

На правах рукописи



АЙБАШЕВ ДИЛМУРОД МАМАТХАЛИЛОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РИФЛЕНИЙ ДРОБЯЩИХ ПЛИТ
ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК**

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Научный руководитель – Кольга Анатолий Дмитриевич,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Сысоев Николай Иванович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой нефтегазопромысловых
и горных машин и оборудования
ФГБОУ ВПО «Южно-Российский
государственный политехнический
университет (Новочеркасский
политехнический институт) им. М.И. Платова»

Червяков Сергей Алексеевич,
кандидат технических наук,
исполнительный директор ООО
«Технологии горного машиностроения»

Ведущая организация – Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского
Сибирского отделения Российской академии наук (г. Якутск)

Защита диссертации состоится « 16 » октября 2015 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.280.03 на базе ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет» в зале заседаний Ученого совета по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ГСП, ул. Куйбышева, 30.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте <http://www.ursmu.ru> и в библиотеке ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Автореферат разослан « 8 » июля 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



Хазин М.Л.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Процессы дробления и измельчения широко используются во многих отраслях народного хозяйства. Ежегодно в мире дроблению подвергается более 3 млрд. т минерального сырья и других горных пород. При этом следует отметить, что процессы дробления и измельчения оказывают существенное влияние на технико-экономические показатели производства, поскольку характеризуются значительными капитальными и эксплуатационными затратами, доля которых достигает 50-70 %.

Наиболее широко во многих отраслях промышленности для крупного и среднего дробления различных по прочности и хрупкости горных пород применяются щековые дробилки, отличающиеся простотой конструкции и высокой надежностью.

Однако неэффективная схема силового взаимодействия рабочей поверхности дробящих плит с кусками горных пород не позволяет обеспечить полное использование потенциальных возможностей дробилки и приводит к таким негативным последствиям, как высокие энергетические затраты (от 7 до 20 кВтч/т) и повышенный износ дробящих плит.

Поэтому работы по разработке и созданию более прогрессивных моделей дробильного оборудования, совершенствованию конструкции и исследованию процесса взаимодействия инструмента с дробимым материалом являются актуальными.

Объект исследований: щековые дробилки.

Предмет исследований: конструктивные параметры рифлений дробящих плит щековых дробилок.

Цель работы: повышение эффективности работы щековых дробилок за счет обоснования параметров рифлений дробящих плит.

Идея работы состоит в повышении эффективности процесса дробления за счет обеспечения соответствия параметров рифлений размерам кусков породы по всей высоте камеры дробления.

Основные задачи исследований:

- выполнить анализ конструкций и методов расчета основных параметров и показателей щековых дробилок;
- исследовать влияние параметров рифлений дробящих плит на технические показатели щековых дробилок (ход сжатия, гранулометрический состав продукта дробления, производительность и потребляемую энергию);
- обосновать рациональные параметры рифлений дробящих плит, повышающие эффективность работы щековых дробилок;
- разработать методику определения параметров рифлений дробящих плит.
- разработать конструкции дробящих плит, обеспечивающие разрушение кусков горных пород растягивающими напряжениями (менее энергоемким видом разрушения).

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Для раскалывания (разрушения) кусков породы минимальной сосредоточенной нагрузкой, создаваемой выступом инструмента, существует рациональное значение радиуса выступа, при котором глубина его внедрения не превышает значения относительной деформации породы.
2. Шаг выступов для разрушения кусков породы растягивающими напряжениями, возникающими в результате изгиба, определяется максимальными габаритными размерами этих кусков.
3. Надежный захват кусков породы дробящими плитами обеспечивается путем наклона выступов дробящих плит к продольной оси за счет уменьшения величины выталкивающей силы и возникновения дополнительного сопротивления перемещению куска породы.

Научная новизна:

- На основании экспериментальных исследований получена эмпирическая зависимость требуемого хода сжатия для разрушения кусков породы сосредоточенной нагрузкой от радиуса выступов рифлений.
- Получена зависимость шага выступов рифлений от максимальных габаритных размеров породы.
- Установлена зависимость надежного захвата кусков породы дробящими плитами от наклона выступов рифлений к продольной оси плиты.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, базируется на основных положениях классической механики, теории упругости, математической логики, а также на предшествующих фундаментальных работах отечественных и зарубежных ученых в области разрушения горных пород и создания дробильно-размольного оборудования; результатах большого объема натуральных и лабораторных исследований; данных эксперимента; соответствии результатов теоретических исследований и полученных данных при проведении экспериментов (относительное расхождение не более 15 %).

Практическая значимость работы заключается:

- в разработке методики определения основных параметров рифлений дробящих плит;
- установлении рациональных параметров рифлений дробящих плит, учитывающих габаритные размеры кусков породы по всей высоте камеры дробления;
- разработке новых конструкций профиля дробящих плит.

Техническая новизна работы подтверждается двумя патентами на полезную модель.

Реализация результатов работы. Разработанные материалы приняты к использованию в ООО «Объединенная сервисная компания» для включения в план технического задания на проектирование дробящих плит щековых дробилок.

Личный вклад соискателя заключается в формировании основной идеи; выборе методов исследований и непосредственном их выполнении; обосновании возможности эффективного использования рифлений дробящих плит; разработке

конструкций дробящих плит (пат. РФ № 135272 и № 144640); составлении и подборе материала; анализе полученных результатов и подготовке методики и рекомендаций для повышения эффективности процесса дробления горных пород в щековых дробилках.

Апробация работы: результаты и основные положения диссертационной работы докладывались: на Международных научно-технических и научно-практических конференциях «Добыча, обработка и применение природного камня» (Екатеринбург, 2012–2015 гг.); «Чтения памяти В.Р. Кубачека» (Екатеринбург, 2012, 2014, 2015 гг.); «Горная электротехника – 2014» (Пермь, 2014 г.); «Проблемы и инновации в области механизации и технологий в строительных и дорожных отраслях» (Саратов, 2014); Международных симпозиумах «Неделя горняка» (Москва, 2014, 2015 гг.); Межрегиональной научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (Магнитогорск, 2012–2014 гг.); ежегодных научно-технических конференциях ФГБОУ ВПО «МГТУ» (Магнитогорск, 2012- 2015 гг.); на заседаниях научного семинара кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов и института горного дела и транспорта ФГБОУ ВПО «МГТУ» (Магнитогорск, 2012- 2015 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, в том числе 4 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и получено 2 патента на полезную модель Российской Федерации.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 87 страницах машинописного текста, содержит 21 таблицу, 87 рисунков, список использованной литературы из 140 наименования и 5 приложений.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю профессору А.Д. Кольге, сотрудникам кафедры горных машин транспортно-технологических комплексов института горного дела и транспорта ФГБОУ ВПО «МГТУ» за постоянное внимание, ценные советы и оказанную помощь при выполнении работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, выбран объект исследований, сформулированы цели, задачи и методы исследования, кратко охарактеризована значимость работы.

