

УДК (UDC) 621.926.9

ОБОСНОВАНИЕ МЕЖВАЛКОВОГО ЗАЗОРА ВАЛКОВЫХ ДРОБИЛОК С
РИФЛЕННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИJUSTIFICATION OF THE INTERROLL GAP OF ROLL CRUSHERS WITH
CORRUGATED WORKING BODIESВласенко Д.А.
Vlasenko D.A.Липецкий государственный технический университет (Липецк, Россия)
Lipetsk State Technical University (Lipetsk, Russian Federation)

Аннотация. Качество фракционной подготовки твердого топлива, реализуемой в агломерационном производстве с помощью валковых дробилок, зависит от множества факторов, одним из которых является обеспечение необходимого межвалкового зазора в процессе дробления материала, для обоснования которого разработана математическая модель валковой дробилки с рифлеными валками. Предложены формулы для определения сил, действующих на рабочую поверхность рифленого вала в процессе дробления материала, на основании которых получена зависимость предварительной затяжки комплекта пружин амортизационного устройства валковой дробильной машины для обеспечения требуемого зазора в процессе дробления. Согласно технологическим требованиям процесса спекания агломерата даны рекомендации по предварительной регулировке амортизационного устройства верхних рифленых валков четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700, применяемой в агломерационном цехе ООО «ЮГМК» для фракционной подготовки кокса доменного и кокса сухого тушения. По результатам предварительных испытаний в процессе фракционной подготовки твердого топлива в дробилке ДЧГ 900×700 с использованием рекомендованных режимных параметров по регулированию межвалкового зазора установлено, что содержание нежелательных мелких –0,5 мм и крупных +3,0 мм фракций в готовом продукте снизилось на 6,5% и 4,5% соответственно.

Ключевые слова: агломерационное производство, твердое топливо, валковые дробилки, рифленые валки, межвалковый зазор

Дата получения статьи: 06.08.2025
Дата принятия к публикации: 08.09.2000
Дата публикации: 25.09.2025

Сведения об авторе:

Власенко Дмитрий Алексеевич – кандидат технических наук, соискатель ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»,
e-mail: vlsnkda@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-6829-061X.

Abstract. The quality of fractional preparation of solid fuel, implemented in agglomeration production using roller crushers, depends on many factors, one of which is ensuring the required inter-roller gap in the process of crushing the material, for the substantiation of which a mathematical model of a roller crusher with corrugated rolls has been developed. Formulas are proposed for determining the forces acting on the working surface of the corrugated roll in the process of crushing the material, on the basis of which a dependence is obtained for the preliminary tightening of the spring set of the shock-absorbing device of the roller crushing machine to ensure the required gap in the crushing process. According to the technological requirements of the agglomerate sintering process, recommendations are given for preliminary adjustment of the shock-absorbing device of the upper corrugated rolls of the four-roll crusher CFS 900×700, used in the agglomeration shop of LLC «SMMC» for fractional preparation of blast-furnace coke and dry-quenching coke. According to the results of preliminary tests in the process of fractional preparation of solid fuel in the crusher CFS 900×700 using the recommended operating parameters for adjusting the inter-roll gap, it was found that the content of undesirable small –0,5 mm and large +3,0 mm fractions in the finished product decreased by 6,5% and 4,5%, respectively.

Keywords: agglomeration production, solid fuel, roller crushers, grooved rolls, inter-roll gap

Date of manuscript reception: 06.08.2025
Date of acceptance for publication: 08.09.2000
Date of publication: 25.09.2025

Author's information:

Dmitry A. Vlasenko – PhD (Eng), PhD candidate at Lipetsk State Technical University,
e-mail: vlsnkda@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-6829-061X.

1. Введение

В настоящее время проводятся многочисленные исследования в области совершенствования технологии агломерационного производства и модернизации оборудования, применяемого для его реализации. При производстве железорудного агломерата на эффективность самого аглопроцесса влияют такие факторы как: сортамент и характеристика используемых шихтовых материалов, компонентный и химический составы аглошихты, технологические режимы и параметры процесса спекания железорудного материала и т.д.

