

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ С ДВУМЯ СИНХРОННО ПОДВИЖНЫМИ ЩЕКАМИ С КРИВОЛИНЕЙНЫМ ПРОДОЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ

Копосов П.В., Жуков И.А., Бойко В.С.

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург

Ключевые слова: горная порода, дробление, дробильно-сортировочный комплекс, щековая дробилка, продольный профиль щеки, трактриса.

Аннотация. В статье приведены требования, предъявляемые к вновь создаваемым и совершенствуемым конструкциям щековых дробильных машин. Представлена расширенная классификация щековых дробилок, включающая в себя четыре отличительных признака, по которым самые разнообразные конструкции дробилок могут быть отнесены к различным группам. Особое внимание уделено вариантам исполнения продольного профиля щек. Обосновывается новое техническое решение щековой дробильной машины, которая обладает такими уникальными свойствами, как синхронная подвижность обоих щек, криволинейный продольный профиль щек, выполненный по трактрисе. Вследствие указанных признаков новая конструкция дробилки обладает повышенной производительностью, возможностью получения максимально возможного объема готовой продукции требуемого класса крупности, а также эквидистантным изнашиванием дробящих плит, что обеспечивает увеличение срока службы дробильной машины.

JUSTIFICATION OF TECHNICAL SOLUTION OF THE JAW CRUSHER WITH TWO SYNCHRONOUSLY MOVABLE JAWS WITH A CURVED LONGITUDINAL PROFILE

Koposov P.V., Zhukov I.A., Boiko V.S.

Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: rock, crushing, crushing and screening complex, jaw crusher, longitudinal profile of the jaw, tractrix.

Abstract. The article presents the requirements for newly created and improved designs of jaw crushing machines. An expanded classification of jaw crushers is presented, which includes four distinctive features, according to which a wide variety of crusher designs can be classified into different groups. Special attention is paid to the variants of the longitudinal profile of the jaws. A new technical solution of a jaw crushing machine is substantiated, which has such unique properties as synchronous mobility of both jaws, a curved longitudinal profile of the jaws made according to a tractor. Due to these features, the new crusher design has increased productivity, the ability to obtain the maximum possible volume of finished products of the required size class, as well as equidistant wear of crushing plates, which ensures an increase in the service life of the crushing machine.

Введение

Стремительное развитие отечественного производства обуславливает увеличение добычи и переработки топливно-энергетических ресурсов, строительных материалов и различных минералов [1]. Целевой сценарий стратегии развития Российской Федерации предполагает опережающее наращивание потенциала горнодобывающего оборудования для обеспечения растущего спроса на полезные ископаемые.

В настоящее время на предприятиях, специализирующихся на добыче и обогащении полезных ископаемых, широко применяются дробильно-сортировочные комплексы и установки (как стационарные, так и мобильные), благодаря возможности их использования с совершенно разнообразными целями [2-4]. Дробильно-сортировочные комплексы обеспечивают подготовку сырья, которая включает в себя операции дробления, измельчения и сортировки, как в условиях карьерной выработки, так и на производственных площадках обогатительных фабрик. При открытой добыче объектами переработки выступают горная порода, уголь или руда. Измельчение их кусков с последующей классификацией обеспечивает повышение эффективности их использования на дальнейших стадиях

переработки, повышает качество и снижает себестоимость конечного продукта, а также упрощает процесс транспортировки.

В зависимости от назначения и производственных нужд дробильно-сортировочные комплексы имеют различную комплектацию. Основными компонентами являются питатель, дробильная установка, грохот и конвейер. Одним из типов дробильного оборудования, применяемого и на мобильных, и на стационарных комплексах, предназначенного для как разрушения крупных кусков горной породы, так и для измельчения материала до заданной фракции, являются щековые дробилки [5-7].