В первой главе рассмотрено и проанализировано современное состояние: дробления горных пород и материалов щековыми дробилками; существующих теорий дробления и подходов к описанию процесса дробления; известных моделей взаимодействия горных пород с рабочим органом дробилки; конструкций и тенденций развития щековых дробилок; исследований и методов расчета щековых дробилок.

В настоящее время на горно-обогатительных предприятиях эксплуатационные затраты на рудоподготовку составляют до 60 % от всех затрат на производство товарного продукта, из которых 20 % - затраты на процесс дробления. На дробильно-сортировочных фабриках, выпускающих щебень, эти

цифры гораздо выше. Пути снижения эксплуатационных расходов являются повышение энергоэффективности применяемого оборудования и увеличение износостойкости дробящих плит дробилок.

В решение проблем, связанных с совершенствованием дробильных машин и наиболее распространенного их типа - щековых дробилок, большой вклад внесли работы отечественных ученых А.Г. Алехина, В.А. Баумана, А.И. Богацкого, И.Л. Водопьянова, В.И. Волчека, С.М. Григорьянца, А.И. Загудаева, А.И. Зиминой, Л.Б. Левенсона, В.А. Олевского, Б.В. Клушанцева, А.И. Косарева, Ю.И. Козлова, Л.И. Логака, Н.С. Овчаренко, Р.А. Родина, Ю.С. Шевченко и многих других.

Из зарубежных исследователей, работающих в этой области, следует отметить работы А. Zhuazel, P.V. Rittinger, F. Kick.

Однако, несмотря на большое разнообразие предложенных вариантов конструкций профилей дробящих плит, четкого объяснения, почему та или иная конструкция рифлений дробящих плит лучше или хуже, пока нет.

Такое положение сложилось во многом из-за несовершенства существующей методики определения параметров рифлений дробящих плит и отсутствия научно обоснованных методов определения рациональных параметров рифлений дробящих плит.

Проведенные исследования разрушения горных пород в щековых дробилках показали, что влияние параметров рифлений дробящих плит на эффективность процесса дробления изучено недостаточно.

Настоящая работа базируется на исследованиях В.А. Баумана, Б.В. Клушанцева, Р.А. Родина.

Вторая глава посвящена исследованию взаимодействия выступов дробящих плит с куском дробимого материала.

В соответствии с ОСТ 221679-87 – «Плиты дробящие щековых дробилок», дробящие плиты изготавливаются с треугольными и трапецидальными рифлениями. Согласно указанному ОСТ и рекомендациям ВНИИстройдормаша шаг t и высота рифлений h определяются соотношением, учитывающим среднее или оптимальное значение ширины e выходной щели камеры дробления, мм.

$$t = 2h \approx e. \quad (1)$$

Однако практика эксплуатации щековых дробилок показывает: несмотря на то, что выступы рифлений дробящих плит, имеющих вначале одну из упомянутых выше форм (треугольные или трапецидальные), после непродолжительного времени работы дробилки истираются и приближаются по форме к полуцилиндру, сохраняясь в такой форме в течение всего оставшегося срока службы плит. Поэтому при расчете напряженно-деформированного состояния (НДС) контактирующих тел (кусочек породы - выступ дробящей плиты), форму выступов рифлений допустимо принимать в виде полуцилиндра. При нахождении общих решений задачи о нагружении кусков дробимого материала в дробилке представляется возможным принимать обобщенный камень в виде тела правильной формы, например, в виде шара. Тогда имеем контакт двух тел правильной формы (шар – цилиндр) (рис. 1).

При отсутствии нагрузки, кусок породы (шар) и выступ дробящей плиты (цилиндр) имеют взаимное касание в точке. Под действием нагрузки в месте точечного касания образуется контактная площадь F_3 с трехмерной эллиптической границей:

$$F_3 = \pi \cdot a \cdot b,$$

где a , b – полуоси области соприкосновения, м.

Глубина внедрения (ход сжатия S) выступов в породе определяется с учетом уравнения Герца:

$$S = \sqrt[3]{(0,75P)^2 \left(\frac{1+0,5R_2/R_1}{R_2} \right) \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)^2}, \quad (2)$$

где P – контактная нагрузка, Н; R_1 и R_2 – радиусы цилиндра и шара, м; μ_1 и μ_2 – коэффициенты Пуассона цилиндра и шара; E_1 и E_2 – модули упругости цилиндра и шара, Па; m и n – коэффициенты, зависящие от главных значений кривизны соприкасающихся поверхностей.

Согласно общепринятой пространственной модели, рассматривается контактное взаимодействие шарообразного куса породы с цилиндрическим выступом инструмента – дробящей плиты. Но для экспериментальных исследований изготовление образца породы в форме шара весьма сложно. Гораздо проще получить образцы породы в форме цилиндра (куски породы в форме цилиндра могут быть кернами горных пород). Поэтому с целью возможности замены формы дробимого материала (шар на цилиндр) и формы инструмента (цилиндр на шар) было проведено экспериментальное исследование. С помощью уравнения (2) был проведен анализ влияния замены местами контактирующих тел на основные параметры контактного взаимодействия (глубину внедрения (ход сжатия) и прилагаемую силу). Анализ показал:

1. Если размеры (радиусы) контактирующих тел «порода-инструмент» равны между собой ($R = R_B$), то замена их местами (шар–цилиндр на цилиндр–шар) абсолютно не влияет на глубину внедрения инструмента в материал породы при постоянной нагрузке.
2. Если размеры контактирующих тел не равны между собой ($R \neq R_B$), то с увеличением расхождения Δ :

$$\Delta = \left(1 - \frac{R_B}{R} \right) \cdot 100 \% \text{ при } R > R_B; \left. \begin{array}{l} \\ \Delta = \left(1 - \frac{R}{R_B} \right) \cdot 100 \% \text{ при } R < R_B \end{array} \right\} \quad (3)$$

увеличивается значение относительного внедрения (Δ_S), %:

$$\pm \Delta_S = 10^{-3} (\Delta^2 + 127\Delta + 341), \quad (4)$$

где знак (+) при переводе данных порода (шар) – инструмент (цилиндр) на порода (цилиндр) – инструмент (шар); знак (–) – наоборот.

