

ISSN 0135-5910 (Print)
ISSN 2619-0753 (Online)

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Бюллетень научно-технической и экономической информации

№1

2024

90 лет

Свердловской и Челябинской
областям



УРАЛ!

Опорный край державы,
ее добытчик и кузнец

Том 80

Ferrous Metallurgy

Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information



ISSN 0135-5910 (Print)
ISSN 2619-0753 (Online)

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

БЮЛЛЕТЕНЬ научно-технической и экономической информации

Журнал включен в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
Регистрационный номер ПИ №ФС77-82438

Издается с 1944 года, ежемесячно

Том 80, № 1

2024

Челябинск,
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

ISSN 0135-5910 (Print)
ISSN 2619-0753 (Online)

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

БЮЛЛЕТЕНЬ научно-технической и экономической информации

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор – СМЕРНОВ Л.А., академик РАН (Российская академия наук, ОАО “Уральский институт металлов”, Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург)

Зам. главного редактора – ВИННИК Д.А., профессор РАН, д-р хим. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

Зам. главного редактора – БЕССОНОВ А.В., канд. экон. наук

Зам. главного редактора – ЧУМАНОВ И.В., д-р техн. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

Зам. главного редактора – ГАМОВ П.А., канд. техн. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

АКСЕЛЬБРОД Л.М., канд. техн. наук (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

АНДРЕЕВ К.П., канд. техн. наук (Уханьский университет науки и технологии (WUST), г. Ухань, Китай)

БАБЕНКО А.А., д-р техн. наук (Институт металлургии УрО РАН (ИМет УрО РАН), г. Екатеринбург)

БАБИЧ А.И., д-р техн. наук (университет Ахена, Германия)

БЕЛОВ В.К., канд. физ.-мат. наук (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)

БРОДОВ А.А., канд. экон. наук (ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, г. Москва)

ВЕДЕНЕВ А.В., канд. техн. наук (ООО “ТулаЧермет-Сталь”, г. Тула)

ВЫДРИН А.В., д-р техн. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

ГОРДОН Я.М., д-р техн. наук (фирма Хатч, г. Торонто, Канада)

ДЕНИСОВ С.В., д-р техн. наук (ОАО ММК, г. Магнитогорск)

ДМИТРИЕВ А.Н., д-р техн. наук (Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург)

ЖЕРЕБЦОВ Д.А., д-р хим. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

ИБРАЕВ И.К., д-р техн. наук (Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан)

КОЖЕВНИКОВА И.А., д-р техн. наук (Череповецкий государственный университет, г. Череповец)

КОЗЫРЕВ Н.А., д-р техн. наук (Сибирский государственный университет, г. Новокузнецк)

КОСТЮХИН Ю.Ю., д-р экон. наук (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

КУЛАКОВ Б.А., д-р техн. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

МИХАЙЛОВ Г.Г., д-р техн. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

ОРЛОВ Г.А., д-р техн. наук (Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург)

ПРОТАСОВ А.В., канд. техн. наук (АО АХК ВНИИМЕТ-МАШ, г. Москва)

РОЩИН В.Е., д-р техн. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

СИДОРОВА Е.Ю., д-р экон. наук (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

СТОЛЯРОВ А.М., д-р техн. наук (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)

ТАНДОН ПУНИТ, д-р философии (технические науки) (Индийский институт информационных технологий, проектирования и производства, г. Джабалпур, Индия)

ФИЛИППОВ Г.А., д-р техн. наук (ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, г. Москва)

ФИЛОСΟΦОВА Т.Г., д-р экон. наук (Исследовательский университет “Высшая школа экономики” (НИУ ВШЭ), г. Москва)

ФРОЛОВ Ю.А., д-р техн. наук (ООО НПП “Уралэлектра”, г. Екатеринбург)

ХАРИТОНОВ В.А., канд. техн. наук (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)

ЧИЖИКОВА В.М., д-р техн. наук (ООО “Управляющая компания “Румелко”, г. Москва)

ШЕШУКОВ О.Ю., д-р техн. наук (Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург)

Ю ХАЙЛЯНГ, д-р философии (технические науки) (Колледж механики и электротехники Центрального Южного университета, г. Чанша, Китай)

