

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЧЕТЫРЕХВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ ДЧГ 900×700 ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРИВОДА

Мележик Р.С.

Донбасский государственный технический университет, Алчевск

Ключевые слова: агломерационное производство, четырехвалковая дробилка, привод, муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа, динамические нагрузки, надежность, наработка на ресурс, качество готового продукта.

Аннотация. В работе проведен анализ результатов повышения эффективности четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700 за счет модернизации привода. Предлагается использовать в приводе валков вместо зубчатой муфты муфту пальцевую с эластичным элементом дискового типа. Представлены результаты теоретических исследований динамических нагрузок, передающихся от валков на подшипниковые опоры редуктора дробильной машины в процессе дробления твердого топлива. На основании разработанной с помощью конечно элементного метода модель привода дробилки, позволяющей определить основные вибрационные характеристики (виброперемещение, виброскорость, виброускорение) на опорах редуктора, установлено, что применение компенсирующей муфты обеспечивается снижение показателей вибрационных характеристик на подшипнике тихоходного вала редуктора в 1,6...3,28 раза по сравнению с зубчатой муфтой. Представлены результаты экспериментальных измерений вибрационных характеристик на подшипниковых опорах вала дробилки и тихоходном валу редуктора с использованием метода контроля вибрационного состояния машин для двух типов муфт. Выявлено снижение виброперемещения в 2,25 раза, виброскорости в 2,75 раза, виброускорения в 3,31 раза у муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа по сравнению с зубчатой. Представлены результаты наработки на отказ отдельных узлов дробилки. Рассчитан экономический эффект от предложенных мероприятий по усовершенствованию привода, составивший 1,7 млн. рублей в год.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF THE FOUR- ROLL CRUSHER DCHG 900×700 BY UPGRADING THE DRIVE

Melezhik R.S.

Donbass State Technical University, Alchevsk

Keywords: agglomeration production, four-roll crusher, drive, finger coupling with elastic disc-type element, dynamic loads, reliability, service life, quality of the finished product.

Abstract. The paper analyzes the results of increasing the efficiency of the four-roll crusher DCHG 900×700 by upgrading the drive. It is proposed to use a finger clutch with an elastic disk-type element in the roll drive instead of a toothed clutch. The paper presents the results of theoretical studies of dynamic loads transmitted from the rolls to the bearing supports of the crushing machine gearbox during solid fuel crushing. Based on the crusher drive model developed using the finite element method, which allows determining the main vibration characteristics (vibration displacement, vibration velocity, vibration acceleration) on the gearbox supports, it was found that the use of a compensating clutch ensures a decrease in the vibration characteristics on the bearing of the low-speed shaft of the gearbox by 1.6...3.28 times compared to a toothed clutch. The paper presents the results of experimental measurements of the vibration characteristics on the bearing supports of the crusher roll and the low-speed shaft of the gearbox using the method of monitoring the vibration state of machines for two types of clutches. A decrease in vibration displacement by 2.25 times, vibration velocity by 2.75 times, vibration acceleration by 3.31 times was revealed for a finger coupling with an elastic disk-type element compared to a toothed coupling. The results of the failure rate of individual crusher units are presented. The economic effect of the proposed measures to improve the drive was calculated, amounting to 1.7 million rubles per year.

Введение. Работа дробильного оборудования неизбежно сопровождается возникновением динамических нагрузок, которые зарождаются при неустановившемся движении масс вращающихся частей, периодических и не периодических нагрузках, появляющихся в процессе запуска и остановки, а также в процессе дробления [1-3]. Данные

нагрузки оказывают негативное влияние на работу дробилок, снижая их долговечность и надежность. Также они являются причинами большинства поломок узлов и механизмов, кроме того, эти нагрузки способны привести к аварийной остановке всего агрегата, что, в свою очередь, снижает производительность и влечет за собой дополнительные простои и расходы на ремонт. Как показывает опыт эксплуатации данного типа оборудования, примерно 90% поломок деталей обусловлены усталостными процессами, возникающими под действием динамических нагрузок.

