

УДК (UDC) 621(825.5/7+926.323)

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ ДЧГ 900×700  
ЗА СЧЕТ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ ПРИВОДАIMPROVEMENT OF THE FOUR-ROLLER CRUSHER DCHG 900×700  
BY INCREASING THE RELIABILITY OF THE DRIVE

Мележик Р.С.

Melezhik R.S.

Донбасский государственный технический университет (Алчевск, Россия)  
Donbass state technical university (Alchevsk, Russian Federation))

**Аннотация.** Безотказность дробильно-измельчительных машин существенно влияет на их технико-экономическую эффективность. Для повышения показателей надежности четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700 в приводе валков для передачи крутящего момента от электродвигателя к быстроходному валу редуктора предложено использовать муфту пальцевую с эластичным элементом дискового типа. На основании рекомендованного типоразмерного ряда предложены конструктивные параметры эластичной муфты с номинальным моментом 12 кНм для условий дробления твердого топлива (кокса сухого тушения) в дробильной машине ДЧГ 900×700. В условиях агломерационного цеха Алчевского металлургического комбината ООО «ЮГМК» проведено производственные испытания усовершенствованного привода, на основании которых, определено, что по сравнению с условиями применения муфты зубчатой вероятность безотказной работы увеличилась в 2,2 раза, средней наработки на отказ – в 1,4 раза, а периодичность технического обслуживания снизилась в 2,2 раза. По результатам исследований установлено, что муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа с рекомендованными конструктивными параметрами обеспечивает устойчивую работу валковой дробилки ДЧГ 900×700 в процессе дробления кокса сухого тушения и обеспечивает повышение показателей надежности привода.

**Ключевые слова:** валковые дробилки, надежность.

**Дата получения статьи:** 13.09.2025

**Дата принятия к публикации:** 11.11.2025

**Дата публикации:** 25.03.2026

**Сведения об авторе:**

**Мележик Руслан Сергеевич** – ассистент кафедры «Машины металлургического комплекса», Донбасский государственный технический университет, e-mail: ruslan.melezhik@yandex.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4670-1489>

**Abstract.** The reliability of crushing and grinding machines significantly affects their technical and economic efficiency. To improve the reliability indicators of the four-roll crusher DCHG 900×700, it was proposed to use a finger-type coupling with an elastic disc element in the roll drive to transmit torque from the electric motor to the high-speed shaft of the gearbox. Based on the recommended size range, design parameters of the elastic coupling with a nominal torque of 12 kNm were proposed for crushing hard fuel (dry quenching coke) in the DCHG 900×700 crushing machine. Production tests of the upgraded drive were conducted at the agglomeration shop of the Alchevsk Metallurgical Combine, LLC "YUGMK," which showed that compared to the use of a gear coupling, the probability of failure-free operation by 2,2 times, the mean time between failures increased by 1,4 times, and the maintenance frequency decreased by 2,2 times. The study results established that the finger coupling with an elastic disc element, with the recommended design parameters, ensures stable operation of the DCHG 900×700 roll crusher during hard material crushing and improves the reliability indicators of the drive.

**Keywords:** roller crushers, reliability.

**Date of manuscript reception:** 13.09.2025

**Date of acceptance for publication:** 11.11.2025

**Date of publication:** 25.03.2026

**Author's information:**

**Melezhik Ruslan Sergeevich** – assistant at the department of metallurgical complex machines at Donbass state technical university,

e-mail: ruslan.melezhik@yandex.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4670-1489>

## 1. Введение

### 2.

Технико-экономическая эффективность валковых дробилок [1-5] в процессе подготовки каменно-рудных материалов напрямую зависит от таких показателей надежности [6-8], как безотказность, долговечность и ремонтпригодность.

Безотказность [9, 10] электродвигателя привода валковых дробильных машин является критерием его устойчивой работы и зависит от условий эксплуатации (наличия перегрузок, отклонений от установленных режимов работы и т.д.), качества питающего напряжения, соответствия характеристик электродвигателя требованиям рабочей машины и технологического процесса, надежности действия пускозащитной и регулирующей аппаратуры и т.д.

