

О ВЛИЯНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ШАТУНА ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ НА ЕЁ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Бочков В.С.¹, Хазин М.Л.¹, Кривелев М.Д.², Великанов В.С.¹, Бочкова К.В.¹
¹Уральский государственный горный университет», Екатеринбург;
²ООО «ВИБРОТЕХНИК», Санкт-Петербург

Ключевые слова: дробление, щековая дробилка, частота вращения, частотный преобразователь, производительность, крупность.

Аннотация. Интеллектуализация процесса дробления имеет важное научно-практическое значение и один из аспектов этого процесса состоит в управляемости процессом дробления с помощью частотного регулирования вращения приводного электродвигателя дробилки. В настоящем исследовании приведена теоретическая выкладка о необходимости внедрения в конструкцию дробилок, в частности, щековых, частотного регулятора для практически повсеместно используемых асинхронных приводных двигателей. Для подтверждения теоретических изысканий о целесообразности внедрения частотных регуляторов были проведены экспериментальные исследования на щековой дробилке ШД 10 со сложным движением щеки. Целью экспериментальных исследований было определение влияния изменения частоты вращения вала приводного электродвигателя на производительность и крупность продукта. При этом зазор между щёками оставался постоянным. В результате проведенных исследований было выявлено, что производительность при изменении частоты вращения шатуна растёт по логарифмической зависимости. Эффективность дробления по крупности снижается на низких частотах, а именно на частотах равных 523 об/мин, при этом на более высоких значениях частоты крупность остаётся примерно одинаковой. Полученные в лабораторных условиях данные могут быть использованы для промышленных условий с целью повышения эффективности производственного процесса, в частности, дробления. Применяя современные цифровые частотные регуляторы можно осуществить цифровизацию процесса дробления, что позволит увеличить его контролируемость, энергоэффективность (за счёт снижения электропотребления), а получаемые цифровые значения по скорости вращения электродвигателя, производительность, позволят создать базу данных, на основе которой возможно будет создать аналитическую программу, которая в конечном итоге будет контролировать процесс дробления и адаптировать его под конкретную породу.

ON THE EFFECT OF CHANGING THE ROTATIONAL FREQUENCY OF THE ROD OF A JAW CRUSHER ON ITS TECHNOLOGICAL INDICATORS

Bochkov V.S.¹, Khazin M.L.¹, Krivelev M.D.², Velikanov V.S.¹, Bochkova K.V.¹
¹Ural State Mining University, Yekaterinburg
²VIBROTECHNIK LLC, Saint-Petersburg

Keywords: crushing, jaw crusher, rotational speed, frequency converter, performance, fineness.

Abstract. Intellectualization of the crushing process is of great scientific and practical importance and one of the aspects of this process is the controllability of the crushing process by means of frequency control of the rotation of the drive electric motor of the crusher. In this study, a theoretical calculation is given about the need to introduce a frequency regulator into the design of crushers, in particular, jaw crushers, for almost universally used asynchronous drive motors. To confirm the theoretical research on the feasibility of introducing frequency regulators, experimental studies were conducted on a cheek crusher SHD 10 with a complex cheek movement. The purpose of the experimental study was to determine the effect of changing the rotational speed of the drive motor shaft on the performance and size of the product. At the same time, the gap between the cheeks remained constant. As a result of the conducted research, it was revealed that the productivity increases logarithmically when the speed of rotation of the connecting rod changes. The efficiency of crushing by size decreases at low frequencies, namely at frequencies equal to 523 rpm, while at higher frequency values, the size remains approximately the same. The data obtained in laboratory conditions can be used for industrial conditions in order to increase the efficiency of the production process, in particular, crushing. Using modern digital frequency controllers, it is possible to digitalize the crushing process, which will increase its controllability, energy efficiency (by reducing power consumption), and the resulting digital values for the speed of rotation of the electric motor, performance, will allow you to create a database on the basis of which it will be possible to create an analytical program that will eventually control the crushing process and adapt it for a specific breed.

Введение

Процессы дробления 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 оказывают существенное влияние на технико-экономические показатели производства, поскольку характеризуются значительными капитальными и эксплуатационными затратами, доля которых достигает 50-70%.