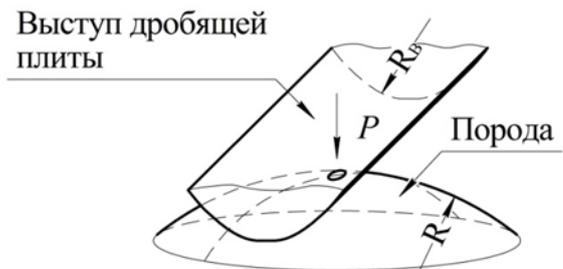


Рис. 1. Схема взаимодействия куска породы с выступом дробящей плиты

В настоящее время значения основных параметров рифлений (шаг, высота и радиус выступов) дробящих плит щековых дробилок постоянны по всей длине плиты (рис. 2). Учитывая, что в камеру дробления попадают куски различной крупности (рис. 3), отношения размеров кусков породы к неизменяющемуся в разных сечениях камеры дробления шагу и радиусу выступов будут различны (масштабный фактор). Разрушение каждого куска породы будет происходить в разных сечениях камеры, соответствующих своему размеру R .

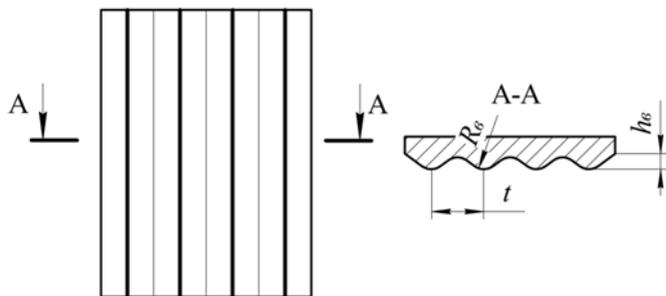


Рис. 2. Основные размеры рифлений дробящих плит

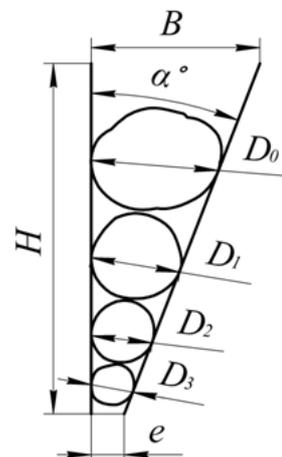


Рис. 3. Расположение кусков горной породы различной крупности в камере дробления

Для имитирования масштабного фактора в камере дробления щековой дробилки было спроектировано и изготовлено устройство (рис. 4), которое включает основание (1), нагрузчитель (2), инструмент шарообразной формы (3), породный керн цилиндрической формы (4). Параметры керна (плагноклазовый дацит): радиус $R = 29,4$ мм; длина $l = 2R$, модуль Юнга $E = 0,5 \cdot 10^{11}$; коэффициент Пуассона $\mu = 0,23$. Параметры инструмента: радиус $R_в = 25; 20; 15,75; 12,75; 9,5; 6,5; 4,5; 3,5$ мм; $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па; $\mu = 28$.

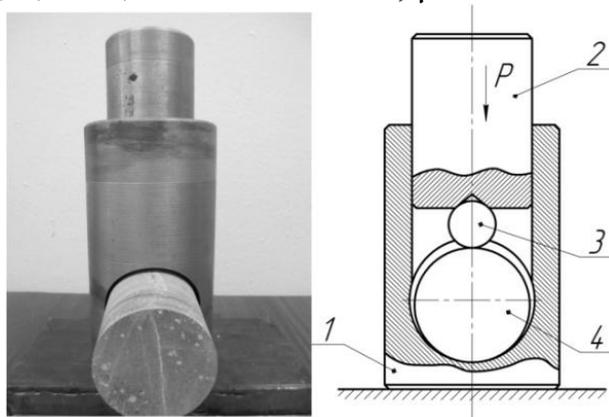
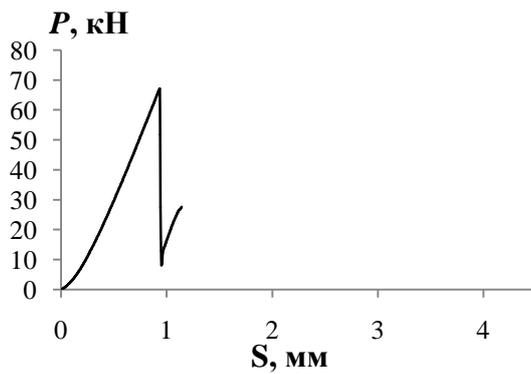
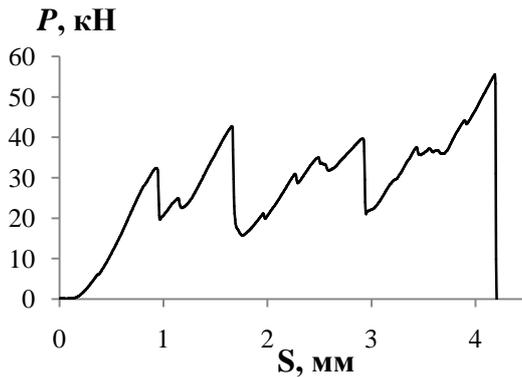


Рис. 4. Устройство для изучения контактного взаимодействия двух тел (шар–цилиндр)

Результаты экспериментов с учетом выражений (3), (4) показали, что при отношении радиуса выступов к радиусу кусков $R' = R_в/R > 0,4$ и $R' \leq 0,4$ закон разрушения имеет вид (рис. 5, а, б) соответственно для данной породы.



а



б

Рис. 5. Разрушения образцов сосредоточенной нагрузкой: а - при соотношениях $R' \geq 0,4$; б - при соотношениях $R' < 0,4$

Поэтому соотношение $\frac{R_B}{R} = 0,4$ принято как рациональное значение, при котором происходит разрушение кусков данной породы минимальной сосредоточенной нагрузкой за минимальный ход сжатия.

Обработка результатов экспериментальных исследований показала, что с уменьшением относительного радиуса выступов R' имеется тенденция снижения разрушающих нагрузок P (рис. 6), в то же время наблюдается увеличение относительного требуемого хода сжатия $S' = S/D$ для полного разрушения кусков раскалыванием сосредоточенной нагрузкой (рис. 7).