В агломерационном производстве для дробления твердого топлива используют четырехвалковые дробилки ДЧГ 900×700 [4]. Преимущества данного типа дробильной машины заключаются в высокой однородности фракционного состава готового продукта, а также в относительной простоте конструкции и удобстве технического обслуживания. Однако значительным недостатком является сравнительно быстрый выход из строя отдельных деталей и узлов привода, что обусловлено ударно-переменными нагрузками, возникающими при разрушении материала между рабочими поверхностями валков. Узким местом является недостаточная надежность элементов привода, поскольку используемые зубчатые муфты не позволяют в достаточной степени гасить динамические нагрузки, возникающие в процессе работы. При этом срок службы отдельных узлов и деталей составляет всего 5...8 месяцев, что приводит к значительным простоям оборудования из-за необходимости проведения технического обслуживания.

В настоящее время вопросам снижения негативного влияния динамических нагрузок уделяется значительное внимание [5, 6]. Научные исследования в этой области сосредоточены на демпфировании нагрузок с использованием различных устройств и механизмов, таких как пружинные механизмы с эластичными демпферами, резинометаллические опоры, многоступенчатые системы демпфирования с рычажными электромеханическими амортизаторами и гидропневматическими амортизаторами. Хотя эти решения помогают достичь желаемого эффекта, они зачастую требуют значительного изменения конструкции, что увеличивает металло- и энергоемкость агрегатов. Кроме того, они не способны существенно снизить отрицательное воздействие динамических нагрузок на элементы привода дробильной машины.

Теоретические исследования. Для устранения существующих недостатков в исследованиях [7] предлагается вместо зубчатой муфты (МЗ) использовать в приводе дробилки муфту пальцевую с эластичным элементом дискового типа (МПЭДТ). Данная муфта (рис. 1) состоит из двух полумуфт, эластичного элемента дискового типа и соединяющих их между собой пальцев. Эластичный элемент представляет собой набор чередующихся слоев резины и кордной ткани в равном соотношении.

Для обеспечения передачи крутящего момента с необходимым демпфирующим эффектом разработан типоразмерный ряд [7], позволяющий выбрать необходимую муфту, отвечающую заданным требованиям.

Полученные ранее результаты [8, 9] указывают на то, что применение данной муфты способствует снижению динамических нагрузок, повышению надежности и долговечности оборудования. В результате исследований, основанных на использовании метода конечных элементов, установлено, что при использовании в приводе валковой дробилки МПЭЭДТ наблюдается снижение

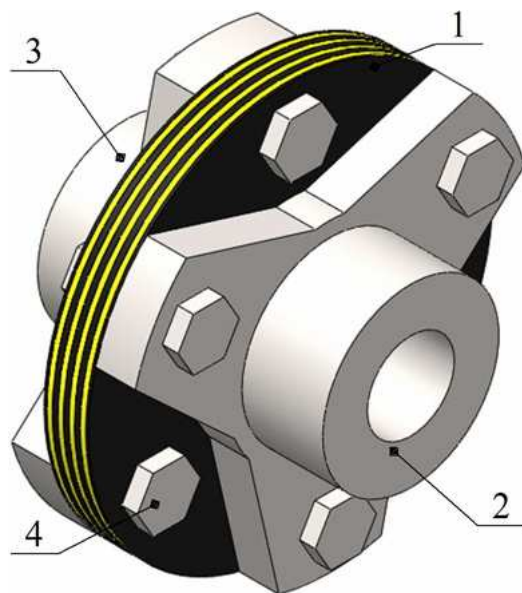


Рис. 1. Муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа: 1 – эластичный элемент; 2, 3 – полумуфты; 4 – пальцы

виброперемещения в 1,60 раза, виброскорости в 2,39 раза, виброускорения в 3,28 раза по сравнению с приводом в котором установлена МЗ.

На рисунке 2 представлены результаты математического исследования динамики узлов четырехвалковой дробилки реализованного с помощью программного комплекса SolidWorks [10].

В таблице 1 представлены результаты исследования вибрационных показателей (виброперемещения, виброскорости, виброускорения), выполненных на исследуемой модели в программном комплексе SolidWorks.