В силу разнообразия свойств и размеров дробимого материала, различных качественных и количественных целей процесса щековые дробильные машины обладают многообразием конструктивных форм [8-10]. При этом любая дробилка должна соответствовать следующим общим требованиям [11, 12]:

- 1) дробильная машина должна удовлетворять основному принципу дробления – не дробить ничего лишнего;
- 2) конструкция и размеры дробилки должны соответствовать ее назначению, производительности и размерам дробимых кусков [13, 14];
- 3) расход энергии должен быть минимальным [15];
- 4) дробление должно быть максимально равномерным, т.е. отличие в размерах гранул готовой продукции было минимальным;
- 5) изменение степени измельчения должно осуществляться простыми конструктивными мерами [16];
- 6) раздробленные куски должны быть немедленно удаляемы, чтобы не допустить их дальнейшего измельчения и пылеобразования;
- 7) изнашивание основных элементов машины должно быть по возможности равномерным [17, 18], а замена изношенных частей – легкой.

В настоящей статье представлено новое техническое решение конструкции щековой дробильной машины, удовлетворяющей вышеописанным требованиям и обладающей свойством получения гранул готовой продукции однородной формы и более узкого класса крупности.

Состояние вопроса

Сравнительный анализ известных запатентованных конструкций щековых дробильных машин [19], позволил авторам выделить ряд значимых отличительных признаков, которые позволяют представить расширенную классификацию дробилок такого типа (рис. 1).

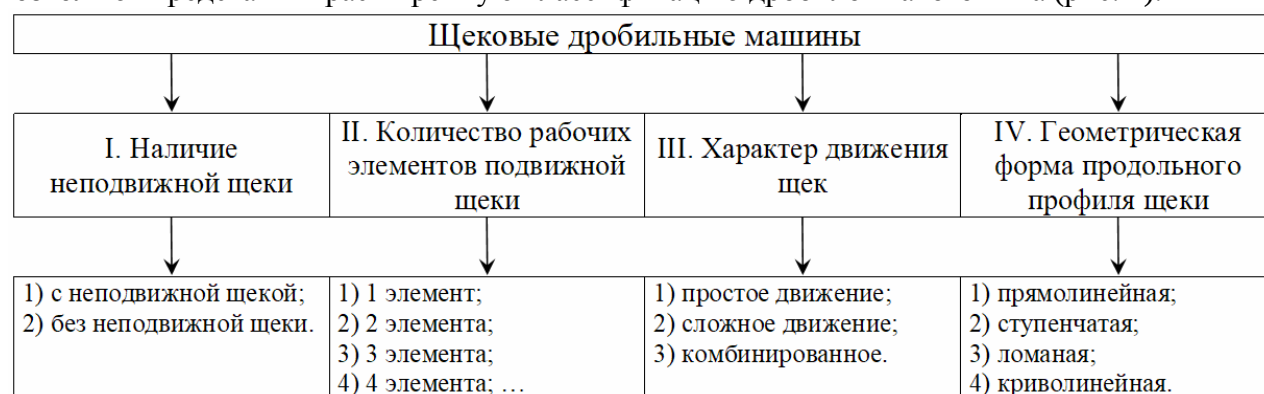


Рис. 1. Дополненная классификация щековых дробильных машин

I. Щековые дробилки традиционно состоят из неподвижной и подвижной щеки. Однако в моделях с двумя подвижными щеками, движущимися навстречу друг другу, возможно обеспечить более равномерное распределение нагрузки на дробимый материал и сократить расход энергии.

II. Наличие конструктивных исполнений шек, состоящих из нескольких элементов, позволяет оптимизировать величину нагрузки на дробимый материал в зависимости от

уровня его расположения в рабочей камере дробилки, а также позволяет осуществлять их отдельную замену по мере изнашивания

III. Известно [12], что щековые дробилки принято делить на машины с простым и сложным движением щек. Однако при наличии в конструкции щеки нескольких элементов, способных осуществлять относительное движение, появляется третий вариант, представляющий собой комбинацию простого и сложного движений.