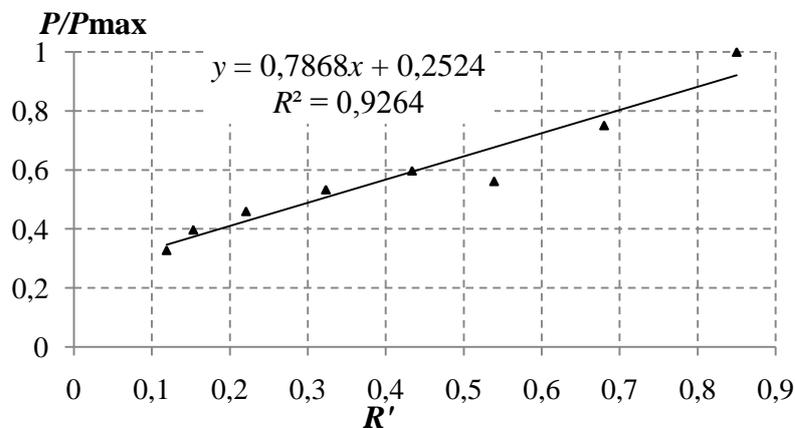


Рис. 6. Зависимость разрушающей нагрузки от относительного радиуса выступов R' для зерна (плагноклазовый дацит) радиусом $R = 29,4$ мм при длине $l = 2R$

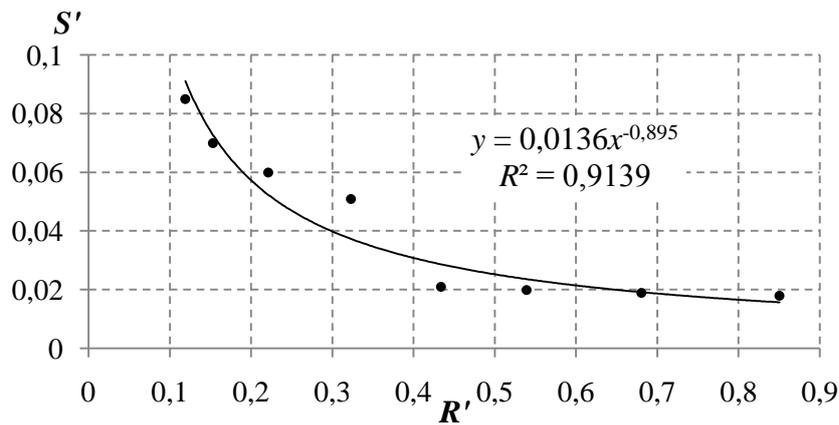


Рис. 7. Зависимость относительного хода сжатия S' от относительного радиуса выступов R'

С целью определения соответствия радиуса выступов размерам кусков породы в разных сечениях камеры дробления для конкретной щековой дробилки получены следующие зависимости:

$$R_B = \frac{t}{4}; \quad (5)$$

$$R = \frac{1}{2} \left((e - h) + \left(((B - h) - (e - h)) \cdot H' \right) \right) \cdot \cos(\alpha/2), \quad (6)$$

где H - высота рассматриваемого сечения камеры дробления, м; H_k - высота камеры дробления, м; α - угол захвата, град.; B - ширина приемного отверстия камеры дробления, м; $H' = H/H_k$ - относительная высота камеры дробления, м.

С учетом выражений (5), (6) получена графическая взаимосвязь между относительной высотой H' камеры дробления и относительным радиусом $R' = R_B/R$ (для дробилки с простым движением щеки типа ЩДП 15-21У, при $e = 160$ мм, $t = 172$ мм, $h = 50$ мм) (рис. 8).

Из графической взаимосвязи (см. рис. 8) видно, что в верхней части камеры дробления размер куска породы намного превышает размеры выступов рифлений.

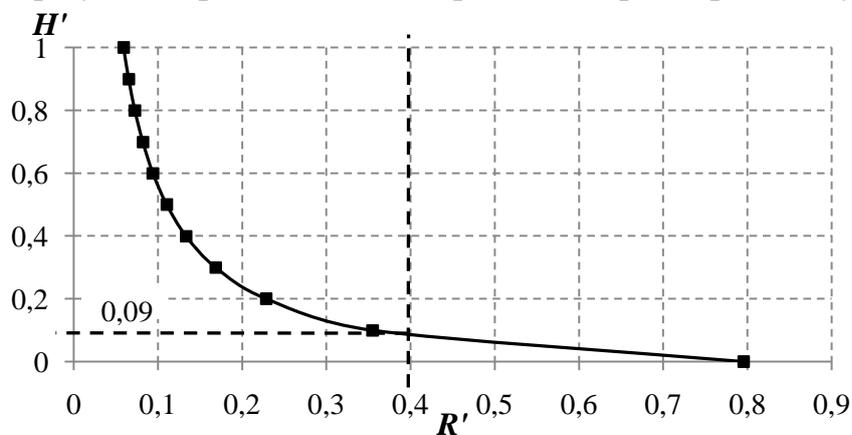


Рис. 8. Взаимосвязь между относительной высотой камеры дробления H' и относительным радиусом R' выступов рифлений

В дробилке типа ЩДП 15-21У радиус выступов R_B соответствует размеру породы R только в нижней части камеры дробления $(0 \div 0,09)H'$, в остальной части камеры дробления не соответствует.

Несоответствие радиуса выступов размерам кусков горной породы приводит к увеличению требуемого хода сжатия для раскалывания кусков породы, что может превышать конструктивное значение хода подвижной щеки. Поэтому для уменьшения предельного значения требуемого хода сжатия, связанного с несоответствием радиуса выступов рифлений размеру дробимого материала, необходимо при проектировании дробящих плит учитывать влияние радиуса выступов на эффективность работы дробилки.

Таким образом, исследованиями доказано, что при разрушении кусков породы сосредоточенной нагрузкой радиус выступов рифлений есть функция от радиуса кусков породы, расположенных в разных сечениях камеры дробления:

$$R_B = f(R). \quad (7)$$

В третьей главе обоснована зависимость для определения шага рифлений дробящих плит, предложена новая конструкция дробящих плит с переменными рифлениями, изложены особенности взаимодействия дробящих плит с переменными рифлениями с куском породы.

При использовании существующих дробящих плит в среднем и верхнем сечениях камеры дробления выступы плиты внедряются в породу, но не раскалывают ее. При этом наблюдаются лишь местные разрушения в окрестности контактной зоны каждого контактируемого выступа.

Контактное взаимодействие плит с породой можно выразить удельным давлением на породу:

$$q = n_k P / F_3, \quad (8)$$

где P – усилие, затраченное на вдавливание одного выступа в породу при сжатии, Н; F_3 – контактная площадь одного выступа с породой, m^2 ; n_k – количество контактов в пределах одного куска породы.

Из формулы (8) следует, что чем больше количество контактов, тем больше нагрузка на дробящие плиты. С ростом числа контактов увеличивается количество мелкой фракции менее 5 мм, что ухудшает качество продукта дробления (переизмельчение, пылевыделение), и расходуется непроизводительная энергия за каждое «холостое» качание щеки.