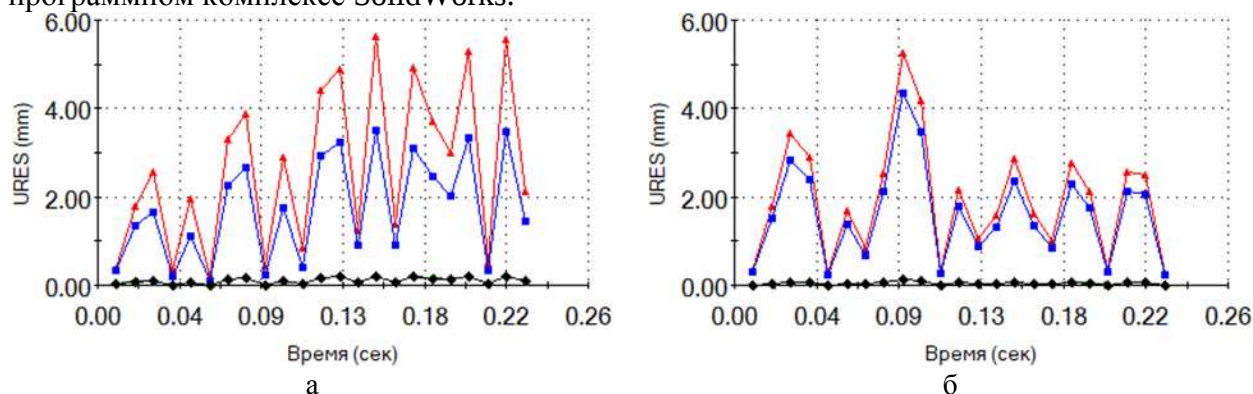


Рис. 2. Спектры колебаний результирующего виброперемещения (URES) МЗ (а) и МПЭЭДТ (б):
—▲— корпус подшипниковой опоры вала с холостой стороны; —■— корпус подшипниковой опоры вала с приводной стороны; —◆— внешнее кольцо подшипника и бабышка подшипниковой опоры тихоходного вала редуктора

Табл. 1. Результаты вибрационных характеристик полученных с помощью метода конечных элементов

Вибрационная характеристика	МЗ №8	МПЭЭДТ
Корпус подшипниковой опоры вала с холостой стороны		
Виброперемещение, мм	3,23	2,28
Виброскорость, мм/с	491,17	234,42
Виброускорение, м/с ²	76,81	28,72
Корпус подшипниковой опоры вала с приводной стороны		
Виброперемещение, мм	2,10	1,91
Виброскорость, мм/с	314,20	182,23
Виброускорение, м/с ²	52,67	25,05
Внешнее кольцо подшипника тихоходного вала редуктора		
Виброперемещение, мм	0,13	0,06
Виброскорость, мм/с	19,47	5,69
Виброускорение, м/с ²	3,77	0,74
Бабышка подшипниковой опоры тихоходного вала редуктора		
Виброперемещение, мм	0,13	0,06
Виброскорость, мм/с	19,08	5,68
Виброускорение, м/с ²	3,72	0,73

Внедрение технического решения. На основании результатов теоретических исследований для приводов валковых дробилок предложена муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа (рис. 3) с диаметром эластичного элемента 0,51 м и шириной 0,036 м, диаметром отверстий под пальцы 0,06 м, и количеством отверстий – 6 шт., которая внедрена и прошла испытания в условиях агломерационного цеха Алчевского металлургического комбината ООО «Южный горно-металлургический комплекс» (АМК ООО «ЮГМК»).

Для подтверждения результатов теоретических исследований математического моделирования динамики четырехвалковой дробилки проведены экспериментальные

исследования, включающие в себя измерения вибрационных характеристик (виброперемещение, виброскорость, виброускорение) при измельчении твердого топлива в условиях агломерационного цеха АМК ООО «ЮГМК».



Рис. 3. Муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа в производственных условиях

Данные характеристики измерялись на дробилках ДЧГ 900×700 при использовании МЗ и МПЭЭДТ с помощью двухканального переносного цифрового анализатора, коллектора данных и балансировочного прибора «Кварц 2» согласно методу контроля состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Полученные результаты (табл. 2) указывают на снижение уровня вибрации подшипников привода, возникающей при ее передаче от валков дробилки в процессе работы при использовании МПЭЭДТ, по сравнению с МЗ: виброперемещения в 2,25 раза, виброскорости в 2,75 раза, виброускорения в 3,31 раза.

