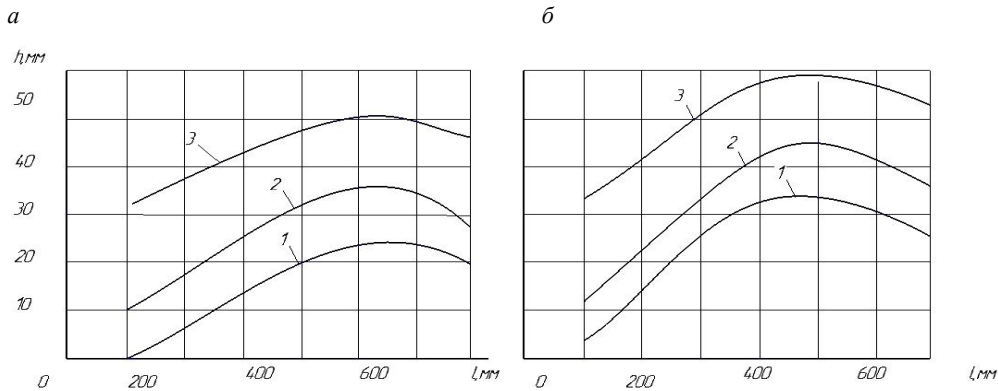


Рис.7. Зависимость износа (h) броней по глубине камеры дробления (L) конусной дробилке КМДТ – 2200 (ЮГОК) при различных сроках службы комплектах броней, где a – броня конуса; b – броня регулирующего кольца; 1- $T = 0,5T_{pr}$; 2 - $T=0,75 T_{pr}$; 3 – $T=T_{pr}$; (T_{pr} – предельный срок службы комплекта броней)

Таблица 1

Величина линейного износа броней конусной дробилки мелкого дробления по длинеобразующей при различном сроке их службы

Тип дробилки	Тип брони	Срок службы	Пред-приятие	Величина износа броней по сечениям,мм							
				100	200	300	400	500	600	700	800
КМДТ-2200	Броня подвижного конуса	$0,5 T_{pr}$	ЮГОК	4	12	19	25	27	24	15	5
		$0,75T_{pr}$		9	18	27	34	37	35	30	21
		T_{pr}		27,5	36	42	48	52	51	48	42
	Броня регулирующего кольца	$0,5T_{pr}$	ЮГОК	7	17	26	34	35	30	16	12
		$0,75T_{pr}$		14,5	25	35	43	45	41	32	20
		T_{pr}		36	46	54	60	62	59	53	34

Анализ данных показывает, что кривые износа броней имеют ярко выраженные зоны наибольшего износа, которые и определяют в конечном итоге срок службы брони в целом. По результатам замеров износа броней определены размеры камеры дробления дробилки мелкого дробления и ее профиль при различных сроках службы комплекта броней приведены в табл. 2 и показаны на (рис.8).

