

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

# ИЗВЕСТИЯ

ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

---

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

---

№ 10, 2017

Издается с января 1958 г. ежемесячно

Том 60

---

# ИЗВЕСТИЯ

## ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

### ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

**Главный редактор:** ЛЕОНТЬЕВ Л.И.  
(Российская Академия Наук, г. Москва)

**Заместитель главного редактора:** ПРОТОПОПОВ Е.В.  
(Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)

**Ответственный секретарь:** ПОЛУЛЯХ Л.А.  
(Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

**Заместитель ответственного секретаря:** БАЩЕНКО Л.П.  
(Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)

#### Члены редакционной коллегии:

АЛЕПИН Н.П. (Российская Академия Наук, г. Москва)

АСТАХОВ М.В. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

АШИХМИН Г.В. (ОАО «Институт Цветмет-обработка», г. Москва)

БАЙСАНОВ С.О. (Химико-металлургический институт им. Ж.Абишева, г. Караганда, Республика Казахстан)

БЕЛОВ В.Д. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

БРОДОВ А.А., редактор раздела «Экономическая эффективность металлургического производства» (ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина», г. Москва)

ВОЛЫНКИНА Е.П. (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)

ГЛЕЗЕР А.М. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

ГОРБАТЮК С.М. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

ГРИГОРОВИЧ К.В., редактор раздела «Металлургические технологии» (Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)

ГРОМОВ В.Е. (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)

ДМИТРИЕВ А.Н. (Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург)

ДУБ А.В. (ЗАО «Наука и инновации», г. Москва)

ЗИНГЕР Р.Ф. (Институт Фридриха-Александра, Германия)

ЗИНИГРАД М. (Институт Ариэль, Израиль)

ЗОЛОТУХИН В.И. (Тульский государственный университет, г. Тула)

КОЛМАКОВ А.Г. (Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)

КОЛОКОЛЬЦЕВ В.М. (Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск)

КОСТИНА М.В. (Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)

КОСЫРЕВ К.Л. (АО «НПО «ЦНИИТМаш», г. Москва)

КУРГАНОВА Ю.А. (МГУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)

КУРНОСОВ В.В. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

ЛАЗУТКИН С.С. (ГК «МетПром», г. Москва)

ЛИНН Х. (ООО «Линн Хай Терм», Германия)

ЛЫСАК В.И. (Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград)

МЫШЛЯЕВ Л.П. (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)

НИКУЛИН С.А. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

ОСТРОВСКИЙ О.И. (Университет Нового Южного Уэльса, Сидней, Австралия)

ПОДГОРОДЕЦКИЙ Г.С., редактор раздела «Ресурсосбережение в черной металлургии» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

ПЫШМИНЦЕВ И.Ю., редактор раздела «Инновации в металлургическом промышленном и лабораторном оборудовании, технологиях и материалах» (Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности, г. Челябинск)

РАШЕВ Ц.В., редактор раздела «Стали особого назначения» (Академия наук Болгарии, Болгария)

РУДСКОЙ А.И. (Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург)

СИВАК Б.А. (АО АХК «ВНИИМТМАШ», г. Москва)

СИМОНЯН Л.М., редактор раздела «Экология и рациональное природопользование» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

СМИРНОВ Л.А. (ОАО «Уральский институт металлов», г. Екатеринбург)

СОЛОДОВ С.В., редактор раздела «Информационные технологии и автоматизация в черной металлургии» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

СПИРИН Н.А. (Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург)

ТАНГ ГУОИ (Институт перспективных материалов университета Циньхуа, г. Шеньжень, Китай)

ТЕМЛЯНЦЕВ М.В. (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)

ФИЛОНОВ М.Р., редактор раздела «Материаловедение» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

ШЕШУКОВ О.Ю. (Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург)

ШПАЙДЕЛЬ М.О. (Швейцарская академия материаловедения, Швейцария)

ЮРЬЕВ А.Б. (АО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк)