ЯЧИКОВ И.М., д-р техн. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)”

Адрес редакции:

454080, Челябинская обл., г. Челябинск, пр-т Ленина, д. 76, кафедра Пирометаллургических и литейных технологий, каб. 120

Тел./факс: +7 (351) 267-91-61

e-mail: gamovpa@susu.ru

<https://chermet.susu.ru>

FERROUS METALLURGY

BULLETIN of Scientific, Technical and Economic Information

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief – SMIRNOV L.A., *Academician of RAS (Russian Academy of Sciences, OJSC “Ural’sky Institute of Metals”, Institute of Metallurgy Ural Branch of RAS, Ekaterinburg)*

Deputy Editor-in-Chief – VINNIK D.A., *Professor of RAS, HD (Chem) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)*

Deputy Editor-in-Chief – BESSONOV A.V., *PhD (Econ)*

Deputy Editor-in-Chief – CHUMANOV I.V., *HD (Tech) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)*

Deputy Editor-in-Chief – GAMOV P.A., *PhD (Tech) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)*

AKSELROD L.M., *PhD (Tech) (National University of Science and Technology “MISiS”, Moscow)*

ANDREEV K.P., *PhD (Tech) (Wuhan University of Science and Technology (WUST), Wuhan, China)*

BABENKO A.A., *HD (Tech) (Institute of metallurgy UrO RAN (IMet UrO RAN), Ekaterinburg)*

BABICH A.I., *HD (Tech) (Aachen University, Germany)*

BELOV V.K., *PhD (Phys and Mathematic) (Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)*

BRODOV A.A., *PhD (Econ) (FGUP “CNIIchermet after I.P. Bardin”, Moscow)*

VEDENEEV A.V., *PhD (Tech) (OJSC “TulaChermet–Steel”, Tula)*

VYDRIN A.V., *HD (Tech) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)*

GORDON Ya.M., *HD (Tech) (Hutch, Toronto, Canada)*

DENISOV S.V., *HD (Tech) (OJSC MMK, Magnitogorsk)*

DMITRIEV A.N., *HD (Tech) (Institute of Metallurgy Ural branch of RAS, Ekaterinburg)*

ZHEREBTSOV D.A., *HD (Chem) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)*

IBRAEV I.K., *HD (Tech) (Eurasia National University after L.N. Gumilev, Astana, Republic of Kazakhstan)*

KOZHEVNIKOVA I.A., *HD (Tech) (Cherepovets State University, Cherepovets)*

KOZYREV N.A., *HD (Tech) (Siberian State University, Novokuznetsk)*

KOSTYUKHIN Yu. Yu., *HD (Econ) (National University of Science and Technology “MISiS”, Moscow)*

KULAKOV B.A., *HD (Tech) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)*

MIKHAILOV G.G., *HD (Tech) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)*

ORLOV G.A., *HD (Tech) (Ural Federal University after the First President of Russia B.N. El'tsin, Ekaterinburg)*

PROTASOV A.V., *PhD (Tech) (JSC AKhK BNIIMET-MASH, Moscow)*

ROSHCHIN V.E., *HD (Tech) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)*

SIDOROVA E.Y., *HD (Econ) (National University of Science and Technology “MISiS”, Moscow)*

STOLYAROV A.M., *HD (Tech) (Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)*

PUNEET TANDON, *PhD (Indian Institute of Information Technology, Design and Manufacturing, Jabalpur, India)*

FILIPPOV G.A., *HD (Tech) (FGUP “CNIIchermet after I.P. Bardin”, Moscow)*

FILOSOFOVA T.G., *HD (Econ), (Research University “The Highest School of Economics” (NIU VShE), Moscow)*

FROLOV Yu.A., *HD (Tech) (OJSC NPP “Uralelectra”, Ekaterinburg)*

KHARITONOV V.A., *PhD (Tech) (Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)*

CHIZHIKOVA V.M., *HD (Tech) (OJSC “Managing Company “Rumelco”, Moscow)*

SHESHUKOV O.Yu., *HD (Tech) (Ural Federal University after the First President of Russia B.N. El'tsin, Ekaterinburg)*