Одним из основных факторов, влияющих на устойчивую работу электропривода рабочих органов, является образование динамических нагрузок в процессе работы. Для снижения негативного воздействия ударных нагрузок на привод валковой дробилки в работах [11] предложено использование муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа [12], позволяющей снизить динамические нагрузки, передающиеся от валка к тихоходному валу редуктора [13, 14] в процессе дробления материала. Данные мероприятия позволили повысить срок эксплуатации узлов и деталей редуктора [11], однако не позволили исключить нарушение центровки валов привода, связанного со смещением положения редуктора от проектного из-за постоянных знакопеременных нагрузок, действующих на привод дробилки от силы дробления материала.

Использование эластичной муфты [12] между валом валка и тихоходным валом редуктора позволило минимизировать негативные последствия расцентровки осей валов, однако зубчатая муфта [15], применяемая для передачи крутящего момента от электродвигателя к быстроходному валу редуктора не позволяет в полной мере компенсировать несоосность валов, что приводит к необходимости регулярного технического обслуживания дробильно-измельчительной

машины (центровки валов элементов привода) и негативно сказывается на показателях надежности привода дробилки в целом.

Таким образом обоснование конструктивных параметров, промышленные испытания и внедрение муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа в приводе валков валковой дробилки для передачи крутящего момента от электродвигателя к редуктору привода валков являются актуальной научно-технической задачей, направленной на повышение эффективности, в том числе и надежности, валковых дробильно-измельчительных машин.

## 2. Обоснование конструктивных параметров эластичной муфты

Для обоснования требуемого крутящего момента, передачу которого должна обеспечивать муфта электродвигателя привода нижних валков валковой дробилки, использовалось следующее выражение:

$$M_{кр} = k_{зан} \frac{M_{сопр}}{i_p \eta_{пр}}, \quad (1)$$

где  $k_{зан}$  – коэффициент режима работы привода валковой дробилки;  $M_{сопр}$  – момент сопротивления сил, возникающих в процессе дробления материала, Нм;  $i_p$  – передаточное число редуктора привода;  $\eta_{пр}$  – коэффициент полезного действия привода.

Момент сопротивления от сил, возникающих в процессе дробления материала в валковой дробильной машине, определяется по зависимости, предложенной в работах [16–18].

Для расчетов использовались следующие значения [16–18]:

- передаточное число редуктора привода нижних валков –  $i_p = 5,19$ ;
- коэффициент полезного действия привода –  $\eta_{пр} = 0,88$ ;
- коэффициент режима работы –  $k_{зан} = 2,8$ ;
- момент сопротивления, возникающий на валке дробилки в процессе дробления –  $M_{сопр} = 15,723 \times 10^3$  Нм.

По результатам аналитического расчета получено следующее значение требуемого крутящего момента, передачу которого должна обеспечивать соединительная муфта электродвигателя и быстроходного вала редуктора  $M_{кр} = 9,639 \times 10^3$  Нм, на основании которого (согласно параметрического ряда,

предложенного в исследовании [19]) выбрана муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа (рис. 1) с номинальным крутящим моментом  $M_n = 12,0 \times 10^3$  Нм [16], конструктивно-технологические параметры, которой представлены в табл. 1.

Таблица 1

Конструктивно-технологические параметры муфты упругой

Параметр	Номинальный крутящий момент, кНм	Наружный диаметр упругого элемента, м	Диаметр центров отверстий под пальцы, м	Диаметр отверстий под пальцы, м	Количество отверстий под пальцы, шт.	Ширина эластичного элемента, м
Значение	12,0	0,32	0,24	0,037	6	0,028

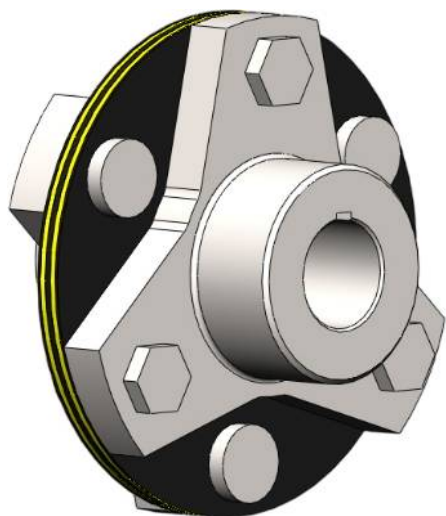


Рис. 1. Твердотельная модель муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа с номинальным крутящим моментом  $M_n = 12,0 \times 10^3$  Нм