ЮСУПОВ В.С. (Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)

РАШЕВ Ц.В., редактор раздела «Стали особого назначения» (Академия наук Болгарии, Болгария)

РУДСКОЙ А.И. (Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург)

СИВАК Б.А. (АО АХК «ВНИИМТМАШ», г. Москва)

СИМОНЯН Л.М., редактор раздела «Экология и рациональное природопользование» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

СМИРНОВ Л.А. (ОАО «Уральский институт металлов», г. Екатеринбург)

СОЛОДОВ С.В., редактор раздела «Информационные технологии и автоматизация в черной металлургии» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

СПИРИН Н.А. (Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург)

ТАНГ ГУОИ (Институт перспективных материалов университета Циньхуа, г. Шеньжень, Китай)

ТЕМЛЯНЦЕВ М.В. (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)

ФИЛОНОВ М.Р., редактор раздела «Материаловедение» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

ШЕШУКОВ О.Ю. (Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург)

ШПАЙДЕЛЬ М.О. (Швейцарская академия материаловедения, Швейцария)

ЮРЬЕВ А.Б. (АО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк)

ЮСУПОВ В.С. (Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)

#### Учредители:



Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»



Сибирский государственный индустриальный университет

Настоящий номер журнала подготовлен к печати  
Сибирским государственным индустриальным университетом

#### Адреса редакции:

119049, Москва, Ленинский пр-т, д. 4  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
Тел./факс: (495) 638-44-11, (499) 236-14-27  
E-mail: fermet.misis@mail.ru, ferrous@misis.ru  
www.fermet.misis.ru

654007, Новокузнецк, 7,  
Кемеровской обл., ул. Кирова, д. 42  
Сибирский государственный индустриальный университет,  
Тел.: (3843) 74-86-28  
E-mail: redjvzv@sibsiiu.ru

Журнал «Известия ВУЗов. Черная металлургия» по решению ВАК входит в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук»

## СОДЕРЖАНИЕ

### МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Шинкин В.Н.** Упрощенный метод расчета изгибающих моментов стального листа и реакций рабочих роликов в многороликовой правильной машине ..... 777
- Козырев Н.А., Усолтцев А.А., Шевченко Р.А., Крюков Р.Е., Шинкин П.Е.** Современные методы сварки рельсов нового поколения ..... 785

### ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

- Водолеев А.С., Андроханов В.А., Бердова О.В., Юмашева Н.А., Черданцева Е.С.** Экологически безопасная консервация отходов железорудного обогащения ..... 792

### ИННОВАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОМЫШЛЕННОМ И ЛАБОРАТОРНОМ ОБОРУДОВАНИИ, ТЕХНОЛОГИЯХ И МАТЕРИАЛАХ

- Стулов В.В., Алдунин А.В.** О технологии получения горячекатаного листа заданного качества с использованием новой технологии разлива слябов большого поперечного сечения ..... 798
- Уманский А.А., Головатенко А.В., Кадьков В.Н.** Разработка теоретических основ определения энергосиловых параметров прокатки при освоении новых марок рельсовых сталей ..... 804

### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- Солоненко В.В., Протопопов Е.В., Фейлер С.В., Темлянец М.В., Якушевич Н.Ф.** Термодинамическое обоснование возможности использования высокотемпературных факелов горения для окисления примесей расплава в агрегатах конвертерного типа. Сообщение 2. Взаимодействие факела горения с металлом и шлаком в конвертерной ванне ..... 811
- Бабенко А.А., Жучков В.И., Уполовникова А.Г., Кель И.Н.** Изучение вязкости шлаков системы  $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-25\% \text{Al}_2\text{O}_3-8\% \text{MgO}$  ..... 820

### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Юрьев А.А., Громов В.Е., Морозов К.В., Перегудов О.А.** Изменение структуры и фазового состава поверхности 100-метровых дифференцированно закаленных рельсов при длительной эксплуатации ..... 826
- Данилов В.И., Горбатенко В.В., Зувев Л.Б., Орлова Д.В., Данилова Л.В.** Исследование деформации Людерса в малоуглеродистой стали ..... 831
- Иванов Ю.Ф., Клопотов А.А., Петрикова Е.А., Абзаев Ю.А., Иванова О.В.** Структура и свойства поверхности высокохромистых сталей, модифицированных интенсивным импульсным электронным пучком ..... 839

### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Никитин А.Г., Епифанцев Ю.А., Медведева К.С., Герике П.Б.** Влияние коэффициента трения между дробимым материалом и щекой в одновалковой дробилке на энергоемкость процесса дробления ..... 846
- К 60-летию Евгения Валентиновича Протопопова ..... 849**
- Громову Виктору Евгеньевичу – 70 лет ..... 851**

## CONTENTS

### METALLURGICAL TECHNOLOGIES

- V.N. Shinkin** Simplified method for calculation of bending moments of steel sheet and reactions of working rollers in multiroll straightening machine ..... 777
- N.A. Kozyrev, A.A. Usoltsev, R.A. Shevchenko, R.E. Kryukov, P.E. Shishkin** Modern welding methods of the rails of new generation ..... 785

### ECOLOGY AND RATIONAL USE OF NATURAL RESOURCES

- A.S. Vodoleev, V.A. Androkhonov, O.V. Berdova, N.A. Yumasheva, E.S. Cherdantseva** Environmentally safe storage of wastes from iron-ore enrichment ..... 792

### INNOVATIONS IN METALLURGICAL INDUSTRIAL AND LABORATORY EQUIPMENT, TECHNOLOGIES AND MATERIALS

- V.V. Stulov, A.V. Aldunin** Production technology of hot rolled plate of specified quality using new technics of large section slabs casting ... 798
- A.A. Umanskiy, A.V. Golovatenco, V.N. Kadykov** Development of theoretical basis of determining energy-power parameters of rolling with development of new grades of rail steel ..... 804

### PHYSICO-CHEMICAL BASICS OF METALLURGICAL PROCESSES

- V.V. Solonenko, E.V. Protopopov, S.V. Feiler, M.V. Temlyantsev, N.F. Yakushevich** Thermodynamic justification of opportunity of using high-temperature combustion flanks for oxidation of melt impurities in aggregates of converter type. Report 2. Interaction of the flank with metal and slag in the converter bath ..... 811
- Babenko A.A., Zhuchkov V.I., Upolovnikova A.G., Kel' I.N.** Study of the viscosity of slags of  $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-25\% \text{Al}_2\text{O}_3-8\% \text{MgO}$  system ..... 820

### MATERIAL SCIENCE

- A.A. Yur'ev, V.E. Gromov, K.V. Morozov, O.A. Peregudov** Changes in structure and phase composition of the surface of differentially hardened 100-meter rails in operation ..... 826
- V.I. Danilov, V.V. Gorbatenko, L.B. Zuev, D.V. Orlova, L.V. Danilova** Investigation of Lüders deformation in the mild steel ..... 831
- Yu.F. Ivanov, A.A. Klopotov, E.A. Petrikova, Yu.A. Abzaev, O.V. Ivanova** Structure and properties of the surface of high-chromium steels modified with an intense pulsed electron beam ..... 839

### SHORT REPORTS

- A.G. Nikitin, Yu.A. Epifantsev, K.S. Medvedeva, P.B. Gerike** Influence of friction coefficient between the crushed material and the cheek in one-roll crusher on crushing process energy capacity ..... 846
- To the 60th Anniversary of Eugeni Valentinovitch Protopopov ..... 849**
- To the 70th Anniversary of Viktor Evgen'evitch Gromov ..... 851**

УДК 621.92

## ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ МЕЖДУ ДРОБИМЫМ МАТЕРИАЛОМ И ЩЕКОЙ В ОДНОВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКЕ НА ЭНЕГРОЕМКОСТЬ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ

*Никитин А.Г.<sup>1</sup>, д.т.н., доцент, директор института машиностроения и транспорта,  
заведующий кафедрой механики и машиностроения (nikitin1601@yandex.ru)*

*Епифанцев Ю.А.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедры механики и машиностроения (epifantsev42@mail.ru)*

*Медведева К.С.<sup>1</sup>, аспирант кафедры механики и машиностроения (ksuwinchester@mail.ru)*

*Герике П.Б.<sup>2</sup>, к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории  
средств механизации (am\_besten@mail.ru)*

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет  
(654007, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН  
(650000, Россия, Кемерово, пр. Советский, 18)

**Аннотация.** Дано описание разработанной в Сибирском государственном индустриальном университете одновалковой дробилки с принудительной подачей дробимого куска в зону разрушения за счет упора, расположенного на валке. Определены силы, действующие на дробимый кусок со стороны валка и неподвижной щеки в функции величины силы, действующей на кусок со стороны упора. На основании полученных результатов определено, что при постоянстве силы, приложенной со стороны упора, с уменьшением коэффициента трения между щекой и дробимым материалом происходит увеличение сил, действующих на дробимый кусок со стороны валка и щеки. Этим достигается уменьшение расхода энергии на дробление при прочих равных условиях, что уменьшает энергоемкость работы одновалковой дробилки с принудительной подачей материала в зону дробления.

**Ключевые слова:** одновалковая дробилка, степень дробления, сила, коэффициент трения, энергоемкость.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-10-846-848

Многие промышленные производства (металлургические, горные и другие) перерабатывают и используют в больших количествах сыпучие материалы различных классов крупности. В большинстве случаев нужная крупность достигается путем измельчения более крупных кусков на дробилках, в том числе и одновалковых.

Показателями процесса дробления являются степень и эффективность дробления [1]. Степень дробления оценивается отношением размеров дробимого и получаемого кусков, зависит от величины зазора между валком и неподвижной щекой. Эффективность дробления определяется массой дробленого материала при расходовании единицы электроэнергии и зависит, главным образом, от прочности дробимого материала.

Одним из недостатков валковых дробилок является малая степень дробления, зависящая от угла захвата и диаметра валка. Максимальный угол захвата ограничивается коэффициентом трения между валком и куском, который для большинства руд и пород находится в пределах 0,4 – 0,5 [2]. Одним из способов увеличения угла захвата является увеличение диаметра валка, однако это приводит к резкому увеличению габаритов дробилки [3].

В Сибирском государственном университете разработана конструкция энергоэффективной одновалковой дробилки [4], в которой принудительно подается дробимый кусок в зону дробления за счет упора, расположенного на валке, что увеличивает степень дробления [5]. Так как форма куска дробимого материала не влияет на величину и направление сил, то для наглядности сечение куска принято в виде круга. При соприкосновении упора с куском дробимого материала в точке *C* возникает сила  $N_3$ , давящая на него и действующая по направлению движения валка, перпендикулярно рабочей поверхности упора (см. рисунок). Так как система валок – упор – кусок движется совместно, то в точках *A* и *C* не возникает сил трения [6].

Под действием горизонтальной составляющей силы  $N_3$  и горизонтальной составляющей силы нормального давления  $N_1$  возникает реактивная сила  $N_2$ , приложенная в точке *B* и направленная по горизонтали от щеки. При этом в рассматриваемой точке появится сила трения  $F_2$ , препятствующая движению куска дробимого материала в зазор между валком и щекой. Следовательно, в процессе дробления на кусок действуют силы  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ , а также сила трения  $F_2 = f_2 N_2$ , где  $f_2$  – коэффициент трения между куском и щекой.

