

ГОРНЫЕ МАШИНЫ MINING MACHINES

Научная статья

УДК 621.926.3

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-3-14

Белов Николай Владимирович^{1, 2}, Бородина Марина Борисовна², Зотов Василий Владимирович³, Лагунова Юлия Андреевна^{4, 5}

¹ АО «Стойленский ГОК»

² Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»

⁴ Уральский государственный горный университет

⁵ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

* для корреспонденции: zotov@misis.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАБОТЫ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В ПРИВОДЕ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ

Аннотация.

В современной горнодобывающей промышленности сформировались достаточно сложные задачи, направленные, с одной стороны, на увеличение производительности горнодобывающих комплексов, а с другой – на ресурсосбережение в процессе производства. Измельчительное оборудование работает под действием высоких динамических нагрузок, активно изнашивающих не только элементы механизма, участвующие непосредственно при дроблении, но и элементы привода механизма: валы, передаточные механизмы и пр. Внезапные отказы оборудования, связанные с усталостными разрушениями и износом, приводят к простоям и снижению производительности, а решение, направленное на увеличение мощности и геометрических размеров оборудования, не отвечает современному направлению ресурсо- и энергосбережения. Поэтому разработка и исследование предохранительных упруго-демпфирующих устройств, снижающих воздействие динамических нагрузок и защищающих от высокоамплитудных динамических нагрузок и перегрузок элементы дробильного оборудования, является актуальным направлением в горнодобывающей отрасли. Разработано и исследовано новое гидромеханическое устройство с зубчатым дифференциальным механизмом, обладающее функциями демпфирования динамических и ударных нагрузок и защиты от внезапных перегрузок элементов конусной дробилки. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что предложенное устройство снижает динамические нагрузки и защищает от перегрузок, связанных чаще всего с попаданием недробимого тела в камеру дробления, значительно эффективней известных упругих муфт и предохранительных устройств. Построенные зависимости позволяют определить параметры предохранительного устройства, при котором воздействие динамических нагрузок будет минимальным. Выявлен в ходе экспериментальных исследований недостаток новой конструкции предохранительного устройства. Разработана новая конструкция комбинированного предохранительного устройства, в которой этот недостаток устранен.



Информация о статье

Поступила:

01 ноября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 ноября 2024 г.

Принята к печати:

24 ноября 2024 г.

Опубликована:

12 декабря 2024 г.

Ключевые слова:

конусная дробилка; привод; предохранительное устройство; динамика; отказ; исследование; динамические нагрузки; опытный образец; модернизация дробилок

Для цитирования: Белов Н. В., Бородина М. Б., Зотов В. В., Лагунова Ю. А. Исследование динамики работы гидромеханического предохранительного устройства в приводе конусной дробилки // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 6 (176). С. 3-14. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-3-14, EDN: AQPYZL

Введение. При производстве рудного концентрата на обогатительных фабриках в горнодобывающей промышленности на начальных этапах используются дробилки крупного, среднего и мелкого дробления [1-3]. Отказы в конусных дробилках влияют на все производство [4,5], так как питание последующих стадий производства рудного концентрата осуществляется продуктом, переработанным дробилками. Следовательно, обеспечение надежности и безотказности работы дробилок является важной актуальной задачей горнодобывающего производства [6].

В конусной дробилке горная порода измельчается зажатием кусков между бронями конуса и чаши [7]. Этот процесс сопровождается непрерывными ударными и высокими динамическими нагрузками, воздействующими на все элементы дробилки. Эти нагрузки являются причиной разрушений вследствие потери сопротивления усталости и износа элементов дробилок, что приводит к внезапным отказам оборудования и простоям на предприятии [8-10].

В последнее время для снижения изнашиваемости двигателей дробилок от действия динамических нагрузок увеличивают мощность двигателя или ставят второй двигатель той же мощности (Рис. 1).

При этом потребляемая энергия увеличивается почти вдвое, большую часть времени двигатели работают недогруженными, но, кроме того, остальные элементы привода и механизма испытывают повышенные нагрузки, что приводит к их ускоренному износу и потере усталостной прочности. Из Рис. 1 видно, что двигатель номинальной мощностью 400 кВт воспринимает динамические нагрузки, пиковые значения которых иногда достигают номинальных значений привода. Остальное время двигатель работает недогруженным. Очевидно, что эти меры не являются эффективными и приводят к дополнительным затратам. Кроме того, к внезапным отказам приводит перегрузка оборудования при попадании недробимого тела в зону дробления.