STOLYAROV A.M., *HD (Tech) (Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)*

YU HAILIANG, *PhD (Tech.) (College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha, China)*

YACHIKOV I.M., *HD (Tech) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)*

Founders: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“South Ural State University (National Research University)”

Editorial Addresses: 76, Lenin Avenue, Chelyabinsk, Russia, 454080,
Department of Pyrometallurgical and Foundry Technologies, room 120

Tel/fax: +7 (351) 267-91-61

e-mail: gamovpa@susu.ru

<https://chermet.susu.ru>

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОДНОВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ РАЗРУШАЕМОГО МАТЕРИАЛА

А. Г. НИКИТИН¹, д-р техн. наук, профессор; П. Б. ГЕРИКЕ², канд. техн. наук, старший научный сотрудник, nikitin1601@yandex.ru; А. В. АБРАМОВ³, канд. техн. наук, директор

(¹ Сибирский государственный индустриальный университет, Россия, г. Новокузнецк;

² Институт угля СО РАН, Россия, г. Кемерово; ³ АНО «Центр поддержки и коммерциализации научно-технических проектов», Россия, г. Новокузнецк)

Аннотация. Высокие темпы роста производства металлургической продукции обуславливают увеличение использования минерального сырья, необходимого для ведения металлургических процессов. Практически во всех металлургических переделах в качестве исходного сырья требуется измельченный хрупкий материал, получаемый с использованием дробильных машин, которые также применяют с целью переработки продуктов металлургических переделов: шлаков, ферросплавов и др. Рассмотрена конструкция энергоэффективной одновалковой дробилки с упором на валке, в которой разрушение исходного куска происходит за счет создания в материале сложного напряженного состояния. Создание такого напряженного состояния в разрушаемом материале способствует уменьшению расхода энергии на дробление на 60–70 % по сравнению с дробилками, работающим на сжатие. Отличительной особенностью такой дробилки является принудительная подача разрушаемого материала в зону дробления. При принудительной подаче загружаемого материала производительность определяется объемом загружаемого материала за единицу времени. Это связано с тем, что загрузку исходных кусков осуществляют дискретно. В основе разработанной методики расчета производительности лежит условие, что за один оборот валка перерабатывается загружаемый объем материала, состоящий из кусков заданной исходной фракции. Размер исходного куска, подаваемого в зону дробления, определяется из условия, что он должен быть больше зазора, задающего размер готовой фракции, при этом рабочая поверхность упора контактирует с дробимым куском в точке, находящейся на касательной, проведенной из центра валка через крайнюю точку куска. В предельном состоянии с этой точкой контактирует верхний край рабочей поверхности упора, в этом случае размер исходного куска достигает максимального значения.

Ключевые слова: дробилка, валок, кусок, сложное напряженное состояние, производительность, упор.

Ссылка для цитирования: Никитин А. Г., Герике П. Б., Абрамов А. В. Расчет производительности одновалковой дробилки с принудительной подачей разрушаемого материала // Черная металлургия. Бюллетень научной и экономической информации. 2024. Т. 80. № 1. С. 70–73.

DOI: 10.32339/0135-5910-2024-1-70-73

CALCULATION OF THE PRODUCTIVITY OF A SINGLE-ROLL CRUSHER WITH FORCED FEEDING OF THE DESTROYED MATERIAL

A. G. NIKITIN¹, HD (Tech.), Professor; P. B. GERIKE², PhD (Tech.), Senior Researcher, nikitin1601@yandex.ru; A. V. ABRAMOV³, PhD (Tech.), Director

(¹ Siberian State Industrial University, Russia, Novokuznetsk; ² Institute of Coal SB RAS, Russia, Kemerovo;

³ ANO "Center for Support and Commercialization of Scientific and Technical Projects", Russia, Novokuznetsk)