Следовательно, необходимо минимизировать количество контактов в пределах одного куска породы. Теоретически для надежного захвата твердого тела любой формы достаточно трех контактов. Это возможно при расположении выступов одной плиты напротив впадин другой. Такое расположение способствует разрушению кусков изгибом.

На практике это условие соблюдается только в нижней части камеры дробления, в остальной части шаг по сравнению с габаритным размером куска породы намного меньше, т. е. при определении шага выступов рифлений не учитывается возможность разрушения кусков породы изгибом.

Для определения влияния шага выступов рифлений на разрушающую нагрузку при разрушении изломом в результате изгиба были проведены

эксперименты (рис. 9). В качестве образцов применялись кирпичи марки ШБ-5 230x114x65 мм.

На рис. 10 представлена зависимость разрушающей нагрузки P образцов от относительного шага $t' = t/D_l$ выступов рифлений, полученная на прессе.

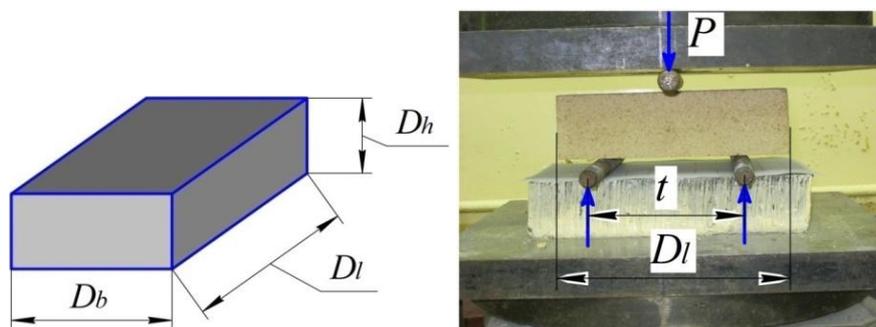


Рис. 9. Разрушение образцов изгибом

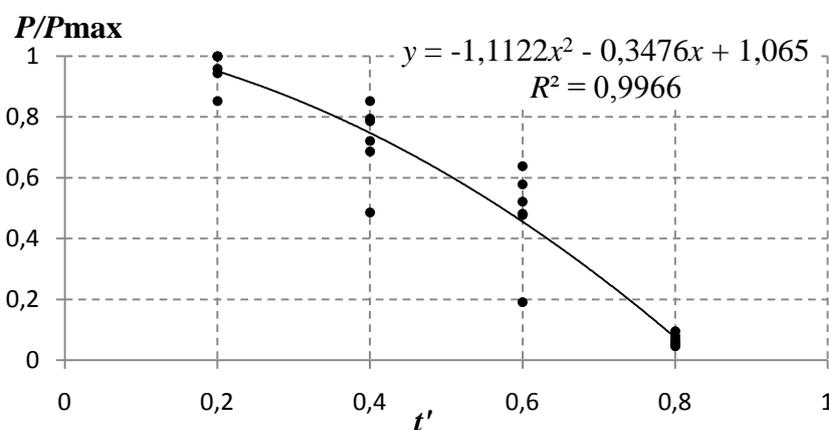


Рис. 10. Зависимость разрушающей нагрузки P образцов от относительного шага выступов t'

Согласно графической зависимости (рис. 10), чем ближе значение шага выступов к длине D_l образцов, тем меньше усилие разрушения. Поэтому шаг выступов рифлений в разных сечениях камеры дробления целесообразно определять в зависимости от максимального габаритного размера куска породы, расположенного в этом сечении, мм:

$$t = k_p D_l = k_p L \left(\frac{e + \left((B - e) \cdot \frac{H}{H_k} \right)}{B} \right), \quad (9)$$

где D_l – максимальный размер куска породы (длина) на рассматриваемом сечении высоты камеры дробления, м; k_p – коэффициент, учитывающий максимальный размер куска породы в разных сечениях высоты камеры дробления, $k_p = 0,5 \div 1$; L - длина приемного отверстия камеры, м.

Исходя из геометрических соображений (изгиб балки на двух опорах), значение коэффициента k_p будет минимальным для пород, по форме близких к шару ($k_p = 0,5$) и максимальным для пород, близких к прямоугольнику ($k_p = 1$).

На основании проведенных исследований с учетом зависимости (9) можно обосновать параметры рифлений дробящей плиты (рис. 11).

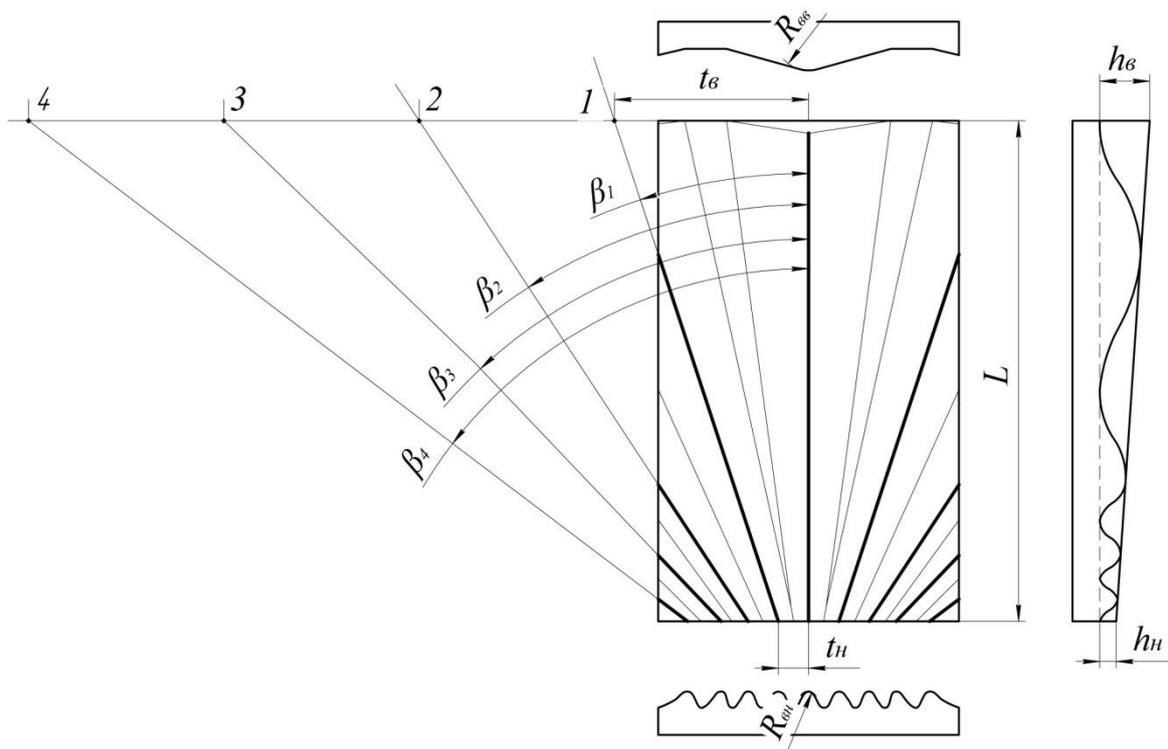


Рис. 11. Дробящая плита с переменными рифлениями

На плитах с переменными рифлениями (см. рис. 11) угол наклона выступов β к продольной оси определяется по зависимости:

$$\beta = \arcsin \left(n \cdot t_{\text{в}} \left(\left(\frac{L_{\text{п}} t_{\text{в}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} \right)^2 + n \cdot t_{\text{в}}^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \right), \quad (10)$$