IV. Наряду с наиболее распространенным вариантом исполнения продольного профиля щек – прямолинейным, стоит выделять ступенчатый, ломаный и криволинейный.

Одним из ключевых аспектов, влияющих на эффективность щековых дробилок, является конфигурация продольного профиля щек. В традиционных конструкциях щеки имеют прямолинейный профиль. Это приводит к тому, что усилия, действующие от щеки на разрушаемую породу, всегда параллельны между собой, т.к. они перпендикулярны плоской щеке. Такое распределение усилий не позволяет эффективно фокусировать их на дроблении породы, что снижает общую производительность дробилки.

Геометрические параметры продольного профиля щеки определяют эксплуатационные показатели дробилки – производительность, расход энергии, форму, состав и крупность готовой продукции. От формы щеки зависят размеры и объем рабочей камеры, угол захвата, направление и величина усилий, действующих на дробимый материал.

Так, известно, что выполнение щек выпуклостью навстречу друг другу позволяет получать наиболее мелкую фракцию в результате дробления. Выпукло-вогнутый профиль щеки позволяет получить гранулы готовой продукции однородной формы и более узкого класса крупности, что определяет область применения таких щек в качестве рабочего органа дробилок-грануляторов.

По результатам анализа инновационных решений щековых дробильных машин [20] было обнаружено, что существующие ныне конструкции дробилок с нелинейным продольным профилем щек предполагают исполнение дробящих плит, в основном, в трех вариантах: с частичным изгибом прямолинейной щеки, изогнутыми по радиусу, или выполненными по какой-либо плоской кривой, отличной от окружности. Однако на практике третий вариант представлен лишь одной плоской кривой – эвольвентой круга. Такое решение было запатентовано профессором Л.Т. Дворниковым в 2021 году [21]. Причем уникальность этой конструкции заключается не только в том, что продольный профиль щеки криволинеен, но и в том, что авторы делают обе щеки подвижными, соединяя каждую из щек посредством тяг с качающимся звеном, входящим во вращательную кинематическую пару (шарнир) со стойкой. Кинематический анализ рабочего механизма такой дробилки показал [19], что щеки движутся асинхронно с разными скоростями и ускорениями, что естественно не обеспечивает заданной производительности и равномерного дробления материала, а при неправильно подобранных геометрических соотношениях звеньев механизма и вовсе может привести к неработоспособности синтезируемой дробилки.

Объект исследования

Предлагается новое техническое решение щековой дробильной машины (рис. 2) [22], обладающей повышенной производительностью и увеличенным сроком службы.

Дробильная машина включает в себя подвижные звенья: кривошип 1, шатун 2, четырехзвенный ползун 3, подвижные тяги 4, щеки 5, имеющие вогнутый криволинейный профиль в виде трактрисы; и закрепленную в неподвижной стойке 6 решетку 7 с чередующимися выпукло-вогнутыми колосниками. Т.е. количество подвижных звеньев $n = 7$.

Количество кинематических пар 5-го класса $p_5 = 10$. Это соединения со стойкой 6 кривошипа 1, четырехзвенного ползуна 3 и каждой из щек 5; соединение кривошипа 1 с шатуном 2; соединение шатуна 2 с четырехзвенным ползуном 3; соединение четырехзвенного ползуна 3 с каждой из подвижных тяг 4; по одному соединению каждой из подвижных тяг 4 с каждой щекой 5.

Подвижность такой машины определяется формулой П.Л. Чебышева:

$$W = 3n - 2p_5 = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 = 1,$$

(1)

что доказывает ее работоспособность.