Подготовке отдельных компонентов агломерационной шихты уделяют отдельное внимание, так как от однородности гранулометрического и физико-химического состава в большой степени зависят качественные показатели готового агломерата и эффективность процесса агломерации.

Основные технико-экономические показатели и эффективность агломерационного процесса непосредственно зависят от гранулометрического состава измельченного твердого топлива, который оказывает существенное влияние на расход условного топлива в процессе спекания агломерационной шихты, удельную производительность агломерационных машин, качественные показатели готового агломерата, а также непосредственно влияет на вредные выбросы в атмосферу и т.д. [1–3].

В настоящее время для дробления и измельчения различных видов твердого топлива в агломерационном производстве наибольшее распространение получили четырехвалковые дробильные машины с нижними гладкими и верхними рифлеными валками [

4–9], в которых качество готового продукта зависит от множества факторов, одним из которых является обеспечение необходимого межвалкового зазора в процессе дробления материала, который непосредственно влияет на фракционный состав и грануло-

метрическое качество готового дробленого продукта.

Ранее в научных исследованиях [10–11] предложен математический метод расчета требуемого зазора между валками валковой дробилки в процессе дробления материала. Однако предложенная в данных работах зависимость применима для валковых дробильных машин, в которых применяются рабочие органы с гладкими бандажами, и не дает возможности рассчитать данный параметр для условий использования в дробильных машинах рифленых валков, так как в этом случае необходимо учитывать силы, возникающие при контактном взаимодействии дробимого материала с поверхностью рифлей сетки бандажа.

2. Актуальность исследования и постановка задачи

На основании вышесказанного следует, что обеспечение необходимого межвалкового зазора валковых дробильных машин с рифлеными рабочими органами за счет обоснования требуемого значения предварительной затяжки комплекта пружин их амортизационного устройства является весьма актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит повысить технико-экономическую эффективность валковых дробильно-измельчительных машин и повысить качество готового продукта при фракционной подготовке различных материалов.

3. Математическая модель валковой дробильной машины с рифлеными рабочими органами

Для определения предварительной затяжки (предварительного хода) комплекта пружин амортизационного устройства валковой дробилки с гладкими валками с целью обеспечения необходимого межвалкового зазора в работах [10, 11] предложена следующая зависимость:

$$X = \frac{2F_{\text{др}}(\cos \alpha_{\text{к.ср.}} + \sin \alpha_{\text{к.ср.}} \mu_{\text{с}}) - \delta k - 2\mu_{\text{м}} g m}{2k}, \quad (1)$$

где k – жесткость комплекта пружин амортизирующего устройства валковой дробилки, Н/м; $F_{\text{др}}$ – сила дробления материала для дробильных машин с гадкими рабочими органами [12–14], Н; $\alpha_{\text{к.ср.}}$ – угловое положение действующей силы дробления материала $F_{\text{др}}$ [12–14], рад; $\mu_{\text{м}}$ – коэффициент трения дробимого материала по материалу бандажа валка [15]; δ – требуемый верхний предел фракционного состава готового про-

дукта, м; m – масса валка валковой дробилки в сборе, кг.

С целью адаптации зависимости (1) для валковых дробильно-измельчительных машин с рифлеными валками в математической модели необходимо использовать вместо силы дробления $F_{\text{др}}$ сумму внешних сил ΣF_{x_i} , действующих на поверхность рабочего органа дробилки, в проекции на координатную ось x (рис. 1).