Табл. 2. Результаты измерений вибрационных характеристик в условиях эксперимента

Вибрационная характеристика	МЗ №8	МПЭЭДТ
Корпус подшипниковой опоры валка с холостой стороны		
Виброперемещение, мм	4,31	2,69
Виброскорость, мм/с	524,76	223,01
Виброускорение, м/с ²	83,29	34,97
Корпус подшипниковой опоры валка с приводной стороны		
Виброперемещение, мм	3,69	2,23
Виброскорость, мм/с	426,31	191,14
Виброускорение, м/с ²	69,41	33,18
Бобышка подшипниковой опоры тихоходного вала редуктора		
Виброперемещение, мм	0,21	0,06
Виброскорость, мм/с	24,91	6,77
Виброускорение, м/с ²	5,13	0,94

В течение 3 лет и 2 месяцев проводилось наблюдение и сбор данных о наработке на отказ (рис. 4) узлов и механизмов четырехвалковых дробилок, в приводе которых применялись МЗ и МПЭЭДТ. Среднее значение наработки на отказ отдельных узлов и механизмов привода при использовании МПЭЭДТ увеличилось с 34,8 млн. час до 43,2 млн. час, что в 1,24 раза больше, чем у привода с МЗ. При этом установлено, что при использовании МПЭЭДТ уменьшился перекося валков, что в положительную сторону повлияло на фракционный состав выпускаемого продукта (рис. 5).

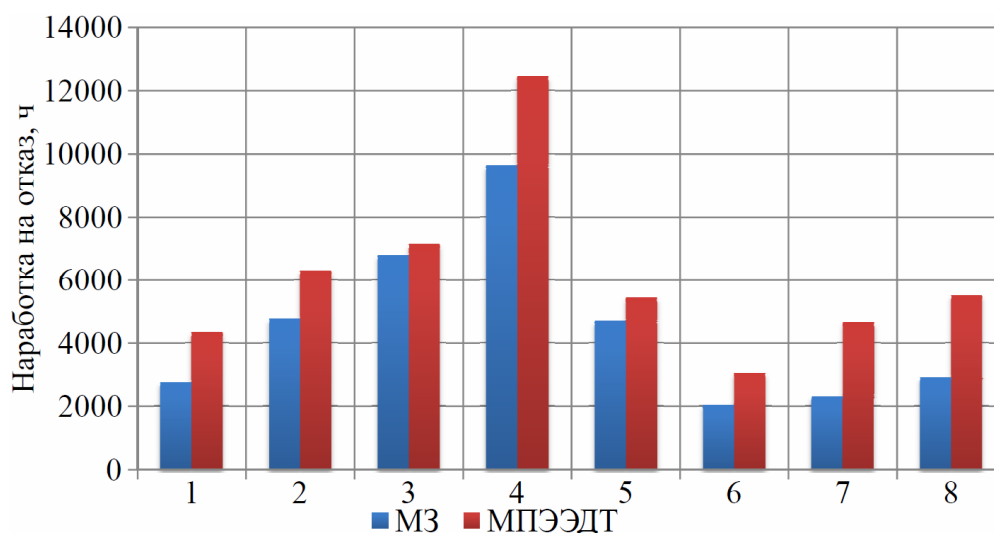


Рис. 4. Результаты наработки на отказ узлов четырехвалковой дробилки (средние значения): редуктор привода верхних валков: 1 – подшипники тихоходного вала; 2 – подшипники промежуточного вала; 3 – подшипники быстроходного вала; 4 – зубчатая передача тихоходной ступени; 5 – зубчатая передача быстроходной ступени; редуктор привода нижних валков: 6 – подшипники тихоходного вала; 7 – подшипники быстроходного вала; 8 – зубчатая передача

Измельчаемый материал, получаемый при использовании в приводе двух типов муфт (МЗ и МПЭЭДТ), определялся в производственных условиях с помощью механических весов ВТ-8908-100 согласно ситовому методу определения гранулометрического состава. При измерениях использовались лабораторные сита с разным размером отверстий (0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 мм.), а измельченный материал отбирался с участков транспортной ленты на конвейере подачи твердого топлива в дозировочное отделение.