Abstract. The high growth rates of metallurgical production lead to an increase in the use of mineral raw materials necessary for conducting metallurgical processes. In almost all metallurgical processing, crushed brittle material is required as a feedstock, obtained using crushing machines, which are also used to process the resulting products of metallurgical processing: slags, ferroalloys and others. The design of an energy-efficient single-roll crusher with a roll stop is considered, in which the destruction of the initial piece occurs due to the creation of a complex stress state in the material. The creation of such a stressed state in the material being destroyed helps to reduce the energy consumption for crushing compared to crushers working on compression by 60–70 %. A distinctive feature of such a crusher is the forced supply of the destroyed material to the crushing zone. In case of forced feeding of the loaded material, the performance evaluation is determined by the volume of the loaded material per unit of time. This is due to the fact that the loading of the initial

pieces is carried out discretely. The developed methodology for calculating productivity is based on the condition that a loaded volume of material consisting of pieces of a given initial fraction is processed in one revolution of the roll. The size of the initial piece fed into the crushing zone is determined from the considerations that the size of the initial piece should be larger than the gap that sets the size of the finished fraction, while the working surface of the stop contacts the crushed piece at a point located on a tangent drawn from the center of the roll through the extreme point of the piece. In the limiting state, the upper edge of the working surface of the stop contacts this point, in this case, the size of the initial piece reaches its maximum value.

Keywords: crusher, roll, piece, complex stress state, productivity, stop.

For citation: Nikitin A. G., Gerike P. B., Abramov A. V. Calculation of the productivity of a single-roll crusher with forced feeding of the destroyed material. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii* = *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2024, vol. 80, no. 1, pp. 70-73. (In Russ.).

DOI: 10.32339/0135-5910-2024-01-70-73

Высокие темпы роста производства металлургической продукции обуславливают увеличение использования минерального сырья, необходимого для ведения металлургических процессов [1, 2]. Практически во всех металлургических переделах в качестве исходного сырья требуется измельченный хрупкий материал, получаемый с использованием дробильных машин, которые также применяют с целью переработки продуктов металлургических переделов: шлаков, ферросплавов и др.

Процесс дробления хрупкого материала осуществляют дробильными машинами различных конструкций. В последнее время широкое распространение получили одновалковые дробилки [3–7].

В Сибирском государственном университете разработана и запатентована конструкция одновалковой дробилки [8], которая состоит из приводного вала 1 (см. рисунок), закрепленного в корпусе на подшипниках, и неподвижной щеки 2. Загружаемый через течку 3 исходный кусок 4 падает на цилиндрическую поверхность вала, после чего упором 5, изготовленным вместе с валком, перемещается в зону дробления, образованную валком, неподвижной щекой и упором, при этом высота упора равна по величине зазору между валком и неподвижной щекой. Разрушение исходного куска происходит за счет создания в материале сложного напряженного состояния. Создание такого напряженного состояния в разрушаемом материале способствует уменьшению расхода энергии на дробление на 60–70 % по сравнению с дробилками, работающими на сжатие [9]. Таким образом, представленная дробилка является энергоэффективной.

Характерной особенностью такой дробилки является принудительная подача разрушаемого материала в зону дробления. Изменение принципа процесса дробления приводит к необходимости разработки методики расчета ее производительности. В существующих дробилках их производительность при непрерывном питании прямо пропорциональна площади разгрузочного отверстия и окружной скорости вала. При принудительной подаче загружаемого материала производительность определяется объемом загружаемого материала за единицу времени. Это связано с тем, что загрузка исходных кусков происходит дискретно, при этом отпадает необходимость использования при расчете производительности дробилки коэффициента разрыхления, который задается нормативно из условий эксплуатации.

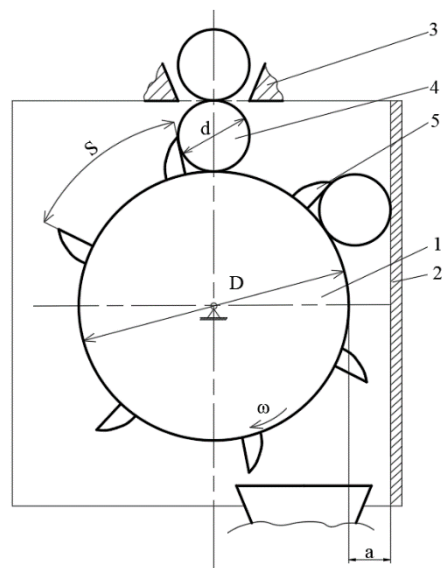


Схема одновалковой дробилки с упором на валке

Diagram of a single-roll crusher with a stop on the roll

В основе разработанной методики лежит условие, что за один оборот валка перерабатывается загружаемый объем материала, состоящий из кусков сферической формы с размером исходной фракции d , м. Этот объем определяется как однорядное количество сферических кусков объемом M , приходящихся на диаметр валка D , перерабатываемых за один оборот валка, так и количество кусков, укладываемых на длину валка L , м:

$$V = K \cdot M \cdot N, \quad (1)$$

где K — однорядное количество кусков по диаметру валка, перерабатываемых за один оборот валка; $M = \frac{\pi \cdot d^3}{6}$ — объем сферического куска, м^3 ; $M = \frac{L}{d}$ — количество кусков, укладываемых на длину валка.

В свою очередь, однорядное количество загружаемых кусков по диаметру валка равно числу упоров, расположенных на валке:

$$K = \frac{\pi \cdot D}{S} = \frac{\pi}{\cos \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{n}{30} \sqrt{\frac{2d}{g}} \right)}, \quad (2)$$

где $S = D \cos \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{n}{30} \sqrt{\frac{2d}{g}} \right)$ — расстояние между упорами, определяемое из условия, что кусок дробимого материала, выпав из точки, коснется поверхности валка до его контакта с рабочей поверхностью последующего упора, м [10]; D — диаметр валка, м; n — число оборотов валка, об/мин; g — ускорение свободного падения, м/с^2 .

Следовательно, производительность одновалковой дробилки с упором на валке равна

$$\begin{aligned} Q = V \cdot n &= \frac{\pi}{\cos \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{n}{30} \sqrt{\frac{2d}{g}} \right)} \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \frac{L}{d} \cdot n = \\ &= \frac{\pi}{\cos \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{n}{30} \sqrt{\frac{2d}{g}} \right)} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{6} \cdot L \cdot n. \end{aligned} \quad (3)$$

Из совместного рассмотрения уравнений (2) и (3) следует, что увеличение числа оборотов валка не повышает производительность, так как оно приводит к увеличению расстояния между упорами, из-за чего уменьшается количество го-

тового продукта за один оборот валка. Из анализа уравнения (3) видно, что размер исходного куска в наибольшей степени влияет на производительность дробилки.

Размер исходного куска, подаваемого в зону дробления, определяется из условия, что он должен быть больше зазора, задающего размер готовой фракции, при этом рабочая поверхность упора контактирует с дробимым куском в точке, находящейся на касательной, проведенной из центра валка через крайнюю точку куска. В предельном состоянии с этой точкой контактирует верхний край рабочей поверхности упора, в этом случае размер исходного куска достигает максимального значения. Тогда:

$$d = 2a \left(1 + \frac{a}{D} \right), \quad (4)$$

где a — величина зазора между валком и неподвижной щекой, м.

Соотношение (4) показывает, что величина исходного дробимого куска зависит от конструктивных параметров дробилки: высоты упора, которая определяет размер требуемой фракции готового продукта, и диаметра валка, задаваемого конструктивно с учетом того, что чем меньше диаметр валка, тем большего размера может задаваться исходный кусок.

Производительность одновалковой дробилки с упором на валке, рассчитанная по формуле (3), при исходных данных: $d = 0,1$ м; $L = 1$ м; $n = 60$ об/мин и $K = 7$, равна $2,2 \text{ м}^3/\text{мин}$, или $132 \text{ м}^3/\text{ч}$, что соизмеримо с производительностью двухвалковых дробилок аналогичных габаритов.