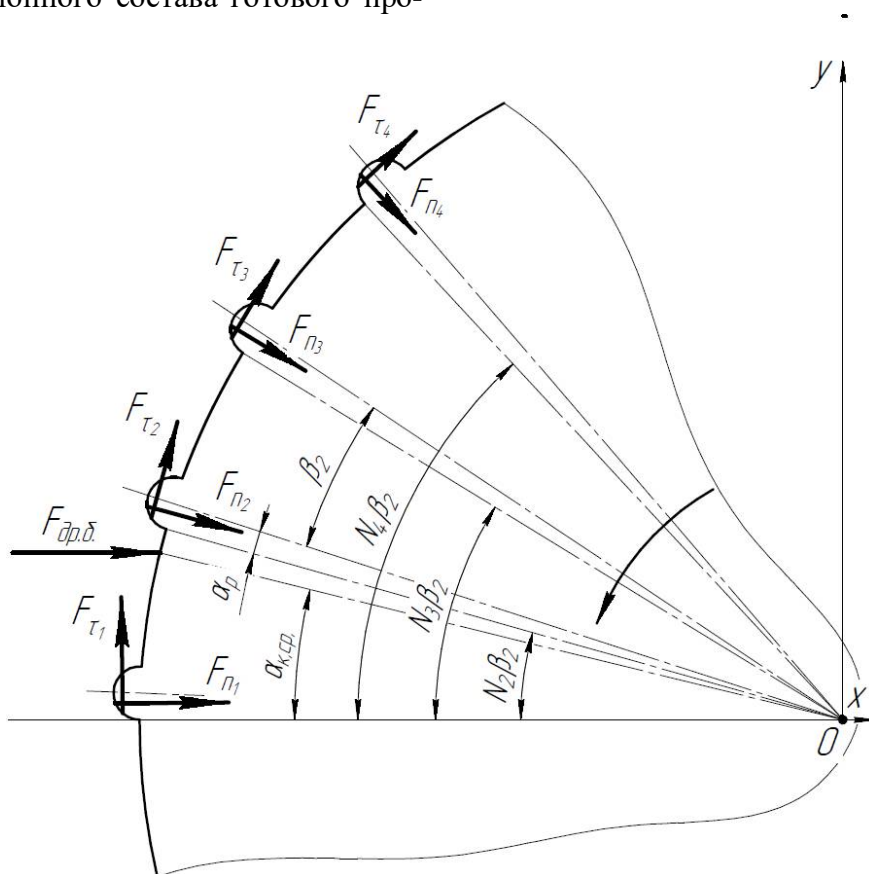


Рис. 1. Расчетная схема для определения суммы проекций сил ΣF_{x_i} , действующих на валок дробилки с рифленой поверхностью бандажей в процессе контактного взаимодействия с дробимым материалом

Сумма проекций на координатную ось x всех сил, действующих на рабочую поверхность валков в процессе дробления материала в валковой дробильно-измельчительной машине с рифлеными рабочими органами

определяется следующим аналитическим выражением:

$$\Sigma F_{x_i} = F_{\text{др.б.}} + \sum_1^N F_{x n_i} + \sum_1^N F_{x \tau_i}, \quad (2)$$

где $F_{\text{др.б.}}$ – сила дробления материала о рабочую поверхность бандажа (при условии исключения площади контактного взаимодействия дробимого материала с рабочей поверхностью рифлей сетки), Н; $F_{x_{n_i}}$ – проекция на координатную ось x нормальной силы дробления материала о рабочую поверхность i -й рифли сетки рифленого бандажа вала дробилки, Н; N – количество поперечных рифлей сетки бандажа, находящихся в угловом секторе дуги очага деформации материала, шт.; $F_{x_{\tau_i}}$ – проекция на координатную ось x тангенциальной силы дробления материала о рабочую поверхность i -й рифли сетки бандажа, Н.

Сила дробления материала о рабочую поверхность бандажа для рифленых валков валковой дробильной машины определяется с помощью зависимости, предложенной в исследованиях [9, 14].

Количество поперечных рифлей сетки рифленого вала в угловом секторе дуги очага деформации материала рабочими органами [9, 14]:

$$N = \frac{\alpha_{1.в.}}{\beta_2}, \quad (3)$$

где $\alpha_{1.в.}$ – угол сектора очага деформации для рифленых валков [9], рад; β_2 – угол между центрами окружностей соседних рифлей сетки, рад.