Предлагаемая муфта способна демпфировать ударно-переменные нагрузки, возникающие в процессе дробления, компенсировать осевые, угловые и радиальные смещения соединяемых валов, снизить регулярность технического обслуживания дробилки, и тем самым повысить надежность привода дробилки в целом.

Муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа состоит из двух полумуфт, эластичного элемента дискового типа и пальцев. Пальцы соединяют полумуфты через эластичный элемент компенсируя осевые, угловые и радиальные смещения. Эластичный элемент представлен чередующимися слоями резины и кордного материала в равном соотношении по ширине (рис. 2). Крутящий момент передается через полумуфту на эластичный элемент путем беззазорной установки в них пальцев и далее через эластичный элемент на полумуфту при помощи связанных с ней пальцев.

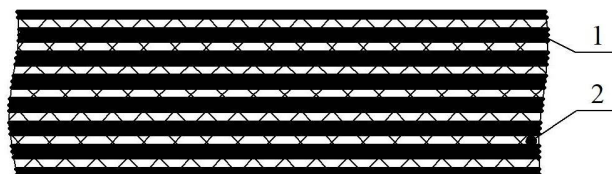
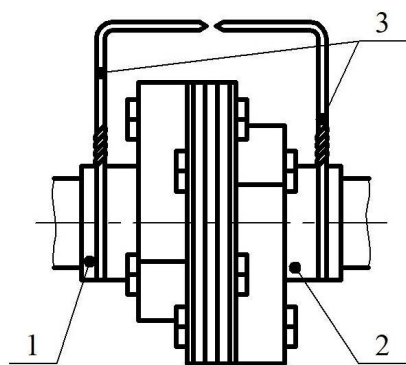


Рис. 2. Эластичный элемент [19]:  
1 – резина; 2 – кордный материал

Так как данная муфта не позволяет производить центровку по внешним поверхностям полумуфт, из-за сложности их механической обработки для придания достаточной геометрической точности, то для центровки

муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа в условиях агломерационного цеха Алчевского металлургического комбината ООО «ЮГМК» (АМК ООО «ЮГМК») выбирался метод проволочного контроля [20] (рис. 3). Метод заключается в закреплении на ступицах полумуфт двух жестких проволок, изогнутых буквой «Г» с предварительно заточенными концами, между которыми остается зазор до 1 мм. После чего полумуфты не жестко соединяются пальцами и вращаются от руки для измерения зазоров. При вращении полумуфт добиваются такого положения электродвигателя в указанных точках, чтобы зазоры не изменялись.



1, 2 — полумуфты; 3 — проволоки

Рис. 3. Схема реализации метода проволочного контроля

### 3. Промышленные испытания эластичной муфты

Производственные испытания и внедрение предложенной эластичной муфты (рис. 4) в приводе нижних рабочих органов четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700 (рис. 5) для передачи крутящего момента от электродвигателя к быстроходному валу редуктора проводились в условиях участка подготовки шихты агломерационного цеха АМК ООО «ЮГМК».

Цель испытаний заключалась в определении и сравнительном анализе вибрационных характеристик, показателей вероятности безотказной работы [21], средней наработки на отказ [21], а также определение периодичности технического обслуживания [21, 22] привода дробилки по критерию условий превышения максимально допустимых значений

виброперемещения, виброскорости и виброускорения, регламентируемых государственным стандартом [23], при использовании двух типов муфт: муфты зубчатой (рис. 6) и муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа.