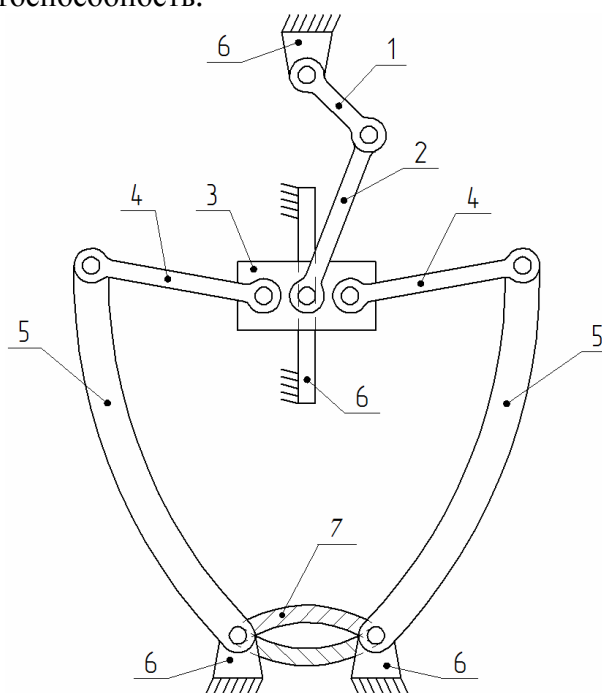


Рис. 2. Щековая дробилка с двумя синхронно подвижными щеками с криволинейным продольным профилем

Согласно представленной выше классификации дробилка, показанная на рисунке 2, может быть обозначена как – I²-II¹-III¹-IV⁴.

Дробильная машина функционирует вместе с приводом, при включении которого через кривошип 1, шатун 2, четырехзвенный ползун 3 и подвижные тяги 4 приводятся в движение щеки 5. В начале движения щеки 5 расходятся, позволяя горной породе, загружаемой сверху, проникать в рабочую камеру машины. При сближении щек 5 происходит дробление. Раздробленный материал удаляется через колосниковую решетку 7, расположенную между опорами щек 5.

Преимущества

Благодаря тому, что в разработанном механизме дробилки четырехзвенный ползун соединен с неподвижной стойкой через поступательный шарнир, щеки движутся синхронно с одинаковыми скоростями и ускорениями, обеспечивая равномерное воздействие на дробимый материал со стороны каждой из щек. Если в результате дробления появляются крупные куски породы, не соответствующие требуемому классу крупности, то они будут подвергаться дополнительному дроблению, благодаря чередованию выпукло-вогнутых колосников решетки, расположенной в выходном окне. В результате достигается максимально возможный объем готовой продукции требуемого класса крупности, что в целом повышает производительность процесса дробления.

Предполагается выполнение продольного профиля обеих подвижных щек дробильной машины в виде трактрисы – плоской трансцендентной кривой (рис. 3), которая нашла применение в некоторых областях машиностроения благодаря своим уникальным свойствам.

Уравнение трактрисы в параметрическом виде записывается следующим образом [23]:

$$\begin{cases} x = a \cdot \cos t + a \cdot \ln \operatorname{tg} \frac{t}{2}, \\ y = a \cdot \sin t, \end{cases} \quad (2)$$

где $a = OA$ – высота трактрисы или расстояние от вершины трактрисы до точки начала координат; t – параметр, представляющий собой угол, составляемый касательной в точке M к трактрисе с осью абсцисс, причем $0 < t < \pi$.

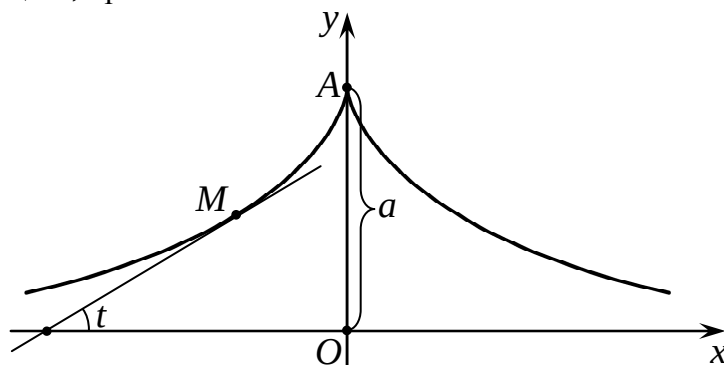


Рис. 3. Трактриса

Вогнутый криволинейный профиль щек позволяет им воздействовать на дробимый материал разнонаправленными сходящимися силами одинаковыми по величине со стороны каждой из щек, что увеличивает разрушающее воздействие.