Угол сектора очага деформации дробимого материала для рифленых валков определяется с помощью следующей зависимости [9, 14]:

$$\alpha_{1.в.} = \alpha_1 + \frac{\beta_2}{2}, \quad (4)$$

где α_1 – угол захвата куска дробимого материала для валковых дробилок с гладкими рабочими органами [4–9], рад.

Угол β_2 определяется из следующего выражения [9, 14]:

$$\beta_2 = 2 \arccos \left[\frac{R_6^2 - 0,5r_p^2 + r_k(R_6 - r_p)}{R_6(R_6 + r_k)} \right], \quad (5)$$

где R_6 – радиус рабочей поверхности бандажа рифленого вала, м; r_p – радиус рифли сетки бандажа, м; r_k – условный радиус куска дробимого материала, м.

В первом приближении в проекции на координатную ось x нормальная сила дробления материала о рабочую поверхность i -й рифли сетки бандажа вала определяется по следующей аналитической зависимости:

$$F_{x_{n_i}} = F_{n_i} \cos((N_i - 1)\beta_2), \quad (6)$$

где F_{n_i} – нормальная составляющая силы дробления материала о рабочую поверхность i -й рифли сетки бандажа рифленого вала (определяется с помощью метода [9, 14]), Н; N_i – порядковый номер (относительно основания очага деформации дробимого материала) i -й рифли сетки бандажа вала рабочего органа.

Проекция на координатную ось x тангенциальной силы дробления при взаимодействии с рабочей поверхностью i -й рифли сетки бандажа определяется как:

$$F_{x_{\tau_i}} = F_{\tau_i} \sin((N_i - 1)\beta_2), \quad (7)$$

где F_{τ_i} – тангенциальная составляющая силы дробления материала о рабочую поверхность i -й рифли сетки бандажа рифленого вала (определяется с помощью метода [9, 14]), Н.

При расчетах использовались следующие конструктивно-технологические характеристики валковой дробильной машины и параметры условий процесса дробления: требуемый верхний предел фракции готового продукта $\delta = 3,0$ мм; жесткость комплекта пружин амортизирующего устройства рифленых валков $k = 5,2 \cdot 10^6$ Н/м [17]; масса одного вала в сборе $m = 4358$ кг; рабочая ширина бандажа вала $B_6 = 0,6$ м; радиус рабочей поверхности бандажа вала $R_6 = 0,45$ м; коэффициент трения скольжения материала корпусов подшипниковых опор рабочих органов по материалу направляющих станин $\mu_m = 0,12$.

При этом для аналитических расчетов использовались физико-механические характеристики твердого топлива, применяемого при фракционной подготовке шихтовых материалов на участке шихтоподготовки в агломерационном производстве в условиях Алчевского металлургического комбината ООО «ЮГМК»: для кокса доменного (фракция 20...80 мм, коэффициент трения скольжения по стали $\mu_m = 0,3$, предел прочности дробимого материала на одноосное сжатие $\sigma_m = 7,2$ МПа, эмпирический коэффициент, учитывающий степень анизотропии и характерную форму дробимого материала $k_\phi = 0,083$); для кокса сухого тушения (фракционный состав 100...200 мм, $\mu_m = 0,42$, $\sigma_m = 22,2$ МПа, $k_\phi = 0,186$) [12, 14].

Для наглядного представления результатов математического моделирования на рис. 2 и 3 представлено графическое отображение зависимостей необходимой предварительной затяжки комплекта пружин амортизационного устройства верхних валков дробилки ДЧГ 900×700 при фракционной подготовке кокса доменного и кокса сухого тушения.