Рис. 4. Упругая муфта привода валков при проведении испытаний



Рис. 5. Четырехвалковая дробилка ДЧГ 900×700 [11] в приводе валков при проведении испытаний

Для измерения вибрационных характеристик привода при испытаниях применялся переносной цифровой анализатор, коллектор данных и балансировочный прибор «Кварц 2» [24] с датчиком вибрации АС-102-1А (рис. 7). Конструкция данного прибора обеспечивает его нормальное функциониро-

вание в условиях проводимых измерений, а используемые при измерении датчики соответствуют всем нормативным требованиям (не изменяют вибрационные характеристики машины).



Рис. 6. Муфта зубчатая



Рис. 7. Вибрационный датчик АС-102-1А, установленный на корпусе редуктора при проведении экспериментальных исследований

Измерения вибрационных характеристик (виброперемещения, виброскорости, виброускорения) осуществлялись согласно методу контроля состояния машин по результатам измерений вибрации на не вращающихся частях на бобышках подшипниковых опор быстроходного вала редуктора и корпуса

электродвигателя (рис. 8) [20] привода нижних валков четырех валковых дробильных машин ДЧГ 900×700 в условиях агломерационного цеха АМК ООО «ЮГМК». Выбор данных точек для фиксирования показаний обусловлен невозможностью установки вибрационного датчика и установочного магнита на вращающихся поверхностях, а также требованиями техники безопасности и правилами эксплуатации оборудования.

Методика контроля предполагает выполнение измерения вибрации в диапазоне частот, охватывающем частотный спектр колебаний агрегата. Фиксировались численные показатели таких вибрационных характеристик как: виброперемещение (мкм); виброскорость (мм/с); виброускорение ( $\text{м/с}^2$ ).

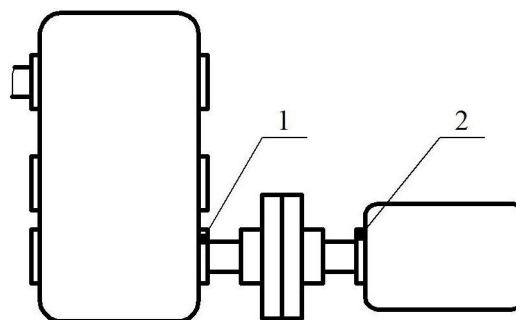


Рис. 8. Схема установки вибрационных датчиков АС-102-1А на приводе четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700:  
1 – бобышка корпуса редуктора;  
2 – бобышка корпуса электродвигателя

В рамках экспериментальных исследований проводились измерения вибрационных характеристик привода четырехвалковой дробилки в исходном состоянии без конструктивных изменений, а также модернизированного привода, в котором зубчатая муфта заменена муфтой пальцевой с эластичным элементом дискового типа, что позволяет оценить влияние данного технического решения на вибрационное поведение исследуемого оборудования.

Непосредственная фиксация показателей осуществлялась в реальном времени в режиме «измерение», после предварительной установки измерительного датчика на дробилке. Перед каждым измерением выбирался тип замера, режим измерения, задавалось

время фиксации показаний и вид усреднения, после чего выполнялся запуск процедуры замера данных.

В табл. 2 представлены средние значения вибрационных характеристик в процессе измельчения кокса сухого тушения

Таблица 2

## Результаты измерений вибрационных характеристик

№	Показатели	Корпус редуктора	Привод с	
			МЗ №8 <sup>1</sup>	МПЭЭДТ <sup>2</sup>
Дробилка №1	Виброперемещение, мкм	36,04	31,08	14,10
	Виброскорость, мм/с	3,12	2,51	0,79
	Виброускорение, м/с <sup>2</sup>	13,86	2,78	1,22
Дробилка №2	Виброперемещение, мкм	36,23	31,30	14,05
	Виброскорость, мм/с	3,12	2,19	0,77
	Виброускорение, м/с <sup>2</sup>	14,16	2,54	1,18
Дробилка №3	Виброперемещение, мкм	35,98	29,95	13,98
	Виброскорость, мм/с	3,15	2,38	0,78
	Виброускорение, м/с <sup>2</sup>	13,92	2,57	1,13
Дробилка №4	Виброперемещение, мкм	36,13	31,12	13,91
	Виброскорость, мм/с	3,10	2,15	0,80
	Виброускорение, м/с <sup>2</sup>	14,11	2,48	1,16
Среднее значение	Виброперемещение, мкм	36,09	30,86	14,01
	Виброскорость, мм/с	3,12	2,31	0,79
	Виброускорение, м/с <sup>2</sup>	14,01	2,59	1,17

Примечание: 1 – муфта зубчатая №8, 2 – муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа.