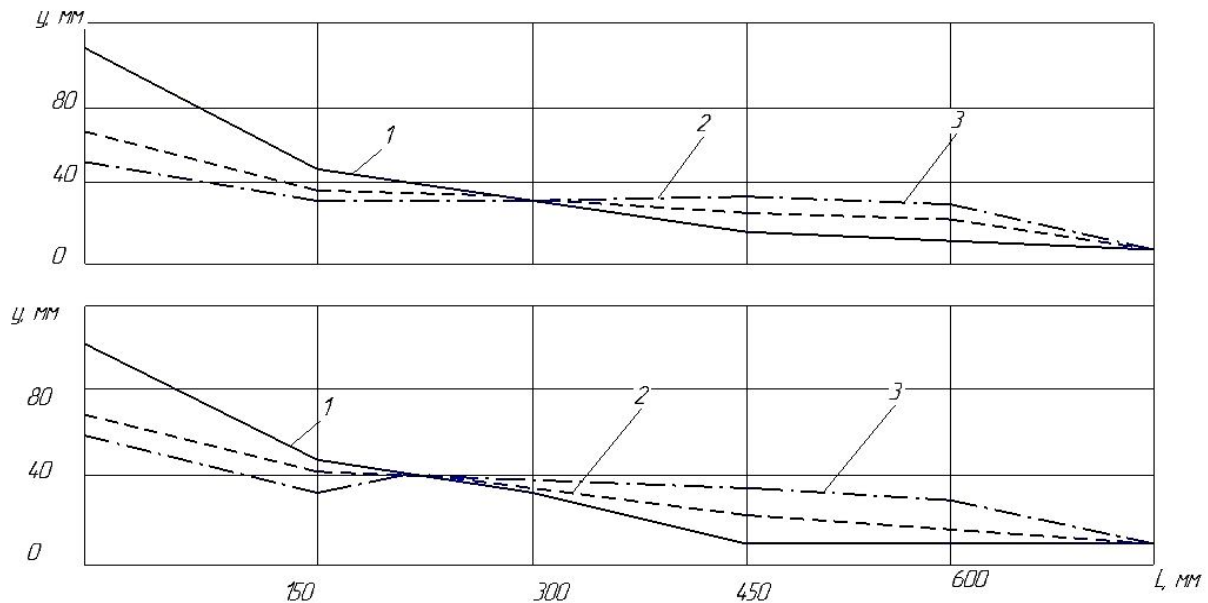


Рис.8. Профиль камеры дробления дробилки мелкого дробления КМДТ 2200 при различных сроках службы комплекта броней, где a – ЮГОК; b – ЦГОК; 1- $T=0$; 2- $T=0,5T_{pr}$; 3- $T=T_{pr}$; (T_{pr} – предельный срок службы комплектов броней) (L -глубина камеры дробления; U -зазор между поверхностями брони)

Таблица 2

Величина зазора между дробящими поверхностями конусной дробилки
мелкого дробления при различных сроках их службы

Тип дробилки	Предприятие	Срок службы броней	Величина зазора между дробящими поверхностями по сечениям, мм								
			0	100	200	300	400	500	600	700	750
КМДТ-2200	ЮГОК	$T=0$	114	53	35	21	7	6	6	6	6
		$T=0,5T_{np}^*$	75	43	33	22	15	11,5	9	7	6
		$T=0,75T_{np}$	56	36	28	22	20	16,5	11	7	6
		$T=T_{np}$	50	30	29	26	23	23	18	11	6
	ЦГОК	$T=0$	114	53	35	21	7	6	6	6	6
		$T=0,5T_{np}$	64	42	32	24	22	17	11	7	6
		$T=T_{np}$	56	35	34	33	31	30	23	10	6

* T_{np} – предельный срок службы комплекта броней.

Как видно из рис.8 первоначальный профиль (кривая 1) камеры дробления дробилки мелкого дробления в процессе работы претерпевает значительные изменения, особенностью которого является уменьшение зазора между образующими броней в области приемного отверстия и увеличение в зоне разгрузочной щели. Изменение первоначальной формы камеры дробления значительно снижает эффективность процесса дробления, о чем свидетельствуют данные табл.3, в которой приведены результаты гранулометрического состава продукта дробления дробилки КМДТ-2200 при различных сроках службы комплекта броней.

Таблица 3

Характеристики крупности продукта дробления дробилки КМДТ-2200
при различных сроках службы комплекта броней

Состояние броней	Разгр. щель, мм		Питание, D_{cp} , мм	Содержание расчетных классов, %						d_{cp} , мм	D_{cp} / d_{cp}
	КСД-2200	КМДТ-2200		+25	-25 +20	-20 +12	-12 +6	-6 +3	-3		
Новые, $T=0$	28	5,4	36,1	2,2	9,9	32,6	34,1	8,8	12,4	11,8	3,06
	28	7,5	37,8	2,8	10,7	36,2	29,3	8,0	13,0	12,3	3,0
	32	10	41,4	3,4	11,6	35,8	28,1	10,3	10,8	12,5	3,31
Изношенные, $T=T_{np}$	30	5,8	37,7	3,7	11,1	40,2	24,8	10,4	9,8	12,8	2,94
	29	7,5	38,5	3,9	12,4	42,1	22,4	9,7	9,5	13,2	2,91
	29	9,6	39,2	4,1	13,9	44,6	21,1	7,9	8,4	13,8	2,84

Анализ данных таблицы 3 показывает, что для новых броней ($T=0$) дробилки КМДТ-2200 содержание продукта дробления класса плюс 20 при разгрузочной щели $B_0=5-6$ мм составляет 9,9%; при $B_0=7-8$ мм - 10,7%; при $B_0=10$ мм - 11,6%. Для изношенных броней ($T=T_{np}$) при $B_0=5-6$ мм - 11,1%; при $B_0=7-8$ мм - 12,4%; при $B_0=10$ мм - 13,9%, т.е. дробилка КМДТ-2200, с изношенными бронями, выдает более крупный продукт дробления. Известные методы профилирования камеры дробления строились на принципах, сформулированных Э.Б. Саймонсом, однако, они не учитывали износа броней в течение их срока службы. Авторами предлагается методика профилирования камеры дробления конусных дробилок среднего и мелкого дробления с учетом характера износа броней и обеспечивающая заданное качество продукта дробления. В основу расчета оптимального профиля камеры дробления положена изопериметрическая задача, для решения которой необходимо определить такой начальный профиль камеры дробления, чтобы за время дробления объема кускового материала износ броней был минимальным [11]. В результате расчетов получены уравнения профилей подвижного и неподвижного конусов дробилок для предприятий перерабатывающих различные по физико-механическим свойствам руды

$$Y = 6046,7 \text{ch} (0,124 - 0,0001653 X) - 6040,7 \quad (\text{ЮГОК}); \quad (1)$$

$$Y = 6272,6 \text{ch} (0,119 - 0,0001594 X) - 6266,6 \quad (\text{ЦГОК}); \quad (2)$$

$$Y = 6901,0 \text{ch} (0,1087 - 0,0001449 X) - 6895 \quad (\text{Рудник Кирова}), \quad (3)$$

где Y – расстояние между рабочими поверхностями броней в фазе сближения, мм; X – сечение, перпендикулярное биссектрисе угла схода броней по глубине камеры дробления, взятое от начала приемной зоны, мм.

