

**Бочкова Ксения Викторовна**, аспирант, **Бочков Владимир Сергеевич**, кандидат техн. наук, доцент

Уральский государственный горный университет, 620144, Россия, г. Екатеринбург,  
ул. Куйбышева, 30

E-mail: bochkov.v@m.ursmu.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВИЧНОЙ РУДОПОДГОТОВКИ НА ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

### *Аннотация.*

*В России, как и во всем мире, наблюдается истощение месторождений в местах традиционного проживания человека, что вызывает необходимость поиска освоенных труднодоступных месторождений. К таким месторождениям относятся месторождения, располагаемые в отдаленных малонаселенных регионах, также к труднодоступным можно отнести месторождения, располагаемые под высокопрочной вскрышной породой. В связи с этим для разработки такого рода месторождений необходима проработка технологии, обоснование применения того или иного вида оборудования. Особый интерес представляет определение рациональной технологии и параметров первичной рудоподготовки руды непосредственно на месторождении (в карьере). Для этих целей, по мнению авторов настоящей статьи, могут подойти мобильные дробильно-сортировочные комплексы, которые позволяют быстро наладить технологический процесс в труднодоступных регионах. Первичная рудоподготовка, в свою очередь, позволяет подготовить руду до крупности 3-5 мм, что обеспечит рентабельное ее транспортирование на уже существующие обогатительные фабрики, это позволит использовать на труднодоступном месторождении минимальный набор технологического оборудования. Для обоснования первичной рудоподготовки непосредственно в карьере в представленной статье была проанализирована проблема настройки оборудования для мобильно-сортировочных комплексов, которые работают в нестационарных условиях на различных, сравнительно небольших месторождениях нерудных полезных ископаемых, в т. ч. и на отвалах. В частности, были проведены экспериментальные исследования по выявлению зависимостей, связывающих изменения зазора между щеками щековой дробилки и производительностью на примере наиболее распространенных вмещающих пород, таких как мрамор Сарapulьского месторождения (г. Березовский) и гранит Исетского месторождений (п. Исеть). Определены тенденции изменения энергоемкости при дроблении мрамора и гранита. Также был проанализирован получаемый фракционный состав после дробления указанных горных пород на различных зазорах между щеками. В качестве экспериментального оборудования были использованы щековая дробилка ШД 10 М, анализатор ситовой А 20 и лабораторные весы МАССА-К ВК-3000.*



### **Информация о статье**

Поступила:

13 ноября 2021 г.

Рецензирование:

30 ноября 2021 г.

Принята к печати:

03 декабря 2021 г.

### **Ключевые слова:**

щековая дробилка, щеки, энергоемкость, крупность, зазор, дробление, мрамор, гранит, месторождение, вмещающая порода.

**Для цитирования:** Бочкова К.В., Бочков В.С. Исследование первичной рудоподготовки на труднодоступных месторождениях // Горное оборудование и электромеханика – 2021. – № 6 (158). – С. 26-31 – DOI: 10.26730/1816-4528-2021-6-26-31

### **Актуальность**

Задачи развития экономики РФ предопределяют значительное увеличение добычи и переработки минерального сырья [1, 2]. В настоящее время в связи с обеднением руды в обжитых районах РФ наблюдается потребность в освоении труднодоступных месторождений. Основным тормозом при их освоении является неразвитость инфраструктуры (отсутствие

ж/д и пригодных автомобильных дорог, электрических сетей и т.д.). Также важным фактором является малообжитость этих регионов и, соответственно, отсутствие человеческого потенциала для развития планируемого предприятия по добыче полезного ископаемого.

В связи с этим для развития добычи в этих регионах требуется поддержка государства для создания

основной инфраструктуры, а для привлечения необходимого персонала, как правило, используется вахтовый метод.

Исходя из этого, целесообразно в труднодоступных регионах создание горного предприятия, которое будет заниматься добычей и рудоподготовкой, а непосредственно само обогащение будет производиться на уже существующих обогатительных фабриках, что позволит повысить их загрузку при истощении близлежащих к ним месторождений. Например, такой способ организации работ на Среднем Урале планирует применить холдинг УГМК на Шемурском месторождении, расположенном на севере Свердловской области.