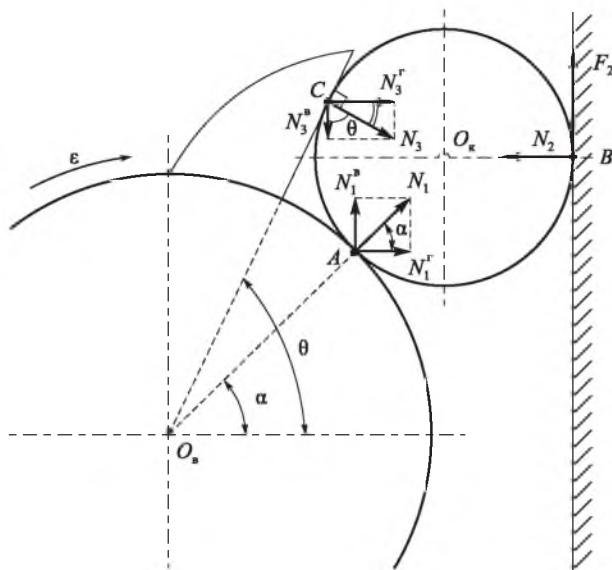


Схема сил, действующих на кусок дробимого материала в вертикальной и горизонтальной плоскостях

Scheme of the forces acting on a piece of crushing material in the vertical and horizontal planes

В этом случае в вертикальной плоскости действуют силы  $N_1^b = N_1 \sin \alpha$ ,  $N_3^b = N_3 \cos \theta$  и сила трения  $F_2$ , где  $\alpha$  – угол захвата;  $\theta$  – угол между направлением действия силы  $N_3$  и ее вертикальной составляющей  $N_3^b$  (так называемый угол атаки).

Аналогично, в горизонтальной плоскости действуют силы  $N_1^r = N_1 \cos \alpha$ ,  $N_3^r = N_3 \sin \theta$  и сила  $N_2$ .

Система равновесия сил, действующих на кусок, следующая [7]:

$$\begin{aligned} N_3 \sin \theta + N_1 \cos \alpha - N_2 &= 0; \\ -N_3 \cos \theta + N_1 \cos \alpha + f_2 N_2 &= 0. \end{aligned}$$

Решение полученной системы уравнений относительно силы  $N_3$  имеет вид

$$\begin{aligned} N_1 &= N_3 \frac{(\cos \theta - f_2 \sin \theta)}{(\sin \alpha + f_2 \cos \alpha)}; \\ N_2 &= N_3 \frac{\cos \theta (\sin \alpha + f_2 \cos \alpha) - \sin \alpha (\cos \theta - f_2 \sin \theta)}{f_2 (\sin \alpha + f_2 \cos \alpha)}. \end{aligned}$$

Из анализа полученных уравнений следует, что изменение коэффициента трения  $f_2$  влияет на величины сил  $N_1$  и  $N_2$  обратно пропорционально, то есть при уменьшении коэффициента трения между куском дробимого материала и неподвижной щекой они увеличиваются и наоборот. Таким образом, при постоянстве силы  $N_3$ , приложенной со стороны упора, с уменьшением коэффициента трения между щекой и дробимым материалом происходит увеличение сил  $N_1$  и  $N_2$ , действующих на дробимый кусок со стороны вала и щеки. Этим достигается уменьшение расхода энергии на дробление при прочих равных условиях [8], и, соответственно, снижение энергоемкости работы одновалковой дробилки с принудительной подачей материала в зону дробления.