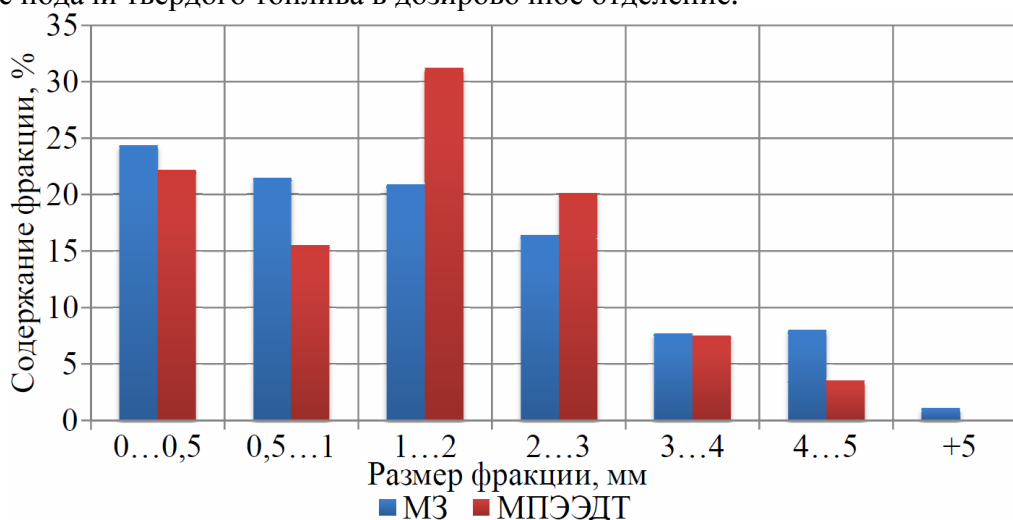


Рис. 5. Средние значения рассева твердого топлива

Установлено, что при использовании в приводе МПЭЭДТ содержание в готовом продукте нежелательной фракции -0,5 мм уменьшилось на 9,0%, а содержание крупной +3,0 мм – на 34,5%.

Экономическое обоснование технического предложения. Годовой экономический эффект от внедрения в приводе четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700 муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа достигается за счет увеличения сроков службы отдельных деталей и узлов, а также снижения расходов на приобретение сменного оборудования.

Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_Г = n_{op} \cdot (C_1 - C_2), \quad (1)$$

где $n_{др}$ – количество дробилок, находящихся в постоянной эксплуатации в агломерационном цехе; C_1 – годовые затраты на изготовление и приобретение оборудования дробилки до проведения мероприятий по усовершенствованию конструкции четырехвалковой дробилки; C_2 – годовые затраты на изготовление и приобретение оборудования дробилки с использованием новой конструкции привода дробилки.

Годовой экономический эффект от реализации предлагаемого технического решения для четырех дробилок ДЧГ 900×700, применяемых для фракционной подготовки твердого топлива в условиях агломерационного цеха АМК ООО «ЮГМК», составил 1,7 миллиона рублей в год (данные представлены на 2023 г.).

Выводы

Теоретически установлено, что использование муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа обеспечивает снижение показателей виброперемещения в 1,6 раз, виброскорости в 2,39 раз, виброускорения в 3,28 раз в подшипниковых узлах привода дробилки по сравнению с муфтой зубчатой, что позволяет повысить надежность дробильной машины.

Экспериментально подтверждено, что применение муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа способствует снижению виброперемещения в 2,25 раза, виброскорости в 2,75 раза, виброускорения в 3,31 раза по сравнению с муфтой зубчатой.

Полученные в ходе исследований данные о наработке на отказ узлов четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700, указывают на увеличение срока службы при использовании в приводе МПЭЭДТ в 1,24 раза, а результаты измерения фракционного состава измельченного продукта – на снижение нежелательной фракции -0,5 мм на 9,0%, а содержание крупной +3,0 мм на 34,5%.

Анализ полученных результатов подтверждает, что применение муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа в приводах дробилки ДЧГ 900×700 приводит к повышению ее технико-экономических показателей за счет увеличения надежности и долговечности узлов и механизмов, а также повышения качества готового продукта. Экономический эффект от внедрения предложенных мероприятий составил 1,7 миллиона рублей в год.