Для организации описанного выше технологического процесса необходимо подобрать и обосновать применение рационального типа оборудования и встроить его в технологическую цепочку.

Разработки технологий добычи и переработки полезных ископаемых в отдаленных регионах нашей страны начались еще в 70-80-е годы. Основными направлениями развития научной мысли было:

- снижение крупности породы в забое, которое существенно повышает производительность экскаватора;

- т.к. дробление механическими средствами дороже дробления взрывом, целесообразнее ввести контроль негабаритов и определения его для разрушения взрывом с последующей классификацией грохотом. Для этих целей, возможно, применяют полустационарные грохоты.

Применение взрыва для крупного дробления способно значительно сократить издержки. Далее необходима установка дробилки (стационарной или полустационарной) непосредственно в карьере или на борту карьера. Необходимо стремиться к получению руды размером 3-5 мм, это позволит при транспортировании полезного ископаемого на основную обогатительную фабрику избежать пыления.

В настоящее время для реализации описанной технологии созданы мобильные дробильно-сортировочные комплексы как отечественного, так и зарубежного производства, которые могут быть применены на небольших месторождениях (срок разработки до 25 лет). Для более крупных месторождений целесообразно использовать стационарное или полустационарное дробильно-сортировочное оборудование.

#### **Цель исследования**

В настоящей работе авторы поставили задачу определить настроечные параметры щековой дробилки для переработки таких пород, как мрамор и гранит. Данные горные породы довольно часто встречаются во вмещающих породах и значительно оказывают влияние на процесс дробления.

#### **Анализ и постановка задачи**

Для исследований был выбран гранит и мрамор, т.к. эти породы относятся к двум различным категориям по происхождению [3], а именно:

- гранит – изверженная (магматическая) порода образовалась при застывании расплавленной магмы, лавы в недрах земной коры;

- мрамор – метаморфическая порода возникла в результате воздействия на первичные горные породы высоких давлений, температур или химических процессов.

В связи с этим описанные выше породы имеют различные физико-химические свойства и могут быть рассмотрены для определения настроечных параметров дробилки. В рамках нашего исследования мы рассматривали щековую дробилку [3], которая работает по принципу раздавливания при периодическом нажатии, частично истирании, раскалывании и изгибе.

Мобильный дробильно-сортировочный комплекс [4, 5], как правило, в самом простом варианте имеет следующую структуру: щековая дробилка – вибрационный грохот. В рамках представленного исследования мы рассмотрим одну из структурных единиц мобильного дробильно-сортировочного комплекса – щековую дробилку.

Щековая дробилка в классическом понимании является первым этапом переработки твердых полезных ископаемых – рудоподготовкой, которая начинается с дробления кускового материала и сортировки его по крупности. Щековые дробилки со сложным движением щеки (ЩДС) [6], рассматриваемые в нашем исследовании, применяются в самом начале этой технологической цепочки и входят в число основных машин для дробления [6, 7, 8].

Производительность является важным технологическим показателем дробилок, определяющим их эффективность и характеризующим условия прохождения материала через рабочую камеру [9, 10, 11, 12]. В свою очередь, производительность дробилки при работе по конкретным горным породам зависит от их физико-механических свойств [13].

Особенностью мобильных дробильно-сортировочных комплексов является то, что при их эксплуатации они могут как оперативно перемещаться по месторождению, к месту добычи – к забою, так и сравнительно легко транспортироваться и на другие подобные месторождения. Но из-за постоянных перемещений по различным месторождениям с породами, имеющими разные физико-механические свойства, возникает научно-практическая проблема настройки щековых дробилок в рамках мобильного дробильно-сортировочного комплекса.