Также известно, что длина касательной к трактрисе постоянна, следовательно, величина нагрузки, направленной по касательной к трактрисе в любой ее точке, приводящей к изнашиванию рабочей поверхности щек, является величиной постоянной, что обеспечивает в процессе дробления их равномерное изнашивание. Т.е. вогнутый криволинейный профиль щек будет изменяться эквидистантно, что обеспечит его сохранение в виде трактрисы и позволит поддерживать повышенную производительность процесса дробления при одновременном увеличении срока службы дробильной машины.

Выводы

Щековые дробилки с двумя подвижными щеками и криволинейным продольным профилем представляют собой новое техническое решение для задач первичного измельчения материалов. Их применение позволяет существенно повысить эффективность процессов переработки, благодаря оригинальной конструкции рабочих органов. Криволинейный профиль щек обеспечивает оптимизацию траектории движения материала внутри камеры дробления, что способствует более равномерному распределению нагрузки и улучшению качества измельчения. Таким образом, инновационные щековые дробилки с двумя подвижными щеками и криволинейным продольным профилем представляют собой перспективное направление для дальнейшего развития и внедрения в промышленность.

Список литературы

1. Александрова Т.Н. Комплексная и глубокая переработка минерального сырья природного и техногенного происхождения: состояние и перспективы // Записки Горного института. – 2022. – Т. 256. – С. 503-504.
2. Ефимов Д.А., Господариков А.П. Техничко-технологические аспекты использования валков с профилем в форме треугольника Рело в дробящих агрегатах на рудоподготовительном переделе // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – №10-2. – С. 117-126. – DOI: 10.25018/0236_1493_2022_102_0_117.
3. Господариков А.П., Ефимов Д.А. О некоторых аспектах повышения эффективности дробильного оборудования на рудоподготовительном переделе // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 18. – С. 128-133. – doi.org/10.26160/2658-3305-2023-18-128-133.
4. Брухавецкая А.О. Анализ современных разработок в области оценки качества дробления взорванной горной массы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 5. – С. 18-31. – DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_18.
5. Белоглазов И.И., Степанян А.С., Феоктистов А.Ю., Юсупов Г.А. Моделирование процесса дезинтеграции в щековой дробилке со сложным качанием щек // Обогащение руд. – 2018. – № 2. – С. 3-8. – DOI: 10.17580/or.2018.02.01.
6. Калининченко М.В. Щековые дробилки: назначение, классификация и расчет основных параметров // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2024. – №1(48). – С. 5-11.