Снизить количество внезапных отказов дробилок можно установкой в привод дробилки предохранительного упругодемпфирующего устройства с элементами гидравлики [11-12]. Анализ предохранительных устройств показал, что большими функциональными возможностями по эффективной защите приводов от динамических нагрузок, порой превышающих допустимые значения, является новая конструкция гидромеханического устройства [13], представленного на Рис. 2.

Но предложенное устройство не исследовалось ранее и не проходило испытаний в рабочих приводах. Для определения рациональных параметров устройства и обоснования его внедрения в приводы конусных дробилок проведены теоретические и экспериментальные исследования.

Методы. Для проведения теоретических исследований разработана математическая модель динамики работы гидромеханического предохранительного устройства [11], основанная на совместном решении дифференциальных уравнений, описыва-

ющих динамику работы передаточного механизма, и зависимостей, описывающих механическую характеристику электродвигателя, гидромеханику работы гидромашины и гидроаккумулятора с учетом сопротивления жидкости в гидросистеме, динамические нагрузки в конусной дробилке, приведенные к валу привода:

$$\begin{cases}
 (J_1 + J_2) \cdot \ddot{\varphi}_2 + \frac{J_1}{i} \ddot{\varphi}_3 = M_d - M_c \\
 \left(\frac{J_1}{i^2} + J_3\right) \cdot \ddot{\varphi}_3 + \frac{J_1}{i} \ddot{\varphi}_2 = \frac{M_d}{i} - M_{\text{Гпр}} \\
 M_d = \frac{z_p \cdot m_1 \cdot R_2' \cdot U_1^2}{\omega_1 s [(R_1 + c_1 R_2'/s)^2 (X_1 + c_1 X_2')^2]} \\
 M_c = \begin{cases} 0,15M_n, & \text{при } 0 \leq t < 120 \\ 1,9M_n, & \text{при } 120 \leq t < 122 \\ 0,9M_n + 0,1M_n \cdot \sin(k_1 t) + 0,8M_n \cdot \sin(k_2 t), & \text{при } t > 122 \end{cases} \\
 (1) \\
 M_{\text{Гпр}} = M_p - M_{\text{жид}}^T \\
 M_p = M_{p0} + c \cdot \varphi_3 \\
 c = \frac{P_0 \cdot V_1^2}{V_0 - V_1 \cdot \varphi_3} \\
 M_{\text{жид}}^T = \mu \cdot \dot{\varphi}_3 + \nu \cdot \varphi_3^2
 \end{cases}$$

Полученная система уравнений (1) содержит нелинейные дифференциальные уравнения второго порядка, а значит, решать ее следует численными методами [15]. Проведем моделирование рассматриваемой технической системы в программном комплексе Matlab Simulink, разработав модель, представленную на Рис. 3. В представленной модели расчет дифференциальных уравнений производится методом Рунге-Кутты 4-го, 5-го порядка в стандартном модуле Matlab Simulink – ode 45 [16].

Для подтверждения адекватности теоретических исследований необходимо провести экспериментальные исследования опытного образца предохранительного гидромеханического устройства в приводе конусной дробилки.

В рамках проведения работ совместно с предприятием ООО «ПромМашКомплект» был спроектирован и изготовлен опытный образец предохранительного устройства с зубчатым дифференциальным механизмом, показанный на Рис. 4. Опытный образец изготавливался из стандартных узлов и деталей, удовлетворяющих условиям прочности при воздействии максимально допустимых нагрузок дробилки. В качестве передаточного механизма предохранительного устройства выбран дифференциал ведущего моста автомобиля КАМАЗ. В гидросистему установлен аксиально-плунжерный гидромотор 3102.112.

Экспериментальные испытания опытного образца проводились на оборудовании дробильно-сортировочной установки – конусной дробилке КСД-1200, предоставленной предприятием ООО «ПромМашКомплект» (Рис. 5).