Сложность вызывает подбор рационального зазора между щеками щековой дробилки [14], т.к. каждая порода (даже порода с одного месторождения) имеет свои уникальные характеристики; чтобы получить стабильную необходимую крупность, нужно довольно долго подбирать необходимый зазор, что в условиях промышленного производства является непродуктивной задачей. Поэтому авторы поставили перед собой задачу выявить зависимости и закономерности, которые позволят настроить щековую дробилку по породам с отвалов, т.е. техногенных месторождений (гранит и мрамор), а определение тенденций изменения энергоемкости при дроблении мрамора и гранита позволит применять оборудование в режиме энергосбережения.

#### **Экспериментальные исследования**



а)



б)

Рис. 1. Куски мрамора (а) и гранита (б)  
Fig. 1. Pieces of marble (a) and granite (b)

Таблица 1. Основные параметры дробления мрамора

Table 1. Main parameters of marble crushing

Номер порции мрамора	Масса порции, кг	Время дробления основной массы горной породы, час	Производительность, кг/час	Зазор между щеками, мм
1	0,455	0,0083	54,8	1
2	0,6	0,0083	72,3	3
3	0,48	0,0056	85,7	5

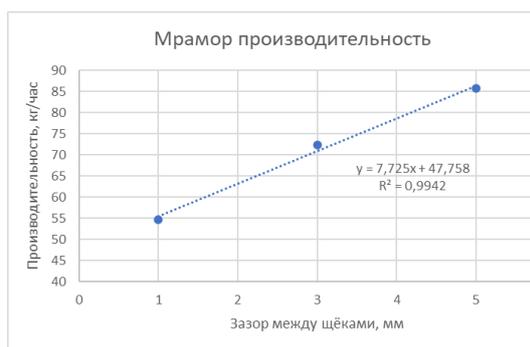


Рис. 2. Изменение производительности щековой дробилки ШД 10М при дроблении мрамора Саранпульского месторождения в зависимости от зазора между щеками

Fig. 2. Change in the productivity of the jaw crusher ШД 10М during crushing of marble from the Sara-pulskoye deposit, depending on the gap between the cheeks

Основным настроечным параметром щековой дробилки, влияющим на ее производительность и

Таблица 2. Основные параметры дробления гранита

Table 2. Main parameters of granite crushing

Номер порции гранита	Масса порции, кг	Время дробления основной массы горной породы, час	Производительность, кг/час	Зазор между щеками, мм
1	0,3	0,011	27,3	1
2	0,25	0,004	62,5	3
3	0,27	0,003	90	5

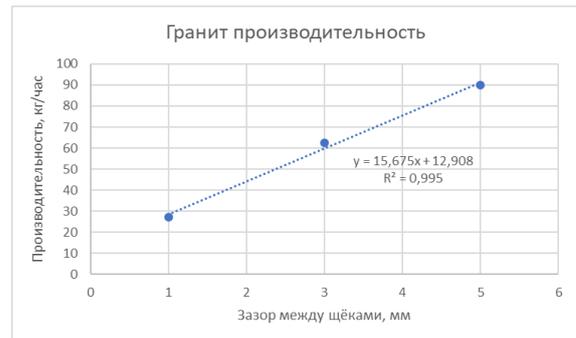
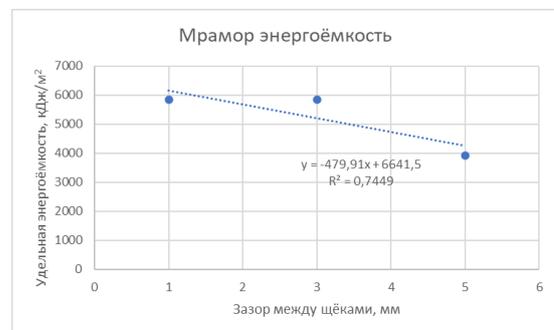
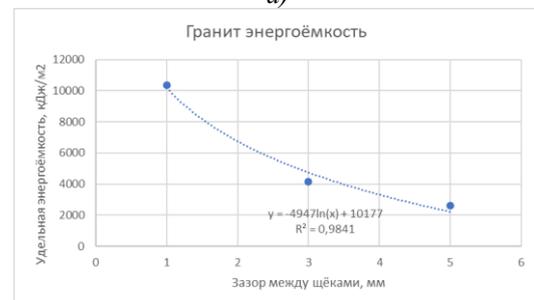