Проблемной областью эксплуатации дробильного оборудования, в частности, щековых дробилок, является возрастающая интенсивность их работы на обогатительных и дробильно-размольных фабриках, рост стоимости электроэнергии и т.д. Из-за описанных факторов возникает необходимость подбора наиболее энергоэффективных режимов работы технологического оборудования [1-5]. Для повышения эффективности дробления ведутся исследования в следующих направлениях: повышение износостойкости футеровок дробильного оборудования [6] дробление «в слое» [7, 8] (порода дробится «в слое» за счёт чего реализуется «многосиловое» воздействие на отдельный кусок породы), совершенствование футеровок дробилок (повышение износостойкости, изменение конструкции футеровки, автоматизация процессов дробления, применение вибраций, инерционного воздействия [9-13] и т.д. Ещё одним перспективным направлением исследований является применение частотного регулирования при работе щековой дробилки с использованием

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.

Одним из возможных направлений для решения описанных выше проблем является использование частотного регулирования скорости вращения шатуна щековой дробилки.

Целью представленного исследования является определение влияния частоты вращения шатуна щековой дробилки ШД10М на производительность и крупность продукта дробления.

Теория вопроса

С развитием уровня техники и технологии возрастает уровень автоматизации технологического оборудования, который со временем можно перевести на уровень цифровизации и, в дальнейшем интеллектализации. Но для этого нам необходимо иметь доступ к управлению рабочими процессами реализуемыми, в частности, в щековых дробилках.

В настоящее время, как правило, промышленные дробилки имеют низкий уровень автоматизации, особенно в сфере управления дроблением. Применяются в основном датчики и контроллеры, обеспечивающие безопасность работы дробилки, а контроль самого рабочего процесса отсутствует. Соответственно, отсутствуют и данные для контроля и совершенствования процесса дробления конкретной горной породы.

Основным рабочим процессом, который влияет на основной параметр щековой дробилки – её производительность – является частота вращения шатуна, приводящего в движение подвижную щёку (рис. 1).

Проведение эксперимента

Для оценки эффективности применения регулирования скорости вращения шатуна щековой дробилки была проведена серия экспериментов по изменению частоты вращения приводного асинхронного двигателя. Для регулирования скорости вращения вала электродвигателя был применён частотный преобразователь PowerFlex 525. В качестве материала для дробления был использован ферросилиций, обладающий следующими

свойствами: хрупкий, плотность 3,5 г/см³, серо-серебристый. Его крупность и фракционный состав составляли куски неправильной формы размером от 10 до 40 мм. Для проведения испытаний было использовано следующее оборудование: щековая дробилка ЩД 10, анализатор А 20 в составе: вибропривод ВП 30Т, сита с размером ячеек 0,25; 0,5; 0,9; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 и 7,5 мм, крышка и поддон, сметка, совок, пылесос, весы, пакетики д/образцов.

Эксперимент проводился по следующей схеме: к приводному электродвигателю щековой дробилки ЩД 10 подключался частотный преобразователь PowerFlex 525, с помощью которого настраивались различные частоты вращения вала электродвигателя, приведённые в таблице 1. Масса исходной породы при каждой настраиваемой частоте была одинакова и составляла 1 кг.

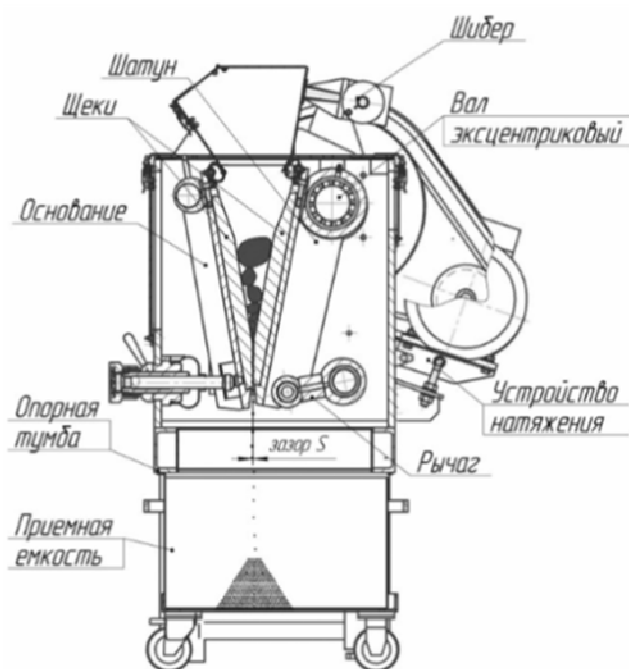


Рис. 1. Конструктивная схема щековой дробилки ЩД 10 производства компании ВИБРОТЕХНИК (г.Санкт-Петербург)