где n – порядковый номер выступа начиная от продольной оси; $t_{\text{в}}$ – шаг выступов рифлений в верхней части плиты; $L_{\text{п}}$ – длина плиты; $t_{\text{н}}$ – шаг выступов рифлений в нижней части плиты.

Высота выступов $h_{\text{в}}$, определяемая глубиной впадин, должна обеспечить возможность разрушения породы изгибом. Для пород, по форме близких к шару, она имеет минимальное значение ($h_{\text{в}} = R_{\text{в}}$), а для пород, близких к прямоугольнику, – максимальное ($h_{\text{в}} = 2R_{\text{в}}$).

На основе полученных зависимостей (9), (10) обоснованы параметры дробящей плиты с переменными рифлениями (рис. 12), защищенные патентом на полезную модель РФ № 135272.

Особенностью дробящих плит с переменными рифлениями по сравнению с дробящими плитами с постоянными рифлениями (см. рис. 12) является их способность удерживать кусок породы, не выталкивая его вверх.



Рис. 12. Дробящие плиты с переменными рифлениями: *a* – подвижная плита; *б* – неподвижная плита; *в* – установленные дробящие плиты

Угол захвата определяется условием (рис. 13, *a*):

$$\begin{aligned}
 G + 2fP \cdot \cos \frac{\alpha}{2} &\geq R; \\
 R &= 2P \sin \frac{\alpha}{2}, \\
 G + 2fP \cdot \cos \frac{\alpha}{2} &\geq 2P \sin \frac{\alpha}{2}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

где P – нормальная сила сжатия, Н; R – сила, выталкивающая кусок породы вверх, Н; G – вес породы, Н; f – коэффициент трения породы о сталь; α – угол захвата, градус.

В начале сжатия S_1 дробящими плитами кусок породы удерживается собственным весом G и силами трения fP . В результате действия сил P выступы внедряются в породу на глубину h_3 (рис. 13, *б*).

При этом образуется контактная площадь в виде части поверхности цилиндра с эллиптической границей с размерами полуосей a, b (рис. 14).

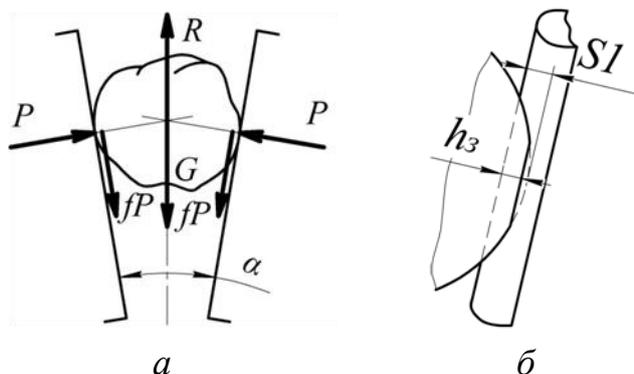


Рис. 13. Схема взаимодействия куска породы с рабочим органом: *a* – расчетная схема для определения угла захвата; *б* – внедрение вертикального выступа в породу

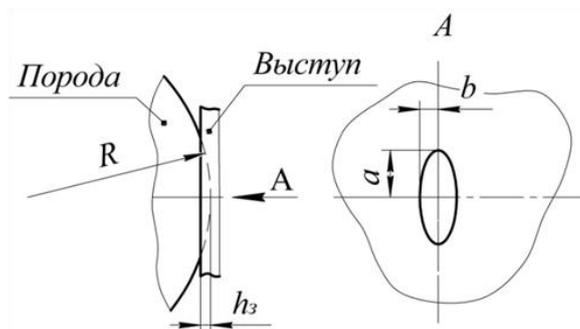


Рис. 14. Внедрение выступа в породу

В области контакта образуется слой мелких частиц (рис. 15).

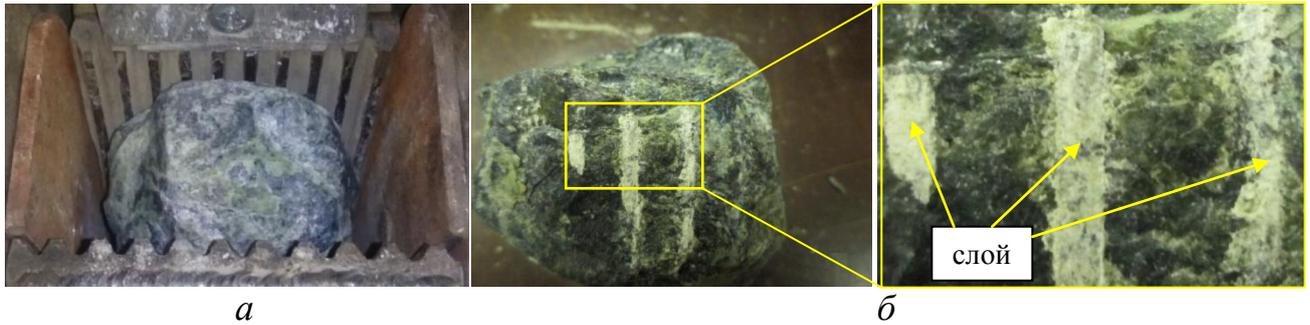


Рис. 15. Контактное взаимодействие куска породы с выступами плит: *а* - кусок породы в камере дробления; *б* – образование слоя мелких частиц в области контакта

Этот слой мелких частиц, в своем роде как смазка между куском породы и выступами плиты, снижает коэффициент трения породы о дробящие плиты в целом. При дальнейшем движении щеки кусок уже не может удерживаться силами трения (не выполняется условие (11)) и начинает проскальзывать вверх по образованным вертикальным каналам.

При работе дробящих плит с переменными рифлениями, в начале сжатия кусок породы также удерживается собственным весом и силами трения, выступы внедряются в породу на глубину h_3 . Но образованная при этом контактная площадь в виде части поверхности цилиндра с эллиптической границей с размерами полуосей a, b будет наклонена к продольной оси (рис. 16).