По результатам сравнительного анализа полученных результатов установлено, что наблюдается снижение вибрационных показателей на корпусе электродвигателя четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700 (виброперемещения в 2,2 раза, виброскорости в 2,9 раза, виброускорения в 2,2 раза) при внедрении в привод валков дробилки упругой муфты по сравнению с условиями использования зубчатой муфтой.

В условиях участка подготовки шихты агломерационного цеха АМК ООО «ЮГМК» регламентом технического обслуживания и ремонта дробильного оборудования не предусматривается проведение ремонтных работ по уровню Т 1. Обслуживание и ремонт осуществляется по уровню Т 2 через каждые 2160 часов [25]. Однако при использовании зубчатой муфты наблюдались нарушения соосности вала электродвигателя и быстрого вала редуктора, приводящие к превышению допускаемых значений вибрационных показателей для электрической машины, что приводило к необходимости оста-

новки дробилки и выполнения центровки валов описанным ранее методом в межремонтный период.

Центровка осуществлялась при превышении регламентируемых допустимых показателей вибрации на электродвигателе 5АМ 250 S6 привода нижних валков дробилки ДЧГ 900×700 (при высоте оси вращения вала двигателя 250 мм), которые составляют: для виброперемещения – 29 мкм, для виброскорости – 1,8 мм/с, для виброускорения 2,8 м/с<sup>2</sup> [23].

Для определения показателей вероятности безотказной работы в процессе эксплуатации дробилки ДЧГ 900×700 рассчитывались по зависимости [10]:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0}, \quad (2)$$

где  $N_0$  – число объектов в начале испытаний;  $n(t)$  – число объектов, отказавших за наработку (время)  $t$ .

Показатели средней наработки на отказ определялись с помощью следующего выражения [10]:

$$\bar{T}_0 = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^N \frac{H_i}{n_i}, \quad (3)$$

где  $H_i$  – наработка  $i$ -го объекта за время наблюдений;  $n_i$  – число отказов  $i$ -го объекта на наработку  $H_i$ .

Полученные значения показателей надежности для четырех дробилок ДЧГ 900×700 представлены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели надежности работы четырехвалковых дробилок

№	Показатели	Привод с	
		МЗ №8 <sup>1</sup>	МПЭЭДТ <sup>2</sup>
Дробилка №1	Вероятность безотказной работы, %	31	75
	Средняя наработка на отказ, тыс. ч	1,20	1,82
	Периодичность технического обслуживания, раз/год	11	5
Дробилка №2	Вероятность безотказной работы, %	44	100
	Средняя наработка на отказ, тыс. ч	1,30	2,16
	Периодичность технического обслуживания, раз/год	9	4
Дробилка №3	Вероятность безотказной работы, %	50	100
	Средняя наработка на отказ, тыс. ч	1,60	2,16
	Периодичность технического обслуживания, раз/год	8	4
Дробилка №4	Вероятность безотказной работы, %	44	100
	Средняя наработка на отказ, тыс. ч	1,5	2,16
	Периодичность технического обслуживания, раз/год	9	4
Среднее значение	Вероятность безотказной работы, %	42	94
	Средняя наработка на отказ, тыс. ч	1,40	2,08
	Периодичность технического обслуживания, раз/год	9,25	4,25

Примечание: 1 – муфта зубчатая №8, 2 – муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа.

На основании анализа полученных результатов можно утверждать, что в среднем вероятность безотказной работы увеличилась с 42% до 94%; средняя наработка на отказ увеличилась с 1,40 тыс. ч до 2,08 тыс. ч; периодичность технического обслуживания снизилась с 9,25 до 4,25 раз в год.