Рис. 3. Изменение производительности щековой дробилки ШД 10М при дроблении гранита Исетского месторождения в зависимости от зазора между щеками

Fig. 3. Change in the productivity of the jaw crusher ШД 10М during crushing of granite from the Isetskoye deposit, depending on the gap between the cheeks



а)



б)

Рис. 4. Влияние размера разгрузочной щели на энергоёмкость дробления мрамора (а) и гранита (б)

Fig. 4. Influence of the size of the discharge slot on the energy consumption of crushing marble (a) and granite (b)

крупность материала на выходе из дробилки, является величина зазора между подвижной и неподвижной щеками. Этот параметр и был выбран для экспериментального исследования.

Экспериментальные исследования проводились на щековой дробилке ЩД 10М со сложным движением щеки производства компании ВИБРОТЕХНИК (г. Санкт-Петербург) [15]. В качестве материалов для исследования были выбраны мрамор с исходным размером кусков 50-70 мм Сарапульского месторождения (г. Березовский) и гранит Исетского месторождения (п. Исеть) с исходным размером кусков 40-65 мм.

Эксперимент проводился по следующей схеме: были взяты примерно равные порции исходного материала мрамора (рис. 1 а) и гранита (рис. 1 б), каждая порция предварительно взвешивалась и последовательно подвергалась дроблению на зазоре между щеками в 1, 3 и 5 мм.

Сведем полученные данные дробления трех порций мрамора в табл. 1.

Построим зависимость (рис. 2) производительности при дроблении в щековой дробилке мрамора Сарапульского месторождения от зазора между щеками и, проведя аппроксимацию, подберем необходимую математическую функцию.

Путем аппроксимации полученного графика было выявлено, что наиболее подходящей функцией с величиной достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9942$  является полиномиальная функция второй степени вида  $y = 7,725x + 47,758$ .

Рассмотрим в той же последовательности дробление гранита (табл. 2 и рис 3).

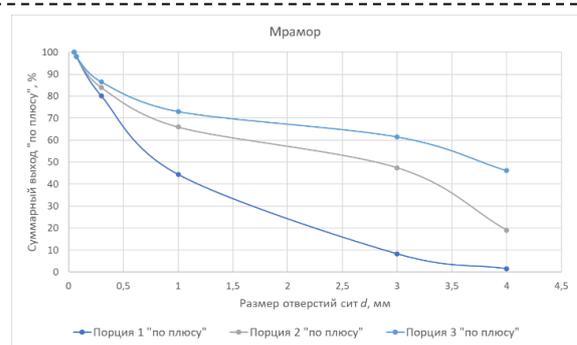
Для оценки эффективности работы щековой дробилки был произведен расчет удельной энергоёмкости дробления по следующей зависимости:

$$Q_{уд.} = \frac{P \cdot t}{|S_k - S_{in}|}, \text{ кДж/м}^2,$$

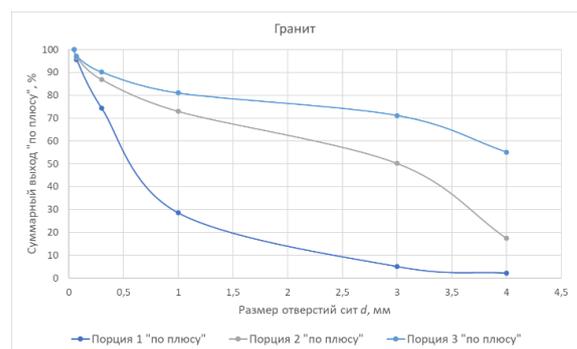
где  $P$  – мощность щековой дробилки ЩД 10М, кВт (2,2 кВт);  $t$  – время дробления каждой порции гранита и мрамора, с (табл. 1 и 2);  $S_k$  и  $S_{in}$  – площадь поверхности разрушения породы на выходе и входе в дробилку, м<sup>2</sup> ( $S_k = \pi d_k^2$  и  $S_{in} = \pi d_{in}^2$ , для упрощения расчетов было допущено, что фрагменты породы имеют форму сферы);  $d_k$  и  $d_{in}$  – диаметр поверхности куска породы на выходе (табл. 1 и 2, было допущено, что на выходе диаметр куска породы равен зазору разгрузочной щели) и на входе (диаметры найдены как среднеарифметическое от размеров исходных кусков мрамора 50-70 мм и гранита 40-65 мм), м.