Следовательно, выталкивающей силой будет противодействовать борт заглабления, образованного при внедрении выступа в породу. В этом случае проскальзывание куска породы вверх возможно только при разрушении данного борта.

Усилие скалывания породы $P_{ск}$ определяется, Н:

$$P_{ск} = S_{ск} \sigma_{ск}, \quad (12)$$

где $S_{ск}$ - площадь скалывания, m^2 ; $\sigma_{ск}$ – предел прочности на скалывание, МПа.

Размер $S_{ск}$, согласно расчетной схеме, изображенной на рис. 16, рассчитывается, как площадь сегмента, образованная проекцией заглабления выступа в породу на горизонтальную плоскость, m^2 :

$$S_{ск} = \left(R^2 \arccos \left(\frac{R-h_3}{R} \right) - (R-h_3) \sqrt{2Rh_3 - h_3^2} \right) \cdot \sin \beta, \quad (13)$$

где R - радиус куска породы, м; h_3 - глубина заглабления выступа в породу, м.

Подставляя (13) в формулу (12), получим:

$$P_{ск} = \sigma_{ск} \left(R^2 \arccos \left(\frac{R-h_3}{R} \right) - (R-h_3) \sqrt{2Rh_3 - h_3^2} \right) \cdot \sin \beta. \quad (14)$$

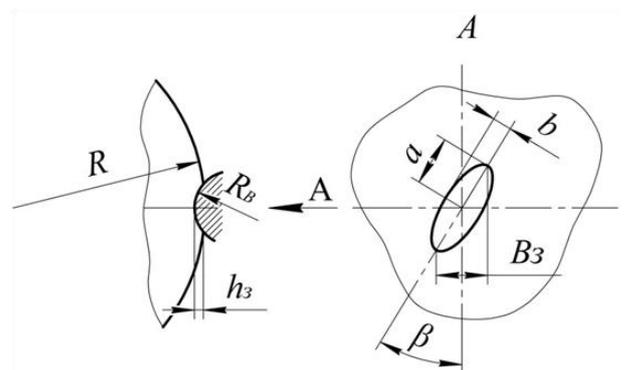


Рис. 16. Внедрение наклоненного выступа в породу

Полученная зависимость (14) определяет связь между углом наклона выступов и усилием скалывания породы $P_{ск}$. В зависимости от глубины заглабления усилие скалывания породы $P_{ск}$ может значительно превышать силу трения между куском породы и выступом дробящей плиты.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований дробления горных пород на щековой дробилке. Выполнен сравнительный анализ показателей дробилки при использовании дробящих плит с постоянными и переменными рифлениями.

В ходе проведения экспериментов на щековой дробилке ДЩ 100-60 при использовании дробящих плит с постоянными и переменными рифлениями определялись: производительность, удельный расход энергии на дробление и качество готового продукта (рис. 17).



Рис. 17. Щековая дробилка типа ДЩ 100-60

В качестве исходного материала использовались фракции серпентинита с размерами 50-100 мм.

Готовый продукт дробления с помощью ситового анализа разделен на 4 фракции с размерами 35-20, 20-10, 10-5 и менее 5 мм при выходной щели $e = 15$ мм. Каждая фракция была взвешена и выражена в процентном соотношении (рис.18).

Из диаграмм (рис. 18) следует отметить, что при использовании дробящих плит с переменными рифлениями выход крупной фракции 35-20 увеличился на 16,9 %. Выход остальных фракций 20-10 мм, 10-5 мм и менее 5 мм уменьшился соответственно на 7,97 %, 4,46 % и 4,47 %.

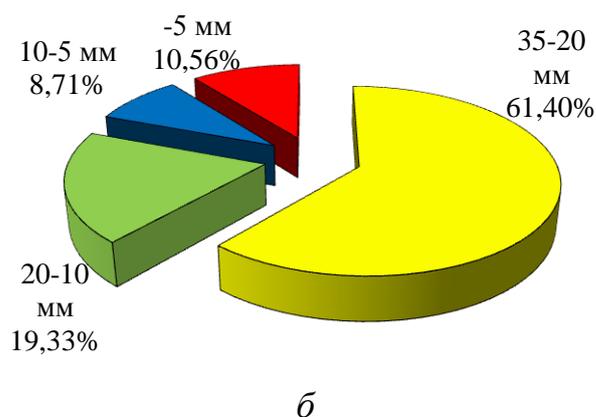
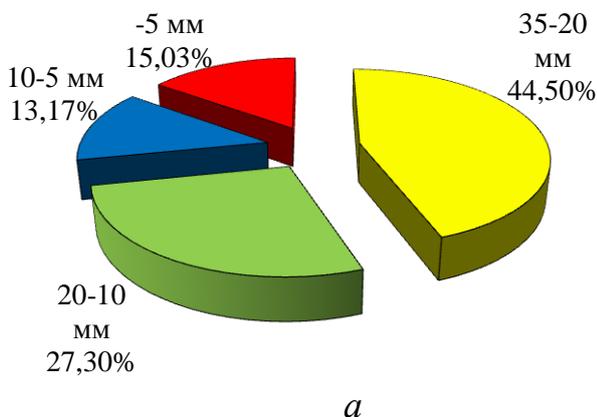


Рис. 18. Результаты ситового анализа при использовании дробящих плит: *а* – постоянными и *б* – переменными рифлениями

Основные технико-экономические показатели дробилки при использовании дробящих плит двух вариантов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные технико-экономические показатели дробилки при использовании дробящих плит двух вариантов

Параметры				Дробящая плита		Разница, %
				существующая	предлагаемая	
Выходная щель 15 мм	Исходная порода, кг	масса, кг	m	4	4	-
		фракция, мм	-	50-100	50-100	-
	Продукт дробления по фракциям, мм	35-20	%	44,5	61,4	+16,9
		20-10		27,3	19,33	-7,96
		10-5		13,17	8,71	-4,46
		< 5		15,03	10,56	-4,47
	Производительность, кг/ч		Q	299,34	393,8	+23,98
Расход электроэнергии, кВт*ч/кг		N	1,25	0,883	-29,33	
Выходная щель 10 мм	Исходная порода, кг	масса, кг	m	3	3	-
		фракция, мм	-	50-100	50-100	-
	Продукт дробления по фракциям, мм	25-15	%	51,95	65,37	+13,41
		15-10		14,76	8,94	-5,82
		10-5		15,62	11,81	-3,8
		< 5		17,65	13,86	-3,79
	Производительность, кг/ч		Q	279,47	356,48	+21,60
Расход электроэнергии, кВт*ч/кг		N	1,53	1,06	-30,43	

Увеличение количества крупной и уменьшение количества мелкой фракций свидетельствуют о том, что применение дробящих плит предложенной конструкции позволяет повысить качество готового продукта в целом на 16,9 %.