**Выводы.** Выявлено влияние коэффициента трения между дробимым материалом и щекой в одновалковой дробилке на величину сил, действующих на дробимый кусок. Определено, что уменьшение коэффициента трения снижает энергоемкость работы одновалковой дробилки с принудительной подачей материала в зону дробления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Целиков А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1987. – 440 с.
2. Jack de la Vergne. Hard Rock Miner's Handbook. – Edmonton, Alberta, Canada: Stantec Consulting, 2008. – 330 p.
3. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
4. Пат. 2524536 РФ. Способ дробления в валковой дробилке / А.Г. Никитин, В.И. Люленков, С.А. Лактионов, М.А. Кузнецов, А.Н. Матехина. Заявл. 11.03.2013; опубл. 27.07.2014. Бюл. № 21.
5. Никитин А.Г., Медведева К.С., Титов В.А. Определение степени дробления материала в одновалковой дробилке с упором на щеке. – В кн.: Металлургия: технологии, инновации, качество. Труды XIX Международной научно-технической конференции. Ч. 1. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2015. С. 371, 372.
6. Meriam J.L., Kraige L.G. Engineering Mechanics. – Hoboken, 111 River Street, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2012. – 550 p.
7. Pytel A., Kiusalaas J. Engineering Mechanics. Statics. – 200 First Stamford Place, Suite 400, Stamford, CT, USA: Cengage Learning, 2010. – 601 p.
8. Goulet J. Resistance des materiaux. – Bordas Paris, 1976. – 192 p.

Поступила 27 января 2017 г.

INFLUENCE OF FRICTION COEFFICIENT BETWEEN THE CRUSHED MATERIAL AND THE CHEEK IN ONE-ROLL CRUSHER ON CRUSHING PROCESS ENERGY CAPACITY

A.G. Nikitin<sup>1</sup>, Yu.A. Epifantsev<sup>1</sup>, K.S. Medvedeva<sup>1</sup>, P.B. Gerike<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia  
<sup>2</sup> Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS, Kemerovo, Russia

**Abstract.** The description of a single-roll crusher developed at Siberian State Industrial University with a forced feeding of the crushing material into the fracture zone due to the abutment located on the roll is provided. The forces acting on the crushed material from the side of the roll and the fixed cheek are defined in function of the force magnitude acting on the material from the side of the stop. On the basis of

the obtained results, it is determined that when the force applied on the side of the abutment is constant, the friction coefficient between the cheek and the material to be crushed decreases, the forces acting on the fractional piece on the side of the roll and the cheek increase. It results in the reduction of energy consumption required for crushing of all other things being equal, which lowers the energy capacity of the single-roll crusher operation with forced feeding of material into the crushing zone.

**Keywords:** one-roll crusher, degree of crushing, force, friction coefficient, energy consumption.

**DOI:** 10.17073/0368-0797-2017-10-846-848

#### REFERENCES

1. Tselikov A.I. *Mashiny i agregaty metallurgicheskikh zavodov T. 1* [Machines and units of metallurgical plants. Vol. 1]. Moscow: Mashinostroenie, 1987, 440 p. (In Russ.).
2. Jack de la Vergne. *Hard rock miner's handbook*. Edmonton, Alberta, Canada: Stantec Consulting, 2008, 330 p.
3. Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muizemnek Yu.A. *Drobilki* [Crushers]. Moscow: Mashinostroenie, 1990, 320 p. (In Russ.).
4. Nikitin A.G., Lyulenkov V.I., Laktionov S.A., Kuznetsov M.A., Matekhina A.N. *Sposob drobleniya v valkovoii drobilke* [Crushing method in a roller crusher]. Patent no. 2524536 RF. *Byulleten' izobretenii*. 2014, no. 21. (In Russ.).
5. Nikitin A.G., Medvedeva K.S., Titov V.A. Determination of the degree of material crushing in a single-roll crusher with a load on the cheek. In: *Metallurgiya: tekhnologii, innovatsii, kachestvo: trudy KhKh Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii: Ch. 1* [Metallurgy: technologies, innovations, quality: Proceedings of the 19 th Intern. Sci. and Tech. Conf.: Part 1]. Novokuznetsk: izd. SibGIU, 2015, pp. 371–372. (In Russ.).
6. Meriam J.L., Kraige L.G. *Engineering Mechanics*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2012, 550 p.
7. Pytel A., Kiusalaas J. *Engineering mechanics. Statics*. 200 First Stamford Place, Suite 400, Stamford, CT, USA: Cengage Learning, 2010, 601 p.
8. Goulet J. *Resistance des materiaux*. Bordas Paris, 1976, 192 p.