По результатам расчета были построены графики зависимости удельной энергоёмкости от зазора разгрузочной щели рис. 4 (а и б), а также определены аппроксимирующие их функции.

Далее необходимо было оценить гранулометрический состав мраморной и гранитной крошки, полученной после дробления на различных зазорах. Для этого был использован ситовой анализатор А 20 [15] производства компании «ВИБРОТЕХНИК». Продолжительность отсева каждой порции – 2 мин.



а)



б)

Рис. 5. Характеристики крупности дробления мрамора (а) и гранита (б) при разных зазорах между щеками

Fig. 5. Characteristics of the size of crushing of marble (a) and granite (b) at different gaps between the cheeks

Для наглядности и анализа полученных в результате отсева данных построим характеристики крупности дробления «по плюсу» (рис. 5 а, б). Суммарная характеристика «по плюсу» показывает, какое количество материала осталось бы на сите с размером отверстия, равным  $d$ , мм.

#### Выводы

- выявлена особенность дробления мрамора, а именно его «налипаемость» на щеки, что может также оказывать влияние на производительность щековой дробилки. Этот аспект необходимо учитывать при проектировании мобильного дробильно-сортировочного комплекса для переработки техногенного месторождения нерудных полезных ископаемых;

- анализ отсева показал, что при дроблении мрамора и гранита на зазоре 1 мм в продукте преобладают мелкие классы, а при 3 и 5 мм преобладают крупные классы. При этом количество мелкой фракции размером до 1 мм заметно больше у гранита;

- выявленные экспериментальные зависимости, описывающие изменение производительности щековой дробилки при дроблении мрамора и гранита, могут иметь практическую ценность при настройке мобильного дробильного оборудования;

- определены тенденции изменения энергоёмкости дробления, которые позволят при получении заданной крупности эффективно использовать дробилку.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев, Е.Е. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению: Учебник / Е.Е. Андреев, О.Н. Тихонов. – СПб: СПбГИ (ТУ), 2007. – 439 с.
2. Клушанцев, Б.В. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации: производственное издание / Б.В. Клушанцев, А.И. Косарев, Ю.А. Муйземнек, 1990. – 320 с.
3. Чулок В.Р. Дробильщик: научное издание / В.Р. Чулок, В.Г. Гуревич; науч. ред. М.Е. Культэ, 1980. – 72 с.
4. Вержанский А.П. Перспективы применения мобильных дробильно-сортировочных установок в строительной индустрии / А.П. Вержанский, А.Д. Бардовский, П.Я. Бибииков, П.М. Вержанский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № S16. – С. 365-372.
5. Семенов А.А. Состояние российского рынка мобильных и передвижных дробильно-сортировочных установок / А.А. Семенов // Строительные материалы. – 2012. – № 9. – С. 46-48.
6. Голиков Н.С., Тимофеев И.П. Результаты аналитических исследований дробилок со сложным движением щеки. Записки Горного института. 2008. Т. 178. С. 40-42.
7. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых : учебник / С.Е. Андреев, В.А. Перов, В.В. Зверевич. - 3-е изд., испр. и доп. - Москва: Недра, 1980. - 415 с.
8. M. Lindqvist, C.M. Evertsson, Liner wear in jaw crushers, Minerals Engineering, Volume 16, Issue 1, 2003, Pp. 1-12.
9. Juuso Terva, Veli-Tapani Kuokkala, Kati Valtonen, Pekka Siitonen, Effects of compression and sliding on the wear and energy consumption in mineral crushing, Wear, Volumes 398-399, 2018, Pp. 116-126.
10. Lagunova, Yu.A., Bochkov, V.S. Energy Component of Properties of Material Crushability Layer (2020) Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 577-584.
11. Marit Fladvad, Tero Onnela, Influence of jaw crusher parameters on the quality of primary crushed aggregates, Minerals Engineering, Volume 151, 2020, 106338.
12. Daniel Legendre, Ron Zevenhoven, Assessing the energy efficiency of a jaw crusher, Energy, Volume 74, 2014, Pp. 119-130.
13. Olaleye, B.M. Influence of some rock strength properties on jaw crusher performance in granite quarry, Mining Science and Technology (China), Volume 20, Issue 2, 2010, Pp. 204-208.
14. Голиков, Н.С. Определение производительности щековых дробилок со сложным движением щеки с учетом кинематики их рабочего механизма / Н.С. Голиков, И.П. Тимофеев // Инновации на транспорте и в машиностроении : сборник трудов III международной научно-практической конференции: в 5 томах, Санкт-Петербург, 14-15 апреля 2015 года / Под редакцией В.В. Максарова. – Санкт-Петербург: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – С. 49-52.
15. Семчак, А.И. Оборудование «ВИБРОТЕХНИК» для пробоподготовки и опыт его эксплуатации в учебной лаборатории уральского государственного горного университета / А.И. Семчак, В.С. Бочков // В сборнике: Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. сборник трудов XVIII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горно-промышленной декады. Екатеринбург, 2020. С. 164-165.