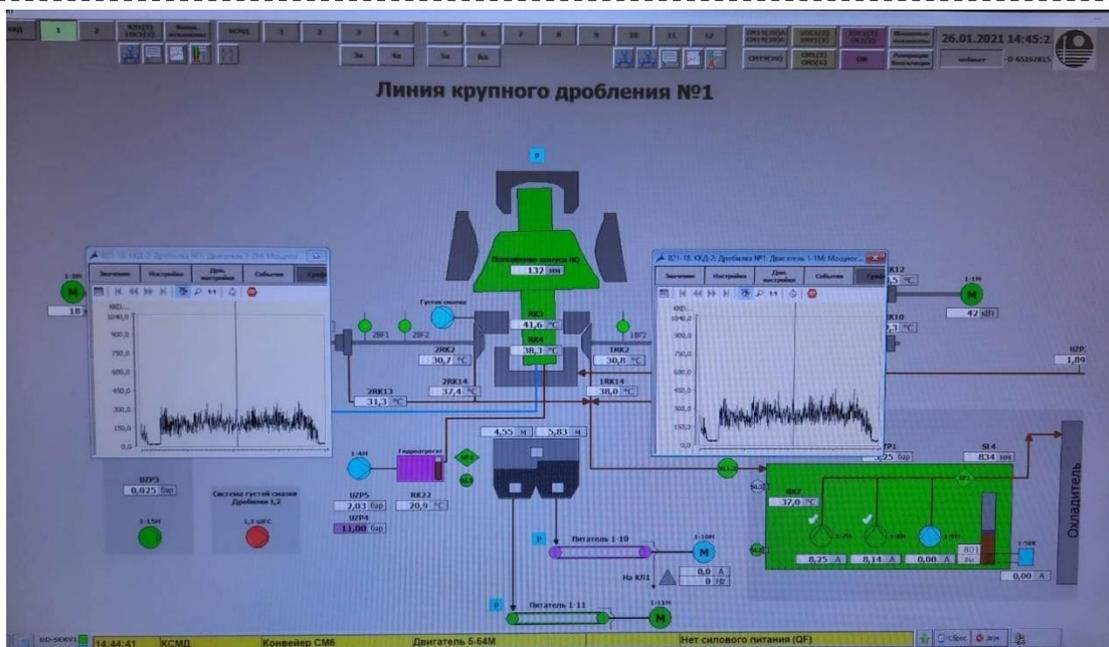


Рис. 1. Конусная дробилка с двумя приводами
Fig. 1. Cone crusher with two drives

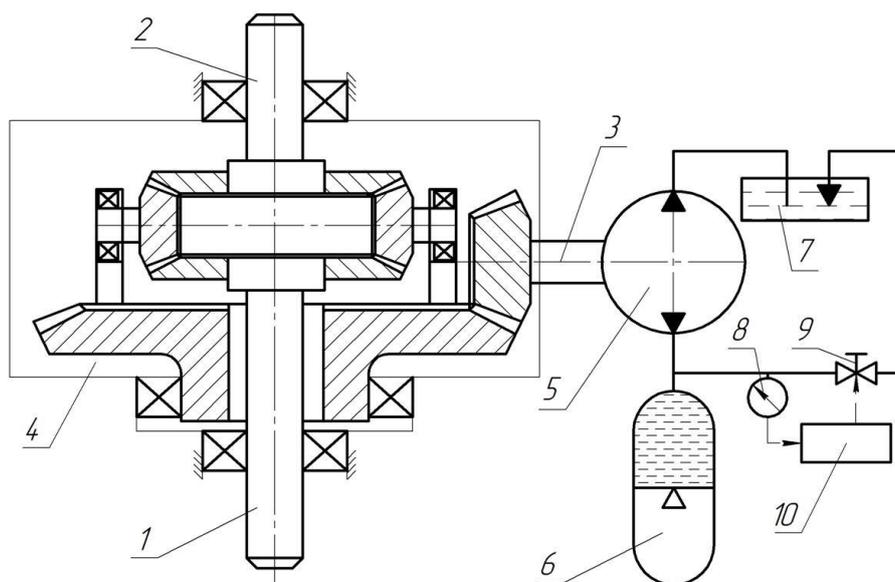


Рис. 2. Предохранительное гидромеханическое устройство:
1 – ведущий вал; 2 – ведомый вал; 3 – регулирующий вал; 4 – передаточный механизм; 5 – гидромашина; 6 – гидроаккумулятор; 7 – сливная емкость; 8 – датчик давления; 9 – кран; 10 – система управления
Fig. 2. Safety hydromechanical device:
1 – drive shaft; 2 – driven shaft; 3 – control shaft; 4 – transmission mechanism; 5 – hydraulic machine; 6 – hydraulic accumulator; 7 – drain tank; 8 – pressure sensor; 9 – tap; 10 – control system

Регистрация результатов экспериментов проводилась измерительным устройством, представляющим собой регистратор многоканальный технологический РМТ 69L, регистрирующий изменения силы тока двигателя.

Результаты исследования.

Проведены теоретические исследования работы привода с гидромеханическим предохранительным устройством под действием серии импульсных нагрузок с частотой 0,25 Гц; 0,5 Гц; 0,75 Гц и 1 Гц (наиболее часто встречающиеся частоты динамических нагрузок в конусных дробилках при разном

гранулометрическом составе материала) и максимальной амплитудой, в три раза превышающей номинальное значение момента, при разных начальных давлениях в гидроаккумуляторе предохранительного устройства. На Рис. 6 показан один из полученных графиков.