На основании расчетов и результатов экспериментальных исследований определены рациональные геометрические размеры камеры дробления конусной дробилки КМДТ-2200. Новая конструкция броней показана на рис. 9, 10.

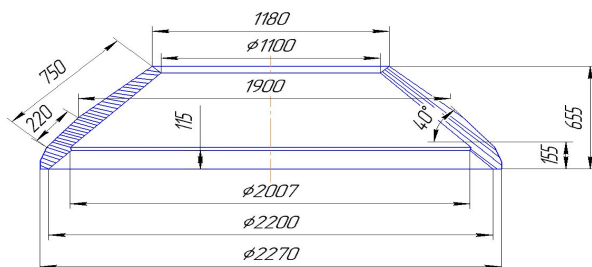


Рис 9. Броня конуса дробилки мелкого дробления КМДТ – 2200 – Э

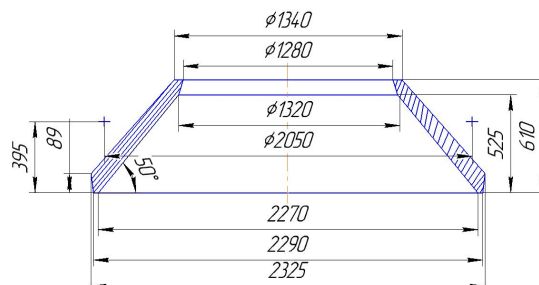


Рис. 10. Броня регулирующего кольца дробилки мелкого дробления КМДТ – 2200 - Э

Характерной особенностью новой конструкции броней является криволинейная в виде цепной линии зона дробления, переменный по глубине камеры дробления угол захвата, укороченная параллельная зона, обеспечивающая однократное зажатие дробимого материала.

Выводы и направление дальнейших исследований. Испытания дробилки КМДТ-2200 с бронями новой конструкции показали увеличение производительности при щели $B_0=6-8$ мм на 15%. Крупность продукта дробления класса +20 снизилась при $B_0=9-10$ мм на 8%; $B_0=8-9$ мм на 2,4%; при $B_0=6-7$ мм на 2,2%.

Список литературы

1. Панкратов С.А. Энергия деформации горных пород при дроблении. – Изв. вузов. Горный журнал. 1968, №2, с.22-24.
2. Панкратов С.А., Ушаков В.С. Методика определения усилий дробления в конусных дробилках среднего и мелкого дробления. – Строительные и горные машины. Сб. трудов УДН, вып. 5, 1976, с. 64-66.
3. Крупа П.И. Интенсификация процессов дробления в условиях горно-обогатительного комбината. – Обогащение руд. 1968, №2, с.68-70.
4. Котельников Б.Д. Исследование влияния геометрических и кинематических параметров дробилок мелкого дробления на формирование грансостава продукта дробления. – Кандидатская диссертация, Свердловск, 1980.
5. Иванов Н.А. Механико-технологические основы программирования камеры дробления и выбор основных параметров конусных инерционных дробилок. – Кандидатская диссертация, Л., 1979, с.180.
6. Ильин В.А., Раков Е.Ф. Изменение конструкции броней дробилок КМД-2200. – Горный журнал, 1976, №10, с.52-54.
7. Блехман И.И., Иванов Н.А. О пропускной способности и профилировании камеры дробления конусных дробилок. Обогащение руд. 1979, №1, с.20-27.
8. Блехман И.И., Иванов Н.А. Движение материала в камере дробления конусных дробилок как процесс вибрационного перемещения. – Обогащение руд. 1977, №2, с.15-21.
9. Иванов Н.А., Зарогатский Л.П. Исследование технологических параметров инерционных дробилок. – Л., Труды Механобра, вып. 140, 1975, с.41-49.
10. Шестаков А.М., Джур В.А., Кляцкий В.И. Влияние профиля дробящего пространства конусных дробилок на эффективность дробления и износостойкость броней. – Изв. вузов. Горный журнал, 1980, №3, с.111-115.
11. Кляцкий В.И. Профилирование камеры дробления конусных дробилок мелкого дробления по критериям максимальной износостойкости броней и качества продукта дробления – Строительные и дорожные машины. 1985, №2, с.24-25.

Рукопись поступила в редакцию 10.04.2019