DOI: 10.26730/1816-4528-2021-6-26-31

**Ksenia V. Bochkova**, graduate student, **Vladimir S. Bochkov**, C. Sc. In Engineering, Associate Professor

Ural State Mining University, 620144, Russia, Yekaterinburg, st. Kuibyshev, 30

E-mail: bochkov.v@m.ursmu.ru

## RESEARCH OF PRIMARY ORE PREPARATION AT HARD-TO-ACCESS DEPOSITS



### Article info

Received:

13 November 2021

Revised:

30 November 2021

Accepted:

03 December 2021

### Abstract.

*In Russia, as in the rest of the world, there is a depletion of deposits in places of traditional human habitation, which makes it necessary to search for the development of hard-to-reach deposits. Such deposits include deposits located in remote sparsely populated regions, and deposits located under high-strength overburden which can also be attributed to hard-to-reach deposits. In this regard, for the development of such deposits, it is necessary to study the technology, justify the use of one or another type of equipment. Of particular interest is the determination of the rational technology and parameters of the primary ore preparation directly at the deposit (in the open pit). For these purposes, according to the authors of this article, mobile crushing and screening complexes may be suitable, which*

**Keywords:** jaw crusher, jaws, energy intensity, size, gap, crushing, marble, granite, deposit, host rock.

allow you to quickly establish a technological process in hard-to-reach regions. Primary ore preparation, in turn, makes it possible to prepare ore to a size of 3-5 mm, which will ensure its cost-effective transportation to existing processing plants, which will allow using a minimum set of technological equipment in a hard-to-reach deposit. To substantiate the primary ore preparation directly in the quarry, the presented article analyzed the problem of setting up equipment for mobile sorting complexes that operate under non-stationary conditions at various, relatively small deposits of non-metallic minerals, including dumps. In particular, experimental studies were carried out to identify dependencies connecting changes in the gap between the jaws of a jaw crusher and productivity using the example of the most common host rocks, such as marble from the Sarapul deposit (Berezovsky town) and granite from the Isetsy deposit (Iset site). The tendencies of changes in energy consumption during crushing of marble and granite have been determined. The resulting fractional composition was also analyzed after crushing the indicated rocks at various gaps between the jaws. Jaw crusher SCHD 10 M, sieve analyzer A 20 and laboratory balance MASSA-K VK-3000 were used as experimental equipment.