Таким образом, внедрение муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа в привод валковой дробилки ДЧГ 900×700 существенно снижает вибрационные нагрузки, что способствует повышению надежности. Полученные данные показывают рост вероятности безотказной работы и увеличение средней наработки на от-

каз. Одновременно снижается частота технического обслуживания, что улучшает технико-экономические показатели эксплуатации дробилки.

#### 4. Выводы

1. Для передачи крутящего момента от электродвигателя к рабочим органам привода нижних валков четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700, эксплуатируемой в агломерационном цехе АМК ООО «ЮГМК», предложено использовать муфту пальцевую с эластичным элементом дискового типа с номинальным крутящим моментом 12 кНм, что

соответствует требованиям технологического процесса дробления кокса сухого тушения и обеспечивает надежную передачу крутящего момента с демпфированием ударно-переменных нагрузок. Использование такой муфты способствует снижению вибрационных воздействий на приводные узлы, компенсирует осевые, угловые и радиальные смещения валов, что повышает долговечность оборудования и улучшает эксплуатационные характеристики дробилки в условиях интенсивной промышленной эксплуатации.

2. В ходе экспериментальных исследований получены значения вибрационных характеристик для привода с зубчатой муфтой № 8 и муфтой пальцевой с эластичным элементом дискового типа с наружным диаметром эластичного элемента 0,32 м и шириной эластичного элемента 0,028 м, проанализировав которые можно утверждать, что предлагаемая муфта позволяет в среднем снизить вибрационные характеристики на корпусе электродвигателя: виброперемещение в 2,2 раза, виброскорость в 2,9 раза, виброускорение в 2,2 раза.

3. Выполнено внедрение муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа в привод нижних валков четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700 в производственных условиях агломерационного цеха Алчевского металлургического комбината ООО «ЮГМК».

4. Получены значения показателей безотказности работы валковой дробилки ДЧГ 900×700 для привода с зубчатой муфтой и усовершенствованного с муфтой пальцевой с эластичным элементом дискового типа. Наблюдается увеличение вероятности безотказной работы в 2,2 раза и средней наработки на отказ в 1,4 раза, а также снижение периодичности технического обслуживания в 2,2 раза.

5. Подтверждено, что электродвигатель с используемой в приводе четырехвалковой дробилки упругой муфты в условиях агломерационного цеха АМК ООО «ЮГМК» работает в диапазоне вибрационных характеристик не превышающих допустимые.

6. Перспективным является использование муфт пальцевых с эластичным элементом дискового типа в тяжелом промышленном оборудовании, включая дробилки, мельницы и конвейеры, где важна передача больших крутящих моментов с демпфированием вибраций и ударных нагрузок. Также такие муфты найдут свое применение в горнодобывающей промышленности, энергетике и металлургии для повышения надежности приводов и компенсации несоосности валов. Кроме того, перспективными направлениями являются транспорт, сельскохозяйственная техника и машиностроение, где не обеспечивается точное соединение валов.

### Список литературы

1. 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.

2. 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.

3. Subba Rao D.V. *Minerals and Coal Process Calculations*. London: Taylor & Francis Group, 2016. 354 p. DOI: 10.1201/9781315225524.

4. Перов В.А., Андреев С.Е.,

### References

1. 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. No. 11. Pp. 511–515. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V35P303.

2. 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.

3. Subba Rao D.V. *Minerals and Coal Process Calculations*. London, Taylor & Francis Group, 2016. 354 p. DOI: 10.1201/9781315225524.

4. Perov V.A., Andreev S. YE.,

Биленко Л.Ф. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: Недра, 1990. 301 с.

5. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: Недра, 1985. 285 с.

6. Bradley E. Reliability Engineering: A Life Cycle Approach. CRC Press. 2022. 438 p.

7. Modarres M., Kaminskiy M.P., Krivtsov V. Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide. CRC Press. 2016. 504 p.

8. Meeker W.Q., Escobar L.A., Pascual F.G. Statistical Methods for Reliability Data. Wiley. 2021. 704 p.

9. Зубарев Ю.М. Основы надежности машин и сложных систем. СПб.: Лань, 2020. 180 с.

10. Щурин К.В. Надежность машин. СПб.: Лань, 2022. 592 с.