Рис. 2. Зависимость предварительной затяжки комплекта пружин амортизационного устройства верхних валков дробилки ДЧГ 900×700 при дроблении кокса доменного

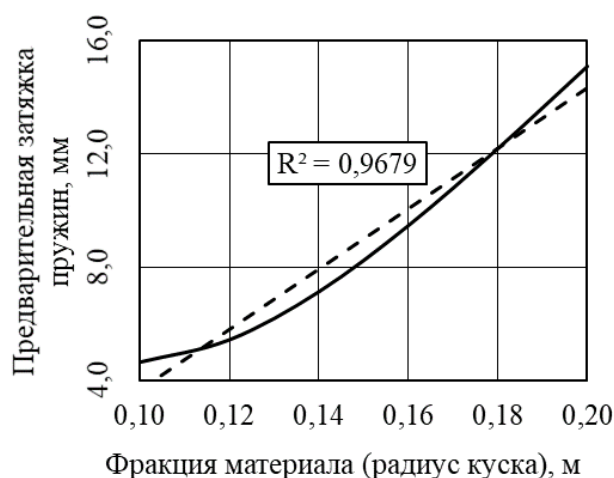


Рис. 3. Зависимость предварительной затяжки комплекта пружин амортизационного устройства верхних валков дробилки ДЧГ 900×700 при дроблении кокса сухого тушения

На основании анализа графических зависимостей, представленных на рис. 2 и 3, установлено, что зависимости предварительной затяжки комплекта пружин амортизационного устройства верхних рабочих органов дробилки ДЧГ 900×700 при дроблении различных видов твердого топлива имеют характер достаточно близкий к линейному, что позволяет для упрощения расчетов в производственных условиях использовать функцию вида

$$X_3 = k_3 D_{н.м.},$$

где k_3 – эмпирический коэффициент, учитывающий физико-механические свойства дробимого материала; $D_{н.м.}$ – верхний предел фракционного состава исходного сырья, м.

При этом коэффициенты детерминации аппроксимирующих моделей составили $R^2=0,978$ и $R^2=0,997$, что с высокой степенью соответствуют аналитической модели.

4. Практическое применение и испытание в производственных условиях

Практическое применение и промышленное освоение разработанного способа определения и регулирования межвалкового зазора

валковых дробильных машин с рифлеными рабочими органами заключается в возможности обеспечения предварительной затяжки комплекта пружин амортизационного устройства для обеспечения необходимого фракционного состава дробленого продукта при дроблении и измельчении различных каменно-рудных материалов с заведомо известными физико-механическими свойствами.

В таблице представлены отдельные физико-механические параметры дробимых ма-

териалов (твердого топлива) и практические рекомендации по предварительной регулировке комплекта пружин амортизационного устройства четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700, применяемой на участке подготовки шихтовых компонентов в агломерационном цехе «АМК» ООО «ЮГМК», для обеспечения технологических требований агломерационного процесса в отношении содержания отдельных фракций в дробленном твердом топливе.

Таблица

Рекомендации по предварительной затяжке комплекта пружин амортизационного устройства дробилки ДЧГ 900×700 при дроблении кокса доменного и кокса сухого тушения

Показатель	Значение	
	Кокс доменный	Кокс сухого тушения
Вид дробимого материала		
Фракция, мм	–25,0	–140,0
Предел прочности дробимого материала на сжатие, МПа	7,2	22,2
Коэффициента трения дробимого материала по стали	0,3	0,42
Верхний предел фракции дробленого материала, мм	–3,0	–3,0
Рекомендуемая затяжка пружин амортизационного устройства верхних рифленых валков, мм	1,1	6,8

Предварительные испытания в производственных условиях способа регулировки межвалкового зазора валковых дробильных машин с рифлеными рабочими органами осуществлялось на участке шихтоподготовки агломерационного цеха «АМК» ООО «ЮГМК».

В качестве объекта экспериментальных исследований выступала дробилка ДЧГ 900×700 с рифлеными верхними валками (рис. 4). В процессе экспериментальных исследований осуществлялось измельчение двух видов твердого топлива, используемых в условиях агломерационного производства: кокса доменного размерами 0...25,0 мм и кокса сухого тушения фракцией –140 мм. Регулирование амортизационного устройства нижних валков производилось с помощью метода [10, 14], а предварительная затяжка комплекта пружин амортизационного устройства верхних валков – согласно рекомендациям, представленным в таблице.