Табл. 1. Влияние частоты вращения электродвигателя на производительность щековой дробилки

Частота вращения электродвигателя дробилки, об/мин	Время дробления, с	Производительность, кг/ч
450	97	37
750	73	49
1500	43	84
2250	38	95
2407	35	103

Для оценки полученных значений построим график зависимости производительности щековой дробилки ЩД 10 от частоты вращения приводного вала электродвигателя (рис. 2).

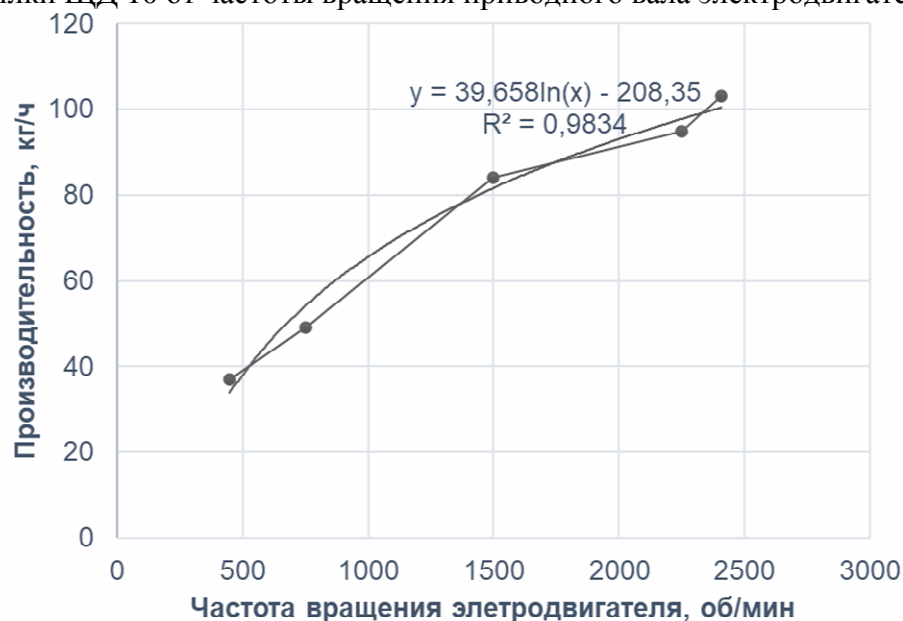


Рис. 2. Зависимость производительности щековой дробилки от частоты вращения электродвигателя

После дробления на каждой частоте с помощью анализатора А 20 был определен гранулометрический состав полученного продукта (табл. 2).

Табл. 2. Определение гранулометрического состава при изменении частоты вращения вала электродвигателя щековой дробилки

Крупность, мм	-0,25	+0,25 -0,5	+0,5 -0,9	+0,9 -2,0	+2,0 -3,0	+3,0	Итого:
Масса, гр	40	35	64	191	39	38	407
Частота 15 Гц	10%	9%	16%	47%	10%	9%	100%
Масса, гр	34	33	65	133	42	46	353
Частота 25 Гц	10%	9%	18%	38%	12%	13%	100%
Масса, гр	67	54	90	145	13	19	388
Частота 50 Гц	17%	14%	23%	37%	3%	5%	100%
Масса, гр	92	67	125	200	15	24	523
Частота 75 Гц	18%	13%	24%	38%	3%	5%	100%
Масса, гр	80	60	107	166	16	31	460
Частота 80 Гц	17%	13%	23%	36%	3%	7%	100%

Для анализа полученных значений были построены гистограммы для оценки влияния частоты вращения электродвигателя на гранулометрический состав продукта (рис. 3).