Полученные зависимости показали, что при начальном давлении в гидроаккумуляторе предохранительного устройства, равном 7 Мпа, амплитуда момента, действующего на вал двигателя, снижается до минимальных значений. При этом изменение частоты серии кратковременных нагрузок в

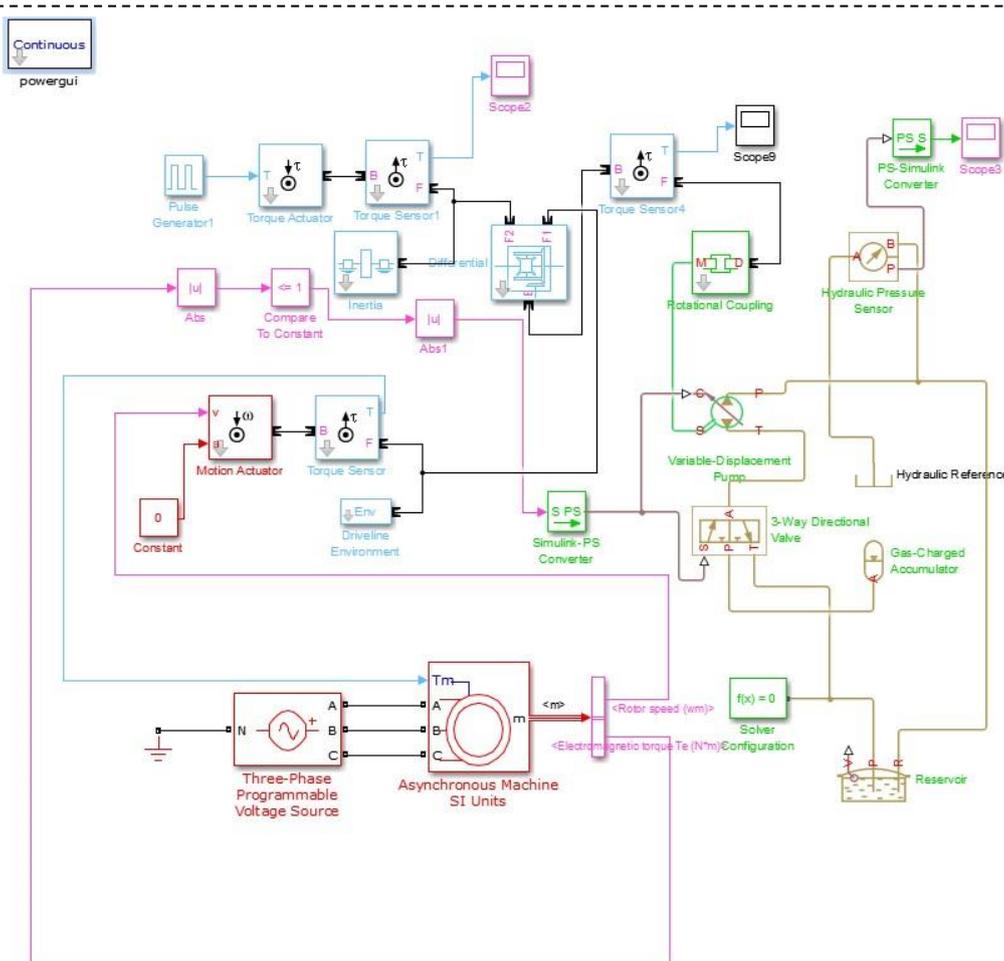


Рис. 3. Модель привода дробилки с гидромеханическим предохранительным устройством в Matlab Simulink
 Fig. 3. Model of a crusher drive with a hydromechanical safety device in Matlab Simulink



Рис. 4. Опытный образец
 Fig. 4. Prototype

диапазоне ($0,25 \dots 1 \text{ c}^{-1}$) практически не влияет на рациональное значение начального давления в гидроаккумуляторе, только незначительно изменяет амплитуду действующей динамической нагрузки, как показано на Рис. 7.

Исследовали влияние изменения амплитуды момента, действующего со стороны дробилки (Рис.