Рис. 4. Четырехвалковая дробилка ДЧГ 900×700 в условиях проведения испытаний способа регулирования затяжки комплекта пружин амортизационного устройства

При определении гранулометрического состава различных видов дробленого твердого топлива согласно общепринятой методике

[18] использовались сита с размерами отверстий 0,5 и 3,0 мм. Измельченный материал отбирался с участков транспортной ленты на ленточном конвейере подачи твердого топлива в отделение дозирования шихтовых материалов, а затем разделялся на отдельные фракционные составляющие с дальнейшим их провешиванием на тарированных лабораторных весах.

На основании предварительных испытаний в производственных условиях участка подготовки шихты агломерационного цеха «АМК» ООО «ЮГМК» установлено, что при фракционной подготовке различных видов твердого топлива в дробилке ДЧГ 900×700 с использованием рекомендованных режимных параметров по регулированию зазора между верхними рифлеными валками улучшаются качественные показатели дробленого продукта по фракционному составу (для технологических условий агломерационного процесса): содержание в готовом продукте нежелательных мелких фракций –0,5 мм снизилось на 6,5%, а крупных +3,0 мм уменьшилось на 4,5%, что оказывает положительное влияние на процесс спекания агломерата.

При этом на основании результатов производственных испытаний, подтверждающих адекватность теоретических предположений, рекомендовано в производственных условиях для расчета предварительной затяжки комплекта пружин амортизационного устройства верхних рифленых рабочих органов дробилки ДЧГ 900×700 использовать аппроксимированные функции:

- при фракционной подготовке кокса доменного – $X_3 = 0,36 D_{\text{и.м.}} + 0,72$;

- при фракционной подготовке кокса сухого тушения – $X_3 = 2,14 D_{\text{и.м.}} + 1,51$.

5. Заключение

1. Разработан математический аппарат аналитического определения межвалкового зазора валковых дробильных машин с риф-

ленными рабочими органами. Предложены аналитические зависимости для определения сил, действующих на валок в плоскости их перемещения в процессе дробления материала и предварительной затяжки комплекта пружин амортизационного устройства валковой дробилки для обеспечения требуемого межвалкового зазора в процессе дробления материала.

2. Предложены рекомендации по регулированию амортизационного устройства верхних рифленых валков дробилки ДЧГ 900×700, применяемой в агломерационном цехе «АМК» ООО «ЮГМК» для фракционной подготовки кокса доменного и кокса сухого тушения, используемых в технологическом процессе аглодоменного производства. Предварительные производственные испытания предложенного метода показали, что при фракционной подготовке твердого топлива в дробилке ДЧГ 900×700 с использованием рекомендованных режимных параметров по регулированию межвалкового зазора положительно сказывается на качестве дробленого продукта по фракционному составу согласно технологическим требованиям агломерационного процесса (содержание в готовом продукте нежелательных мелких фракций –0,5 мм снизилось на 6,5%, а крупных +3,0 мм уменьшилось на 4,5%).

3. Перспективным направлением дальнейшего развития исследований в данном направлении является проверка адекватности разработанного метода обоснования предварительной регулировки амортизационного устройства валковой дробилки с рифленой поверхностью бандажей с дальнейшим испытанием его в промышленных условиях, а также адаптация разработанной математической модели для условий дробления различных каменно-рудных материалов в валковых дробильных машинах, в которых используются рабочие органы с рифленой рабочей поверхностью.