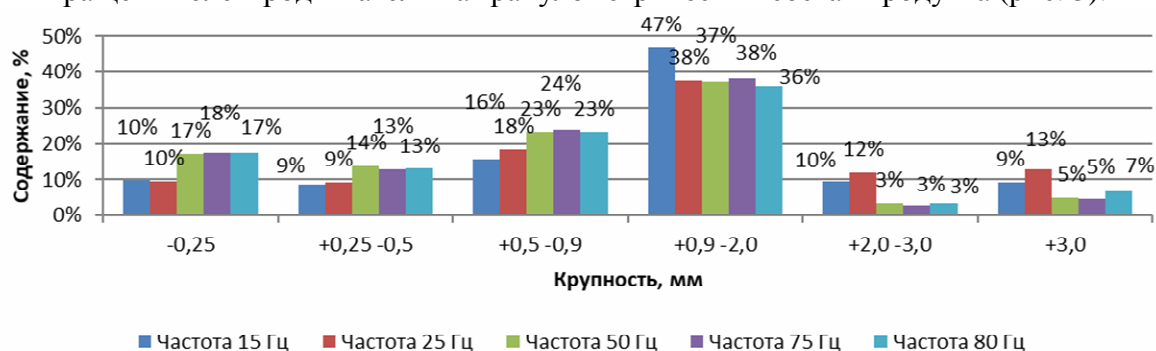


Рис. 3. Гистограммы распределения крупности при работе щековой дробилки ШД 10 при различных частотах

Обсуждение результатов

При анализе проведённых исследования видно, что производительность при увеличении частоты вращения приводного электродвигателя растёт, но при этом, как видно из сравнительной таблицы 4, процесс роста производительности не носит пропорциональный характер и требует дальнейших уточнений. Но определённую тенденцию проследить всё-таки можно, в частности, производительность интенсивно растёт в интервале частот вращения от 15 до 50 Гц, а далее её прирост замедляется. Как видно из гистограммы (рис. 3) при частотах вращения 15, 25 и 50 Гц эффективность дробления по крупности снижается на 5-10%.

Табл. 4. Влияние изменения частоты вращения дробилки на её основные технологические показатели

№	Частота вращения э/д, Гц	Частота вращения шатуна, об/мин	Пр-ть, кг/час	Увеличение частоты	Увеличение пр-ти
1	15	157	37		
2	25	261	49	40%	24%
3	50	523	84	50%	42%
4	75	784	95	33%	12%
5	80	839	104	6%	9%

Выводы:

- при частоте вращения шатуна ниже 523 об/мин (50 Гц) эффективность дробления снижается на 5-10%;
- повышение частоты вращения шатуна свыше 523 об/мин (50 Гц) не приводит к изменению крупности конечного продукта;
- производительность при изменении частоты вращения шатуна возрастает по логарифмической зависимости, представленной на рисунке 2.

Список литературы

1. Бочков В.С., Дягилев С.Д. Анализ одностадийного и двухстадийного дробления сланца в щековой дробилке ШД 10М для изготовления бетонно-мозаичной плитки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – №7. – С. 78-84. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-78-84.
2. Вержанский А.П., Бардовский А.Д., Бибиков П.Я., Вержанский П.М. Перспективы применения мобильных дробильно-сортировочных установок в строительной индустрии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № S16. – С. 365-372.
3. Семенов А.А. Состояние российского рынка мобильных и передвижных дробильно-сортировочных установок // Строительные материалы. – 2012. – №9. – С. 46-48.
4. Голиков Н.С., Тимофеев И.П. Результаты аналитических исследований дробилок со сложным движением щеки // Записки Горного института. – 2008. – Т. 178. – С. 40-42.
5. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: учебник. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
6. Lindqvist M., Evertsson C.M. Liner wear in jaw crushers // Minerals Engineering. 2003, vol. 16, iss. 1, pp. 1-12. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(02\)00179-6](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(02)00179-6).
7. Juuso Terva, Veli-Tapani Kuokkala, Kati Valtonen, Pekka Siitonen. Effects of compression and sliding on the wear and energy consumption in mineral crushing // Wear. 2018, vol. 398-399, pp. 116-126. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.12.004>.
8. Lagunova Yu.A., Bochkov V.S. Energy Component of Properties of Material Crushability Layer // Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2020, pp. 577-584. DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1_61.
9. Marit Fladvad, Tero Onnela. Influence of jaw crusher parameters on the quality of primary crushed aggregates // Minerals Engineering. 2020, vol. 151, p. 106338. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106338>.
10. Daniel Legendre, Ron Zevenhoven, Assessing the energy efficiency of a jaw crusher // Energy. 2014, vol. 74, pp. 119-130. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.036>.
11. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров: учебник для студ. вузов, обуч. по спец. «Горн. машины и оборудование». – 7-е изд., перераб., доп. – М.: Майнинг Медиа Групп, 2011. – 639 с.
12. Olaleye B.M. Influence of some rock strength properties on jaw crusher performance in granite quarry // Mining Science and Technology (China). 2010, vol. 20, iss. 2, pp. 204-208. [https://doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60185-X](https://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60185-X).
13. Семчак А.И., Бочков В.С. Оборудование «ВИБРОТЕХНИК» для пробоподготовки и опыт его эксплуатации в учебной лаборатории уральского государственного горного университета // Сборник трудов XVIII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. – Екатеринбург: УрГТУ, 2020. – С. 164-165.