**For citation** Bochkova K.V., Bochkov V.S. Research of primary ore preparation at hard-to-access deposits. Mining Equipment and Electromechanics, 2021, no.6 (158), pp. 26-31. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-6-26-31

#### REFERENCES

1. Andreyev, Ye.Ye. Drobieniye, izmel'cheniye i podgotovka syr'ya k obogashcheniyu: Uchebnik / Ye.Ye. Andreyev, O.N. Tikhonov. – SPb: SPGGI (TU), 2007. – 439 p.
2. Klushantsev, B.V. Drobilki. Konstruktsiya, raschet, osobennosti ekspluatatsii: proizvodstvennoye izdaniye / B. V. Klushantsev, A. I. Kosarev, Yu. A. Muzemnek, 1990. – 320 p.
3. Chulok, V.R. Drobil'shchik : nauchnoye izdaniye / V.R. Chulok, V.G. Gurevich ; nauch. red. M.Ye. Kul'te, 1980. – 72 p.
4. Verzhanskiy A.P. Prospects for the use of mobile crushing and screening plants in the construction industry / A.P. Verzhanskiy, A.D. Bardovskiy, P.Ya. Bibikov, P.M. Verzhanskiy // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. – 2009. – No. S16. – Pp. 365-372. [In Russ].
5. Semenov A.A. The state of the Russian market of mobile and mobile crushing and sorting plants / A.A. Semenov // Stroitel'nye materialy. – 2012. – No. 9. – Pp. 46-48. [In Russ].
6. Golikov N.S., Timofeev I.P. Analytical results of complex jaw crushers. Zapiski Gornogo instituta. 2008. Vol. 178. Pp. 40-42. [In Russ].
7. Andreev S.E. Crushing, grinding and screening of useful minerals: textbook / S.E. Andreev, V.A. Perov, V.V. Zverevich. – 3rd ed., rev. and add. – Moscow: Nedra, 1980. – 415 p.
8. M. Lindqvist, C.M. Evertsson, Liner wear in jaw crushers, Minerals Engineering, Volume 16, Issue 1, 2003, Pp. 1-12.
9. Juuso Terva, Veli-Tapani Kuokkala, Kati Valtonen, Pekka Siitonen, Effects of compression and sliding on the wear and energy consumption in mineral crushing, Wear, Volumes 398-399, 2018, Pages 116-126.
10. Lagunova, Yu.A., Bochkov, V.S. Energy Component of Properties of Material Crushability Layer (2020) Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 577-584.
11. Marit Fladvad, Tero Onnela, Influence of jaw crusher parameters on the quality of primary crushed aggregates, Minerals Engineering, Volume 151, 2020.
12. Daniel Legendre, Ron Zevenhoven, Assessing the energy efficiency of a jaw crusher, Energy, Volume 74, 2014, Pp. 119-130.
13. Olaleye B.M. Influence of some rock strength properties on jaw crusher performance in granite quarry, Mining Science and Technology (China), Volume 20, Issue 2, 2010, Pp. 204-208.
14. Golikov N.S. Opredeleniye proizvodi-tel'nosti shchekovykh drobilok so slozhnym dvizhe-niyem shcheki s uchetom kinematiki ikh rabocheho mekhanizma / N.S. Golikov, I.P. Timofeyev // Innovatsii na transporte i v mashinostroyenii : sbor-nik trudov III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: in 5 volumes, St. Petersburg, April 14-15, 2015 / Edited by V.V. Maksarov. - St. Petersburg: National Mineral Resources University "Mining", 2015. – Pp. 49-52.
15. Semchak A.I. VIBROTECHNIK equipment for sample preparation and experience of its operation in the educational laboratory of the Ural State Mining University / A.I. Semchak, V.S. Bochkov // In the collection: Tehnologicheskoe oborudovanie dlja gornoj i neftegazovoj promyshlennosti. sbornik trudov XVIII mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Chtenija pamjati V. R. Kubacheka», held in the framework of the Ural mining decade. Ekaterinburg, 2020. Pp. 164-165.