Список литературы

1. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Т.Н. Агломерация рудных материалов. Научное издание. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. 400 с.
2. Мищенко И.М. Совершенствование технологии и оборудования агломерационного производства // *Металлургические процессы и оборудование*. 2011. № 3 (25). С. 35–44.
3. Вегман Е.Ф., Жеребин Б.П., Похвиснев А.Н., Юсфин Ю.С., Курунов И.Ф. Пареньков А.Е., Черноусов П.И. *Металлургия чугуна*. М.: Академкнига, 2004. 774 с.
4. Перов В.А., Андреев С.Е., Биленко Л.Ф. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: Недра, 1990. 301 с.
5. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. *Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации*. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.
6. Subba Rao D.V. *Minerals and Coal Process Calculations*. London: Taylor & Francis Group, 2016. 354 p. DOI: 10.1201/9781315225524.
7. Mikulionok I.O. Classification of Roll Grinders for Lumpy and Bulk Materials (Survey of Patents) // *Chem Petrol Eng*. 2021. № 56. Pp. 951–957. DOI: 10.1007/s10556-021-00867-3.
8. Egbe E.A.P., Olugboji O.A. Design, Fabrication and Testing of a Double Roll Crusher // *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2016. Vol. 35 (11). Pp. 511–515. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V35P303.
9. Власенко Д.А., Левченко Э.П., Жильцов А.П., Харитоненко А.А. *Дробильное оборудование предприятий черной металлургии. Конструкция и расчет*. Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2023. 140 с.
10. Мележик Р.С., Власенко Д.А. Исследование динамики валковой дробилки в процессе дробления материала // *Сборник научных трудов Донбасского государственного технического института*. 2020. № 21 (64). С. 94–100.
11. Мележик Р.С., Власенко Д.А. Иссле-

References

1. Korotich V.I., Frolov Yu.A., Bezdezhskiy T.N. *Agglomeratsiia rudnykh materialov. Nauchnoe izdanie* [Agglomeration of ore materials. Scientific publication]. Ekaterinburg, GOU VPO «UGTU UPI», 2003. 400 p. (In Russian)
2. Mishchenko I.M. Sovershenstvovanie tekhnologii i oborudovaniia aglomeratsionnogo proizvodstva [Improvement of technology and equipment for agglomeration production]. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie*, 2011, № 3 (25). Pp. 35–44. (In Russian)
3. Vegman E.F., Zherebin B.P., Pokhvisnev A.N., Yusfin Yu.S., Kurunov I.F., Paren'kov A.E., Chernousov P.I. *Metallurgiiia chuguna* [Metallurgy of cast iron]. Moscow, Akademkniga, 2004. 774 p. (In Russian)
4. Perov V.A., Andreev S.E., Bilenko L.F. *Droblenie, izmelchenie i grokhochenie poleznykh iskopaemykh* [Crushing, grinding and screening of minerals]. Moscow, Nedra, 1990. 301 p. (In Russian)
5. Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muizemnek Yu.A. *Drobniki. Konstruktsiia, raschet, osobennosti ekspluatatsii* [Crushers. Design, calculation, operating features.]. Moscow, Mashinostroenie, 1990. 320 p. (In Russian)
6. Subba Rao D.V. *Minerals and Coal Process Calculations*. London, Taylor & Francis Group, 2016. 354 p. DOI: 10.1201/9781315225524.
7. Mikulionok I.O. Classification of Roll Grinders for Lumpy and Bulk Materials (Survey of Patents). *Chem Petrol Eng*, 2021, № 56. Pp. 951–957. DOI: 10.1007/s10556-021-00867-3.
8. Egbe E.A.P., Olugboji O.A. Design, Fabrication and Testing of a Double Roll Crusher. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 2016, Vol. 35 (11). Pp. 511–515. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V35P303.
9. Vlasenko D.A., Levchenko E.P., Zhilytsov A.P., Kharitonenko A.A. *Drobnilnoe oborudovanie predpriiatiy chernoy metallurgii. Konstruktsiia i raschet* [Crushing equipment for ferrous metallurgy enterprises. Design and calculation]. Lipetsk, Lipetskiy go-

дование надежности и анализ повышения эффективности дробилки ДЧГ 900×700 с усовершенствованным приводом в условиях агломерационного цеха АМК ООО «ЮГМК» // Черные металлы. 2025. № 4. С. 4–10.