11. Мележик Р.С., Власенко Д.А. Анализ динамики и усовершенствование конструкции привода четырехвалковой дробилки // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2023. № 12 (765). С. 28–37. DOI: 10.18698/0536-1044-2023-12-28-37.

12. Патент № 210721 Российская Федерация, МПК F16D 3/50. Муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа / Р.С. Мележик, Д.А. Власенко, А.П. Жильцов, Я.Э. Крупнов. – № 2018134232: заявл. 27.09.18. опубл. 28.03.19. – Бюл. № 10. – 6 с.

13. Ferdinand P., Beer E., Russell J. Jr., Mazurek D. Vector Mechanics for Engineers. Statics and Dynamics. McGraw-Hill Education, 2018. 1504 p.

14. Gray G.L., Costanzo F., Plesha M.E. Engineering Mechanics: Statics and Dynamics. McGraw-Hill, 2009. 1376 p.

15. ГОСТ Р 50895-96 Муфты зубчатые. Технические условия. Введ. 23-04-1996. М.: Издательство стандартов. 1996. 19 с.

16. 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.

17. Vlasenko D.A. Modeling and Industrial

Bilenko L.F. *Drobleniye, izmelcheniye i grokhocheniye poleznykh iskopayemykh* [Crushing, grinding, and screening of minerals]. Moscow, Nedra. 1990. 301 p. (In Russian)

5. Sergo E.E. *Drobleniye, izmelcheniye i grokhocheniye poleznykh iskopayemykh* [Crushing, grinding, and screening of minerals]. Moscow, Nedra. 1985. 285 p. (In Russian)

6. Bradley E. *Reliability Engineering: A Life Cycle Approach. (Second edition)* // CRC Press. 2022. 438 p. ISBN: 978-1-003-32648-9.

7. Modarres M., Kaminskiy M.P., Krivtsov V. *Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide*. CRC Press. 2016. 504 p.

8. Meeker W.Q., Escobar L.A., Pascual F.G. *Statistical Methods for Reliability Data*. Wiley. 2021. 704 p.

9. Zubarev Yu.M. *Osnovy nadezhnosti mashin i slozhnykh sistem* [Fundamentals of Machine Reliability and Complex Systems. Sankt-Petersburg: Lan, 2020. 180 p. (In Russian)

10. Shchurin K.V. *Nadezhnost mashin* [Machine reliability]. Sankt-Petersburg, Lan. 2022. 592 p. (In Russian)

11. Melezhik R.S., Vlasenko D.A. *Analiz dinamiki i usovershenstvovaniye konstruksii privoda chetyrekhvalkovoy drobilki* [Analysis of the dynamics and improvement of the drive design of a four-roll crusher]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye*. 2023. No. 12 (765). Pp. 28–37. DOI: 10.18698/0536-1044-2023-12-28-37. (In Russian)

12. Patent RU 210721. *Mufta paltsevaya s elastichnym elementom diskovogo tipa* [Finger Coupling with Elastic Disc-Type Element]. Melezhik R.S., Vlasenko D.A., Zhiltsov A.P., Krupnov YA.E. Declared 27.09.18. Published 28.03.19. Bulletin No. 10. (In Russian)

13. Ferdinand P., Beer E., Russell J. Jr., Mazurek D. *Vector Mechanics for Engineers. Statics and Dynamics*. McGraw-Hill Education. 2018. 1504 p.

14. Gray G.L., Costanzo F., Plesha M.E. *Engineering Mechanics: Statics and Dynamics*. McGraw-Hill, 2009. 1376 p.

15. GOST R 50895-96. *Mufty zubchatyye*.

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.

18. 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.

19. Мележик Р.С., Власенко Д.А. Моделирование нагрузки и обоснование конструктивных параметров упругой пальцевой муфты с эластичным элементом дискового типа // *Горные науки и технологии*. М.: ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС». 2021. № 6 (2). С. 128–135. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-2-128-135.

20. ГОСТ ИСО 10816-1-97 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования. Введ. 01-07-1999. М.: Издательство стандартов, 1998. 16 с.

21. Birolini A. *Reliability Engineering: Theory and Practice*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2017. 651 p.