Классическая гипотеза расхода энергии на дробление горных пород основывается на том, что работа, расходуемая на дробление, пропорциональна вновь образованной поверхности (проф. П. Риттингер), $A = K\Delta F$, где K – коэффициент пропорциональности; ΔF – приращение поверхности.

Таким образом, исследованиями доказано, что увеличение количества крупной и уменьшение мелкой фракций обеспечивают снижение удельного расхода энергии на дробление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования являются законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная и практическая задача по обеспечению энергоэффективной работы щековых дробилок при дроблении твердых горных пород, за счет обоснования рациональных параметров рифлений дробящих плит.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Выявлено влияние радиуса выступов рифлений на ход сжатия для разрушения кусков породы. Основной причиной неразрушения кусков породы за установленный ход щеки является несоответствие радиуса выступов размерам кусков.

2. Обосновано рациональное соотношение радиуса выступов рифлений дробящих плит и размера куска горной породы $R_B/R \geq 0,4$.

3. Введен коэффициент, учитывающий максимальный габаритный размер куска породы, и получена зависимость для определения шага выступов рифлений от максимального габаритного размера куска породы, расположенного в рассматриваемом сечении камеры дробления.

4. Обоснована зависимость угла наклона выступов к продольной оси плиты от переменного шага выступов в разных сечениях камеры дробления.

5. Для дробящих плит с переменными рифлениями обоснованы рациональные значения параметров рифлений и предложены новые конструкции дробящих плит, защищенные патентами на полезную модель РФ № 135272.

6. Обоснована зависимость надежности захвата кусков породы дробящими плитами от угла наклона выступов к продольной оси.

7. Использование дробящих плит с переменными рифлениями позволяет повысить удельную производительность дробилки в 1,24 раза, увеличить выход крупной фракции продукта дробления в 1,17 раз по массе.

8. Уменьшение количества мелких фракций, а также разрушение кусков породы раскалыванием в результате расклинивания и изломом в результате изгиба позволяют снизить удельный расход энергии на дробление в 1,3 раза.

9. Разработана методика определения параметров рифлений дробящих плит, позволяющая определить радиус, шаг и высоту выступов рифлений в разных сечениях камеры дробления с учетом габаритного размера кусков породы, расположенных в этих сечениях.

10. Разработана новая конструкция дробящих плит щековых дробилок (патент РФ № 144640), обеспечивающая условия для разрушения кусков горной породы под действием растягивающих напряжений, возникающих в результате расклинивания куска породы внедряющимися в него выступами.

11. Практическая значимость научных разработок и технических решений, приведенных в диссертации, подтверждается принятием их к реализации для включения в план технического задания на проектирование дробящих плит щековых дробилок на предприятии ООО «Объединенная сервисная компания», специализирующемся на обслуживании и ремонте всего технологического оборудования ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Основные научные результаты диссертации

опубликованы в следующих работах:

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях:

1. Кольга А.Д., Айбашев Д.М. Возможности снижения нагрузок в щековых дробилках // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. Магнитогорск. 2013. № 4. С. 77-80.

2. Айбашев Д.М., Кольга А.Д. Снижение нагрузок в щековых дробилках путем изменения формы выступов дробящих плит // Горное оборудование и электромеханика. М. 2014. № 11. С. 15 – 19.

Статьи, опубликованные в других изданиях:

3. Д.М. Напряженно-деформированное состояние контакта дробящих плит с рифлением щековой дробилки с куском породы Айбашев, А.Д. Кольга, И.Н. Столповских, Д.К. Махамбетов. // «Вестник КазНТУ (Казахский национальный технический университет)», Алматы. 2013. № 5 (99). С. 40–48.

4. Айбашев Д.М., Кольга А.Д., Асанов А.К. Моделирование конструкции дробящих плит щековых дробилок // Известия Кыргызского государственного

технического университета им. И. Раззакова. Бишкек. Издательский центр «Текник». 2014. № 33. С. 215–219.

5. Кольга А.Д., Айбашев Д.М. Определение параметров рифлений дробящих плит щековых дробилок // Добыча, обработка и применение природного камня: сборник научных трудов. Магнитогорск, 2013. С. 50-55.

6. Айбашев Д. М., Кольга А. Д., Хайбуллин А.Х. Экспериментальное исследование влияния размеров рифлений дробящих плит на ход сжатия // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XII Международной научно-технической конференции «Чтение памяти В.Р. Кубачека». Екатеринбург, 2014. С. 140–143.

7. Кольга А.Д., Айбашев Д.М., Хайбуллин А.Х. Ход сжатия в щековых дробилках // Добыча, обработка и применение природного камня: сборник научных трудов. Магнитогорск. 2014. С. 164–168.

8. Кольга А.Д., Айбашев Д.М., Хайбуллин А.Х. Влияние размеров рифлений дробящих плит на величину разрушающей нагрузки горных пород при дроблении в щековых дробилках // Добыча, обработка и применение природного камня: сборник научных трудов. Магнитогорск. 2014. С. 169-173.

9. Кольга А.Д., Айбашев Д.М., Хажиев А.А. Влияние рифлений дробящих плит щековых дробилок на эффективность процесса дробления // Вестник развития науки и образования. 2014. № 3. С. 163-166.

10. Айбашев Д.М. Кольга А.Д., Дегодя Е.Ю. Повышение эффективности использования дробящих плит щековых дробилок // Добыча, обработка и применение природного камня. Сборник научных трудов. Магнитогорск. 2015. С. 130–134.

11. Айбашев Д.М. Теоретическое исследование контактного взаимодействия пары горная порода – выступ дробящей плиты щековой дробилки // Добыча, обработка и применение природного камня: сборник научных трудов. Магнитогорск. 2015. С. 178–185.

Патенты:

12. Дробилка щековая: пат. № 135272 РФ / Кольга А.Д., Айбашев Д.М //МПК В02С 1/10, Заявл. 27.07.2013; опубл. 10.12.2013. Бюл. № 34 – 2 с.

13. Дробилка щековая: пат. № 144640 РФ / Кольга А.Д., Айбашев Д.М //МПК В02С 1/02, Заявл. 16.04.2014; опубл. 27.08.2014. Бюл. № 24 – 2 с.

Подписано в печать « 8 » июля 2015 г. Печать на ризографе.
Бумага писчая. Формат 60x84x 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Печ. л. 1,00 Тираж 100 экз. Заказ _____

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Полиграфический участок МГТУ