Выводы

Представлена энергоэффективная одновалковая дробилка с упором на валке с принудительной подачей разрушаемого материала в зону дробления, в которой разрушение исходного куска происходит за счет создания в материале сложного напряженного состояния. Приведена методика расчета ее производительности из условия, что за один оборот валка перерабатывается загружаемый объем материала, состоящий из кусков заданной исходной фракции. Из анализа полученного уравнения следует, что размер куска, подлежащего дроблению, в наибольшей степени влияет на производительность дробилки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полторацкий Л. М., Барнаев И. А. Конкурентность черной металлургии в условиях кризисных явлений. — Новокузнецк: Полиграфист, 2009. — 129 с.
2. Jack de la Vergne. Hard Rock Miner's Handbook. — Edmonton. Alberta, Canada: Stantec Consulting, 2008. — 330 p.
3. Egbe E. A. P., Olugboji O. A. Design, Fabrication and Testing of a Double Roll Crusher // *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*. 2016. V. 35. № 11. P. 511–515.
4. Zhao L. L., Zang F., Wang Z. B. Design and motion simulation for differential and grading toothed roll crusher // *Coal Mine Machinery*. 2007. P. 19–21.
5. Никитин А. Г., Епифанцев Ю. А., Медведева К. С., Герики П. Б. Силовой анализ процесса разрушения хрупких материалов в одновалковой дробильной машине с упором на валке // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2019. Т. 62. № 4. С. 303–307.
6. Cotabarren I., Schulz P. G., Bucalá V., Piña J. Modeling of an industrial double-roll crusher of a urea granulation circuit // *Original Research Article Powder Technology*. 2008. V. 183. № 2. P. 224–230.
7. Velletri P., Weedon D. M. Comminution in a non-cylindrical roll crusher // *Original Research Article Minerals Engineering*. 2001. V. 14. № 11. P. 1459–1468.
8. Пат. 2524536 РФ, МПК В02С 4/12. Способ дробления в валковой дробилке / А. Г. Никитин, В. И. Люленков, С. А. Лактионов и др. // Заявл. 11.03.2013; опубл. 27.07.2014. Бюл. № 21.
9. Goulet J. *Resistance des materiaux*. Bordas Paris, 1976. — 192 p.
10. Никитин А. Г., Епифанцев Ю. А., Медведева К. С. Математическая модель определения числа упоров на валке одновалковой дробильной машины // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2021. Т. 64. № 12. С. 909–911.

Поступила 20 ноября 2023 г.

REFERENCES

1. Poltoratskii L. M., Barnaev I. A. *Konkurentnost' chernoi metallurgii v usloviyakh krizisnykh yavlenii* [Competitiveness of ferrous metallurgy in the conditions of crisis phenomena]. Novokuznetsk: Poligrafist, 2009, 129 p. (In Russ.).
2. Jack de la Vergne. *Hard Rock Miner's Handbook*. Edmonton. Alberta, Canada: Stantec Consulting, 2008, 330 p.
3. Egbe E. A. P., Olugboji O. A. Design, Fabrication and Testing of a Double Roll Crusher. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 2016, vol. 35, no. 11, pp. 511–515.
4. Zhao L. L., Zang F., Wang Z. B. Design and motion simulation for differential and grading toothed roll crusher. *Coal Mine Machinery*, 2007, pp. 19–21.
5. Nikitin A. G., Epifantsev Yu. A., Medvedeva K. S., Gerike P. B. Power analysis of the process of brittle materials destruction in universal crushing machine with roll locker. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya*, 2019, vol. 62, no. 4, pp. 303–307. (In Russ.).
6. Cotabarren I., Schulz P. G., Bucalá V., Piña J. Modeling of an industrial double-roll crusher of a urea granulation circuit. *Original Research Article Powder Technology*, 2008, vol. 183, no. 2, pp. 224–30.
7. Velletri P., Weedon D. M. Comminution in a non-cylindrical roll crusher. *Original Research Article Minerals Engineering*, 2001, vol. 14, no. 11, pp. 1459–1468.
8. Nikitin A. G., Lyulenkov V. I., Laktionov S. A. etc. *Sposob drobleniya v valkovo drobilke* [Mode of fragmentation in roller breaking machine]. Patent RF no. 2524536. IPC B02C 4/12. *Byulleten' izobretenii*, 2014, no. 21. (In Russ.).
9. Goulet J. *Resistance des materiaux*. Bordas Paris, 1976, 192 p.
10. Nikitin A. G., Epifantsev Yu. A., Medvedeva K. S. Mathematical model for determining the number of stops on the roll of a single-roll crushing machine. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*, 2021, vol. 64, no. 12, pp. 909–911. (In Russ.).

Received November 20, 2023