22. Николаев А.К., Иванов С.Л., Габов В.В. Надежность горных машин и оборудования. СПб.: Лань, 2022. 100 с. ISBN: 9785811491506.

23. ГОСТ IEC 60034-14-2014 Машины электрические вращающиеся. Часть 14. Механическая вибрация некоторых видов машин с высотами вала 56 мм и более. Измерения, оценка и пределы жесткости вибрации. Введ. 01-03-2016. М.: Издательство стандартов. 2015. 10 с.

24. ТУ 4277-076-54981193-15 Прибор виброизмерительный «Кварц 2». Серийный выпуск. Введ. 2016-04-21. М.: ООО «ДИАМЕХ 2000». 2016. 136 с.

25. Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта оборудования предприятий черной и цветной металлургии. М.: ЭНАС, 2012. 192 с.

*Tekhnicheskkiye usloviya* [Gear Couplings. Technical Specifications]. Moscow, Publishing house of standards. 1996. 19 p. (In Russian)

16. Vlasenko D.A. *Razvitiye teorii protsessov drobleniya i praktika sovershenstvovaniya valkovykh drobilok s gladkimi i riflenymi valkami* [Development of the Theory of Crushing Processes and Practice of Improving Roll Crushers with Smooth and Corrugated Rolls]. Alchevsk, GOU VO LNR «DonGTI». 2025. 172 p. (In Russian)

17. 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.

18. 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.

19. Melezhhik R.S., Vlasenko D.A. *Modelirovaniye nagruzki i obosnovaniye konstruktivnykh parametrov uprugoy paltsevoy mufty s elastichnym elementom diskovogo tipa* [Load simulation and justification of the design parameters of an elastic finger coupling with a disc-type elastic element]. *Gornyye nauki i tekhnologii*. Moscow, FGAOU VO «NITU «MISiS». 2021. No. 6 (2). Pp. 128–135. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-2-128-135. (In Russian)

20. GOST ISO 10816-1-97 *Vibratsiya. Kontrol sostoyaniya mashin po rezultatam izmereniy vibratsii na nevrashchayushchikhsya chastyakh. CHast 1. Obshchiye trebovaniya* [Vibration. Condition monitoring of machines based on vibration measurements on non-rotating parts. Part 1. General requirements]. Moscow, Publishing house of standards. 1998. 16 p. (In Russian)

21. Birolini A. *Reliability Engineering: Theory and Practice*. Springer Berlin, Heidelberg. 2017. 651 p.

22. Nikolayev A.K., Ivanov S.L., Gabov V.V. *Nadezhnost gornykh mashin i oborudovaniya* [Reliability of Mining Machines and Equipment]. Sankt-Petersburg, Lan, 2022. 100 p. (In Russian)

23. GOST IEC 60034-14-2014 *Rotating Electrical Machines. Part 14. Mechanical vi-*

† *bration of certain types of machines with shaft*  
† *heights of 56 mm and above. Measurements,*  
† *evaluation, and vibration severity limits [Ro-*  
† *tating electric machines. Part 14. Mechanical*  
† *vibration of certain types of machines with*  
† *shaft heights of 56 mm or more. Measure-*  
† *ments, evaluation, and limits of vibration stiff-*  
† *ness]. Moscow, Publishing house of standards.*  
† *2015. 10 p. (In Russian)*

† 24. TU 4277-076-54981193-15 *Pribor vi-*  
† *broizmeritelnyy «Kvarts 2». Seriyyny vypusk*  
† *[Vibration Measuring Instrument "Quartz 2"*  
† *Serial Production]. Moscow, LLC "DIAMECH*  
† *2000". 2016. 136 p. (In Russian)*

† 25. Yashchura A.I. *Sistema tekhnicheskogo*  
† *obslyzhivaniya i remonta oborudovaniya pred-*  
† *priyatiy chernoy i tsvetnoy metallurgii [System*  
† *of Maintenance and Repair of Equipment at*  
† *Ferrous and Non-Ferrous Metallurgical*  
† *Plants]. Moscow, ENAS. 2012. 192 p. (In Rus-*  
† *sian)*