References

1. Bochkov V.S., Dyagilev S.D. Analysis of one-stage and two-stage crushing of shale in jaw crusher ShchD 10M for manufacture of terrazzo tiles // Mining information and analytical bulletin. 2020, vol. 7, pp. 78-84. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-78-84.
2. Verzhanskiy A.P., Bardovskiy A.D., Bibikov P.Ya., Verzhanskiy P.M. Prospects for the use of mobile crushing and screening plants in the construction industry // Mining information and analytical bulletin. 2009, no. S16, pp. 365-372.
3. Semenov A.A. The state of the Russian market of mobile and mobile crushing and sorting plants // Building materials. 2012, no. 9, pp. 46-48.
4. Golikov N.S., Timofeev I.P. Analytical results of complex jaw crushers // Journal of Mining Institute. 2008, vol. 178, pp. 40-42.
5. Andreev S.E., Perov V.A., Zverevich V.V. Crushing, grinding and screening of useful minerals: textbook. – 3rd ed., rev. and add. – Moscow: Nedra, 1980. – 415 p.
6. Lindqvist M., Evertsson C.M. Liner wear in jaw crushers // Minerals Engineering. 2003, vol. 16, iss. 1, pp. 1-12. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(02\)00179-6](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(02)00179-6).
7. Juuso Terva, Veli-Tapani Kuokkala, Kati Valtonen, Pekka Siitonen. Effects of compression and sliding on the wear and energy consumption in mineral crushing // Wear. 2018, vol. 398-399, pp. 116-126. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.12.004>.

8. Lagunova Yu.A., Bochkov V.S. Energy Component of Properties of Material Crushability Layer // Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2020, pp. 577-584. DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1_61.
9. Marit Fladvad, Tero Onnela. Influence of jaw crusher parameters on the quality of primary crushed aggregates // Minerals Engineering. 2020, vol. 151, p. 106338. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106338>.
10. Daniel Legendre, Ron Zevenhoven, Assessing the energy efficiency of a jaw crusher // Energy. 2014, vol. 74, pp. 119-130. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.036>.
11. Poderny R.Yu. Mechanical equipment of quarries: a textbook for students. universities, training. by special 'Horn. machines and equipment. – 7th ed., rev., add. – M.: Mining Media Group, 2011. – 639 p.
12. Olaleye B.M. Influence of some rock strength properties on jaw crusher performance in granite quarry // Mining Science and Technology (China). 2010, vol. 20, iss. 2, pp. 204-208. [https://doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60185-X](https://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60185-X).
13. Semchak A.I., Bochkov V.S. VIBROTECHNIK equipment for sample preparation and experience of its operation in the educational laboratory of the Ural State Mining University // Proceedings of the XVIII International Scientific and Technical Conference "Readings in memory of V.R. Kubachek". Technological equipment for the mining and oil and gas industry. – Yekaterinburg: USMU, 2020. – P. 164-165.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Бочков Владимир Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации и компьютерных технологий	Bochkov Vladimir Sergeevich – candidate of technical sciences, associate professor, head of automation and computer technology department
Хазин Марк Леонтьевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры эксплуатации горного оборудования	Khazin Mark Leontievich – doctor of technical sciences, professor, professor of the department of mining equipment operation
Кривелев Михаил Дмитриевич – директор	Krivelev Mikhail Dmitrievich – director
Великанов Владимир Семёнович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры автоматизации и компьютерных технологий,	Velikanov Vladimir Semenovich – doctor of technical sciences, associate professor, professor of automation and computer technology department
Бочкова Ксения Викторовна – аспирант	Bochkova Ksenia Viktorovna – postgraduate student
bochkof@list.ru	

Получена 13.09.2022