#### Information about the authors:

*A.G. Nikitin, Dr Sci. (Eng.), Assist. Professor, Director of Institute of Mechanical Engineering and Transport, Head of the Chair of Mechanics and Machine Engineering (nikitin1601@yandex.ru)*  
*Yu.A. Epifantsev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair of Mechanics and Machine Engineering (epifantsev42@mail.ru)*  
*K.S. Medvedeva, Postgraduate of the Chair of Mechanics and Machine Engineering (ksuwinchester@mail.ru)*  
*P.B. Gerike, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher of the Laboratory of Means of Mechanization (am\_besten@mail.ru)*

Received January 27, 2017

Над номером работали:

Леонтьев Л.И., *главный редактор*

Протопопов Е.В., *заместитель главного редактора*

Ивани Е.А., *заместитель главного редактора*

Башенко Л.П., *заместитель ответственного секретаря*

Потапова Е.Ю., *заместитель главного редактора по развитию*

Олендаренко Н.П., *ведущий редактор*

Неунывахина Д.Т., *ведущий редактор*

Расенец В.В., *верстка, иллюстрации*

Кузнецов А.А., *системный администратор*

Острогорская Г.Ю., *менеджер по работе с клиентами*

---

Подписано в печать 25.10.2017. Формат 60×90 1/8. Бум. офсетная № 1.  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 10,0. Заказ 6061. Цена свободная.

---

Отпечатано в типографии Издательского Дома МИСиС.  
119049, г. Москва, Ленинский пр-т, 4.  
Тел./факс: (499) 236-76-17, 236-76-35

# IZVESTIYA

## FERROUS METALLURGY

SIMPLIFIED METHOD FOR CALCULATION OF BENDING MOMENTS OF STEEL SHEET AND REACTIONS OF WORKING ROLLERS IN MULTIROLL STRAIGHTENING MACHINE

MODERN WELDING METHODS OF THE RAILS OF NEW GENERATION

ENVIRONMENTALLY SAFE STORAGE OF WASTES FROM IRON-ORE ENRICHMENT

PRODUCTION TECHNOLOGY OF HOT ROLLED PLATE OF SPECIFIED QUALITY USING NEW TECHNIQS OF LARGE SECTION SLABS CASTING

DEVELOPMENT OF THEORETICAL BASIS OF DETERMINING ENERGY-POWER PARAMETERS OF ROLLING WITH DEVELOPMENT OF NEW GRADES OF RAIL STEEL

THERMODYNAMIC JUSTIFICATION OF OPPORTUNITY OF USING HIGH-TEMPERATURE COMBUSTION FLANKS FOR OXIDATION OF MELT IMPURITIES IN AGGREGATES OF CONVERTER TYPE. REPORT 2. INTERACTION OF THE FLANK WITH METAL AND SLAG IN THE CONVERTER BATH

STUDY OF THE VISCOSITY OF SLAGS OF  $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-25\% \text{Al}_2\text{O}_3-8\% \text{MgO}$  SYSTEM

CHANGES IN STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF THE SURFACE OF DIFFERENTIALLY HARDENED 100-METER RAILS IN OPERATION

INVESTIGATION OF LÜDERS DEFORMATION IN THE MILD STEEL

STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE SURFACE OF HIGH-CHROMIUM STEELS MODIFIED WITH AN INTENSE PULSED ELECTRON BEAM

INFLUENCE OF FRICTION COEFFICIENT BETWEEN THE CRUSHED MATERIAL AND THE CHEEK IN ONE-ROLL CRUSHER ON CRUSHING PROCESS ENERGY CAPACITY

TO THE 60TH ANNIVERSARY OF EUGENII VALENTINOVITCH PROTOPOV

TO THE 70TH ANNIVERSARY OF VIKTOR EVGEN'EVITCH GROMOV