Список литературы

1. Исаков К., Рабат О.Ж., Салманова А.Н. Динамика валковой дробилки при нагрузке, зависящей от вращения эксцентрикового вала // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. – 2017. – №4(58). – С. 72-76.
2. Кривов Д.А., Гордеев Ю.И. Разработка принципиальной схемы дробилки с валками в форме РК-профиля // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 7. – С. 78-83.
3. Герики П.Б., Никитин А.Г. Анализ параметров вибрации, генерируемой при работе щековых дробилок // Горное оборудование и электромеханика. – 2019. – №5(145). – С. 16-22. – doi.org/10.26730/1816-4528-2019-5-16-22.
4. Власенко Д.А., Левченко Э.П., Жильцов А.П., Харитоненко А.А. Дробильное оборудование предприятий черной металлургии. Конструкция и расчет. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета. – 142 с.
5. Кочегаров И.И., Моисеев С.А. Бесконтактное измерение вибрации // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – Пенза: ПГУ, 2015. – Т. 2. – С. 301-303.
6. Кузбаков Ж.И., Першин Г.Д., Кольга А.Д. Исследование колебаний приводного устройства щековой дробилки // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2017. – №4. – С. 73-80. –doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-4-73-80.
7. Мележик Р.С., Власенко Д.А. Моделирование нагрузки и обоснование конструктивных параметров упругой пальцевой муфты с эластичным элементом дискового типа // Горные науки и технологии. – 2021. – №6(2). – С. 128-135. – doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-128-135.
8. 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.org/ 10.18698/0536-1044-2023-12-28-37.
9. Жильцов А.П., Мележик Р.С., Власенко Д.А., Харитоненко А.А., Бочаров А.В. Обоснование параметров и промышленное освоение упругой пальцевой муфты с эластичным элементом дискового типа в приводе

четырёхвалковой дробилки // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – №12(753). – С. 3-13. – doi.org/10.18698/0536-1044-2022-12-3-13.

10. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 464 с.

References

1. Isakov K., Rabat O.J., Salmanova A.N. Dynamics of a roller crusher under load depending on rotation of an eccentric shaft // Bulletin of the Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture n.a. N. Isanov. 2017, no. 4(58), pp. 72-76.
2. Krivov D.A., Gordeev Yu.I. Development of a schematic diagram of a crusher with rolls in the form of an RC profile // Bulletin of KrasGAU. 2017, no. 7, pp. 78-83.
3. Gericke, P.B. Analysis of vibration parameters generated during the operation of jaw crushers / Gericke P.B., Nikitin A.G. // Mining equipment and electromechanics. 2019, no. 5(145), pp. 16-22. – doi.org/10.26730/1816-4528-2019-5-16-22.
4. Vlasenko D.A., Levchenko E.P., A.P. Zhiltsov, Kharitonenko A.A. Crushing equipment for black metallurgy enterprises: design and calculation. – Lipetsk: Publ. house of Lipetsk State Technical University. – 142 p.
5. Kochegarov I.I., Moiseev S.A. Contactless vibration measurement // Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality". 2015, vol. 2, pp. 301-303.
6. Kuzbakov Zh.I., Pershin G.D., Kolga A.D. Investigation of vibrations of the jaw crusher drive device // Bulletin of the Moscow State Technical University named after G.I. Nosov. 2017, no. 4, pp. 73-80. doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-4-73-80.
7. Melezhik R.S., Vlasenko D.A. Modeling of load and justification of design parameters of an elastic finger coupling with a disk-type elastic element // Mining Science and Technology. 2021, no. 6(2), pp. 128-135. doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-128-135.
8. Melezhik R.S., Vlasenko D.A. Analysis of the dynamics and improvement of the design of the drive of the four-roll crusher // News of Higher Educational Institutions. Machine Engineering. 2023, no. 12(765), pp. 28-37. doi.org/10.18698/0536-1044-2023-12-28-37.
9. Zhiltsov A.P., Melezhik R.S., Vlasenko D.A., Kharitonenko A.A., Bocharov A.V. Substantiation of parameters and industrial development of an elastic finger clutch with an elastic disc-type element in a four-roll crusher drive // News of higher educational institutions. Mechanical Engineering. 2022, no. 12(753), pp. 3-13. doi.org/10.18698/0536-1044-2022-12-3-13.
10. Alyamovsky A.A. Engineering calculations in SolidWorks Simulation. – М.: DMK Press, 2015. – 464 p.

Сведения об авторах:

Мележик Руслан Сергеевич – ассистент кафедры
«Металлургические технологии»
ruslan.melezhik@yandex.com

Information about authors:

Melezhik Ruslan Sergeevich – assistant of the
Department of «Metallurgical technologies»

Получена 30.04.2025