12. Vlasenko D.A. Justification of rational energy-power parameters of the drive of roll crushers // *Steel in Translation*, 2023. Vol. 53. No. 7. Pp. 640–647. DOI: 10.3103/S0967091223070124

13. Vlasenko D.A. Modeling and Industrial Development of Grinding Processes in Roller Mills with Corrugated Rolls. *Steel in Translation*. 2022. Vol. 52. No. 4. Pp. 445–450, DOI: 10.3103/s0967091222040179

14. Власенко Д.А. Развитие теории процессов дробления и практика совершенствования валковых дробилок с гладкими и рифлеными валками. Алчевск: ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2025. 172 с.

15. Никеров В.А. Физика для вузов. Механика и молекулярная физика. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2012. 136 с.

16. Тер-Криков А.М., Шабунин М.И. Курс математического анализа. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. 672 с.

17. Фещенко В.Н. Справочник конструктора. Книга 1. Машины и механизмы. М.: Инфра-Инженерия, 2016. 400 с.

18. ГОСТ 2093-82 Топливо твердое. Ситовый метод определения гранулометрического состава. Введ. 1983-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1983. 20 с.

sudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet, 2023. 140 p. (In Russian)

10. Melezhik R.S., Vlasenko D.A. Issledovanie dinamiki valkovoy drobilki v protsesse drobleniia materiala [Study of the dynamics of a roller crusher in the process of crushing material]. *Sbornik nauchnykh trudov Donbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo institute*, 2020, № 21 (64). Pp. 94–100. (In Russian)

11. Melezhik R.S., Vlasenko D.A. Issledovanie nadezhnosti i analiz povysheniia effektivnosti drobilki DChG 900×700 s usovershenstvovannym privodom v usloviakh aglomeratsionnogo tsekha АМК ООО «YuGMK» [Research of reliability and analysis of increasing the efficiency of the crusher DChG 900×700 with an improved drive in the conditions of the sintering shop of AMP of LLC «SMMC»]. *Chernye metally*, 2025, № 4. Pp. 4–10. (In Russian)

12. Vlasenko D.A. Justification of rational energy-power parameters of the drive of roll crushers. *Steel in Translation*, 2023, Vol. 53. No. 7. Pp. 640–647. DOI: 10.3103/S0967091223070124

13. Vlasenko D.A. Modeling and Industrial Development of Grinding Processes in Roller Mills with Corrugated Rolls. *Steel in Translation*, 2022, Vol. 52. No. 4. Pp. 445–450. DOI: 10.3103/s0967091222040179

14. Vlasenko D.A. *Razvitie teorii protsessov drobleniia i praktika sovershenstvovaniia valkovykh drobilok s gladkimi i riflenymi valkami* [Development of the theory of crushing processes and the practice of improving roller crushers with smooth and corrugated rolls]. Alchevsk, GOU VO LNR «DonGTI», 2025. 172 p. (In Russian)

15. Nikerov V.A. *Fizika dlia vuzov. Mekhanika i molekuliarnaia fizika* [Physics for Universities. Mechanics and Molecular Physics]. Moscow, Izdatelsko-torgovaia korporatsiya «Dashkov i Ko», 2012. 136 p. (In Russian)

16. Ter-Krikorov A.M., Shabunin M.I. *Kurs matematicheskogo analiza* [Course of Mathematical Analysis]. Moscow, Binom. Laboratoriia znaniy, 2015. 672 p. (In Russian)

17. Feshchenko V.N. *Spravochnik kon-*

struktora. *Kniga 1. Mashiny i mekhanizmy* [Designer's Handbook. Book 1. Machines and Mechanisms]. Moscow, Infra-Inzheneriia, 2016. 400 p. (In Russian)

18. GOST 2093-82. *Solid fuel. Sieve method for determining granulometric composition. Introduced*. Moscow, Publishing house of standards, 1983. 20 p. (In Russian)