7. Першин Г.Д., Пшеничная Е.Г., Пыталев И.А., Курочкин А.И. Пути повышения эффективности дезинтеграции горных пород щековыми дробилками // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2024. – №1. – С. 313-326.
8. Oduori M.F., Mutuli S.M., Munyasi D.M. The kinematics and mechanical advantage of the double-toggle jaw crusher // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2018, vol. 232, no. 18, pp. 3325-3336. DOI: 10.1177/0954406217735555.
9. Golikov N.S., Timofeev I.P. Determining the performance of a single-lever jaw crusher taking into account the kinematics parameters of its working mechanism // Journal of Physics: Conference Series. 2018, vol. 1015, no. 5, p. 052008. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/5/052008.
10. Никитин А.Г., Лубин В.А. Конструкция высокопроизводительной двухкамерной щековой дробилки // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – №26. – С. 68-72.
11. Левенсон Л.Б. Теория дробления и ее применение к щековым дробилкам // Записки Горного Института. – 1926. – Т. VII. – С. 137-185.
12. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
13. Tufan B., Tufan E. Evaluating the Impacts of Jaw Crusher Design Parameters by Simulation // 10th International Conference on Advances in Science, Engineering and Technology (ICASET-18). Paris (France). 2018, pp. 5-9. DOI: 10.17758/URUAE2.AE06181004.
14. Бочков В.С., Хазин М.Л., Кривелев М.Д., Великанов В.С., Бочкова К.В. О влиянии изменения частоты вращения шатуна щековой дробилки на её технологические показатели // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – №16. – С. 133-138.
15. Hristova T., Yanev A., Savov N. Determination of the influence of jaw movement frequency of jaw crusher on energy consumption // Annals of the University of Petrosani-Electrical Engineering, 2018, vol. 20, pp. 1454-8518.
16. Zhong X. Optimization Design and Simulation Analysis for Cavity Shape of Single Toggle Jaw Crusher // Journal of Physics: Conference Series. 2020, vol. 1622, no. 1, p. 012023. DOI: 10.1088/1742-6596/1622/1/012023.
17. Мишин И.И., Болобов В.И. Определение зависимости потребной мощности щековой дробилки от степени износа дробящих плит // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2019. – №3. – С. 18-25.
18. Terva J., Valtonen K., Siitonen P., Kuokkala V.-T. Correlation of wear and work in dual pivoted jaw crusher tests. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part 1 // Journal of Engineering Tribology. 2020, vol. 234, pp. 334-349. DOI: 10.1177/1350650118795566.
19. Копосов П.В., Жуков И.А., Бойко В.С. Обзор кинематических схем дробильных машин с непрямолинейной формой щеки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – №11-1. – С. 102-115. – DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_102.
20. Копосов П.В., Жуков И.А., Голиков Н.С. Щековые дробилки с криволинейным продольным профилем щек: классификация, тенденции развития и перспективы применения // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – №24. – С. 135-145.
21. Патент №2752910 РФ. Дробильная машина с криволинейными щеками / Л.Т. Дворников, А.В. Макаров, П.Е. Чернов. – Заявка №2020136460 от 03.11.2020; опубл. 11.08.2021, Бюл. №23.
22. Заявка на выдачу патента на изобретение №2024126256 РФ. Дробильная машина / Жуков И.А., Копосов П.В., Бойко В.С. – Приоритет от 06.09.2024.
23. Савелов А.А. Плоские кривые. Систематика, свойства, применения (справочное руководство). – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 293 с.

References

1. Aleksandrova T.N. Complex and deep processing of mineral raw materials of natural and man-made origin: state and prospects // Journal of Mining Institute. 2022, vol. 256, pp. 503-504.
2. Efimov D.A., Gospodarikov A.P. Technical and technological aspects of the use of rolls with a profile in the form of a Relo triangle in crushing aggregates at ore preparation processing // Mining information and analytical bulletin. 2022, vol. 10-2, pp. 117-126. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_102_0_117.
3. Gospodarikov A.P., Efimov D.A. On some aspects of improving the efficiency of crushing equipment at ore preparation processing // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2023, no. 18, pp. 128-133. doi.org/10.26160/2658-3305-2023-18-128-133.
4. Brukhavetskaya A.O. Analysis of modern developments in the field of quality assessment of crushing of blasted rock mass // Mining information and analytical bulletin. 2023, no. 5, pp. 18-31. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_18.
5. Beloglazov I.I., Stepanyan A.S., Feoktistov A.Yu., Yusupov G.A. Modeling of the disintegration process in a jaw crusher with a complex cheek swing // Obogashchenie Rud, 2018, no. 2, p. 3-8. DOI: 10.17580/or.2018.02.01.
6. Kalinichenko M.V. Jaw crushers: purpose, classification and calculation of basic parameters // Engineering industry and life safety. 2024, no. 1(48), pp. 5-11.

7. Pershin G.D., Pshenichnaya E.G., Pytalev I.A., Kurochkin A.I. Ways to increase the efficiency of rock disintegration by jaw crushers // Proceedings of Tula State University. Earth Sciences. 2024, no. 1, pp. 313-326.
8. Oduori M.F., Mutuli S.M., Munyasi D.M. The kinematics and mechanical advantage of the double-toggle jaw crusher // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2018, vol. 232, no. 18, pp. 3325-3336. DOI: 10.1177/0954406217735555.
9. Golikov N.S., Timofeev I.P. Determining the performance of a single-lever jaw crusher taking into account the kinematics parameters of its working mechanism // Journal of Physics: Conference Series. 2018, vol. 1015, no. 5, p. 052008. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/5/052008.
10. Nikitin A.G., Lubin V.A. The design of a high-performance two-chamber jaw crusher // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2024, no. 26, pp. 68-72.
11. Levenson L.B. Theory of crushing and its application to jaw crushers // Journal of Mining Institute. 1926, vol. VII, pp. 137-185.
12. Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muizemnek Yu.A. Crushers. Design, calculation, features of operation. – M.: Mechanical Engineering, 1990. – 320 p.
13. Tufan B., Tufan E. Evaluating the Impacts of Jaw Crusher Design Parameters by Simulation // 10th International Conference on Advances in Science, Engineering and Technology (ICASET-18). Paris (France). 2018, pp. 5-9. DOI: 10.17758/URUAE2.AE06181004.
14. Bochkov V.S., Khazin M.L., Krivelev M.D., Velikanov V.S., Bochkova K.V. On the effect of changing the rotational frequency of the rod of a jaw crusher on its technological indicators // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2022, no. 16, pp. 133-138.
15. Hristova T., Yanev A., Savov N. Determination of the influence of jaw movement frequency of jaw crusher on energy consumption // Annals of the University of Petrosani-Electrical Engineering, 2018, vol. 20, pp. 1454-8518.
16. Zhong X. Optimization Design and Simulation Analysis for Cavity Shape of Single Toggle Jaw Crusher // Journal of Physics: Conference Series. 2020, vol. 1622, no. 1, p. 012023. DOI: 10.1088/1742-6596/1622/1/012023.
17. Mishin I.I., Bolobov V.I. Estimation of the dependence of the required crushing power of a jaw crushers from the wear stage of crushing plates // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2019, no. 3, pp. 18-25.
18. Terva J., Valtonen K., Siitonen P., Kuokkala V.-T. Correlation of wear and work in dual pivoted jaw crusher tests. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part 1 // Journal of Engineering Tribology. 2020, vol. 234, pp. 334-349. DOI: 10.1177/1350650118795566.
19. Koposov P.V., Zhukov I.A., Boiko V.S. Justification of the practical application of jaw crushing machines with a non-linear cheek shape // Mining information and analytical bulletin. 2023, no. 11-1, pp. 102-115. doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_102.
20. Koposov P.V., Zhukov I.A., Golikov N.S. Jaw crushers with curved longitudinal profile of cheeks: classification, development trends and application prospects // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2024, no. 24, pp. 135-145.
21. Patent No. 2752910 RU. Crushing machine with curved cheeks / L.T. Dvornikov, A.V. Makarov, P.E. Chernov. – Appl. No. 2020136460 from 03.11.2020; publ. 11.08.2021, Bul. No. 23.
22. Patent application No. 2024126256 RU. Crushing machine / Zhukov I.A., Koposov P.V., Boyko V.S. – Priority from 06.09.2024.
23. Savelov A.A. Flat curves. Systematics, properties, applications (reference guide). – M.: State Publishing House of Physical and Mathematical Literature, 1960. – 293 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Копосов Павел Вячеславович – аспирант	Koposov Pavel Vyacheslavovich – postgraduate student
Жуков Иван Алексеевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой машиностроения	Zhukov Ivan Alekseevich – doctor of technical sciences, associate professor, head of Department of mechanical engineering
Бойко Вероника Сергеевна – студент	Boiko Veronika Sergeevna – student
tmmiok@yandex.ru	

Получена 05.10.2024