8). Установлено, что изменение амплитуды кратковременной нагрузки (при одинаковой длительности ее воздействия), действующей со стороны конусной дробилки, практически не влияет на амплитуду момента, приходящего на вал электродвигателя (Рис. 8). Так как нагрузки, действующие в дробилке, являются кратковременными, иногда величина



Рис. 5. Опытные испытания
Fig. 5. Experimental tests

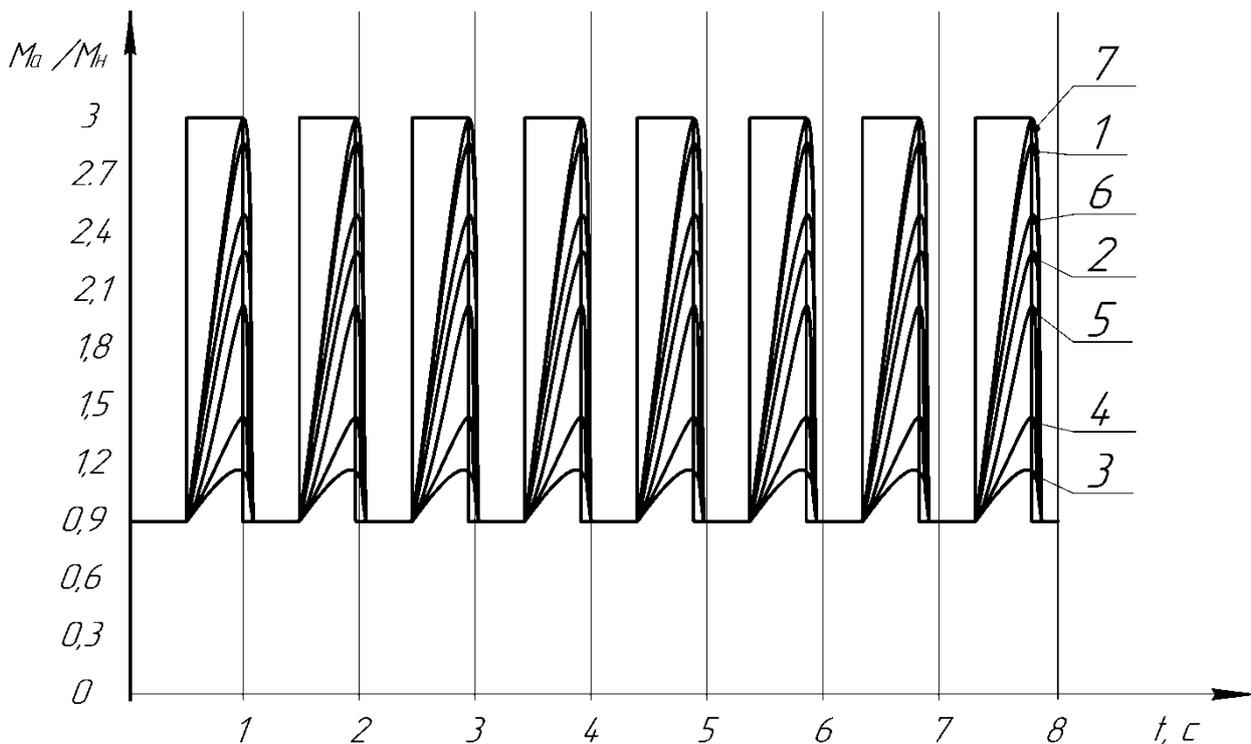


Рис. 6. Момент на валу двигателя в режиме демпфирования серии импульсных нагрузок частотой 0,25 Гц при начальных давлениях в гидроаккумуляторе предохранительного устройства:
1 – 0,3 МПа; 2 – 0,5 МПа; 3 – 7 МПа; 4 – 10 МПа; 5 – 12 МПа; 6 – 14 МПа; 7 – 15 МПа.

Fig. 6. Torque on the engine shaft in the mode of damping a series of pulse loads with a frequency of 0.25 Hz at initial pressures in the hydraulic accumulator of the safety device:
1 – 0.3 MPa; 2 – 0.5 MPa; 3 – 7 MPa; 4 – 10 MPa; 5 – 12 MPa; 6 – 14 MPa; 7 – 15 MPa..

ной, превышающей номинальную в два раза и более, то такое свойство предохранительного устройства очень важно.

Также проведено исследование работы привода дробилки с жесткой связью и привода с гидромеханическим предохранительным устройством под действием нагрузки, имитирующей рабочую нагрузку дробилки. Получены графики момента, имитирующего рабочие нагрузки, а также момен-

тов на валу двигателя с предохранительным гидромеханическим устройством в приводе и без него (Рис. 9). Установлено, что предложенное устройство способно демпфировать высокоинтенсивные нагрузки на исполнительном органе механизма, снижая их максимальную амплитуду в 6 раз, а также защищать привод при кратковременных перегрузках.

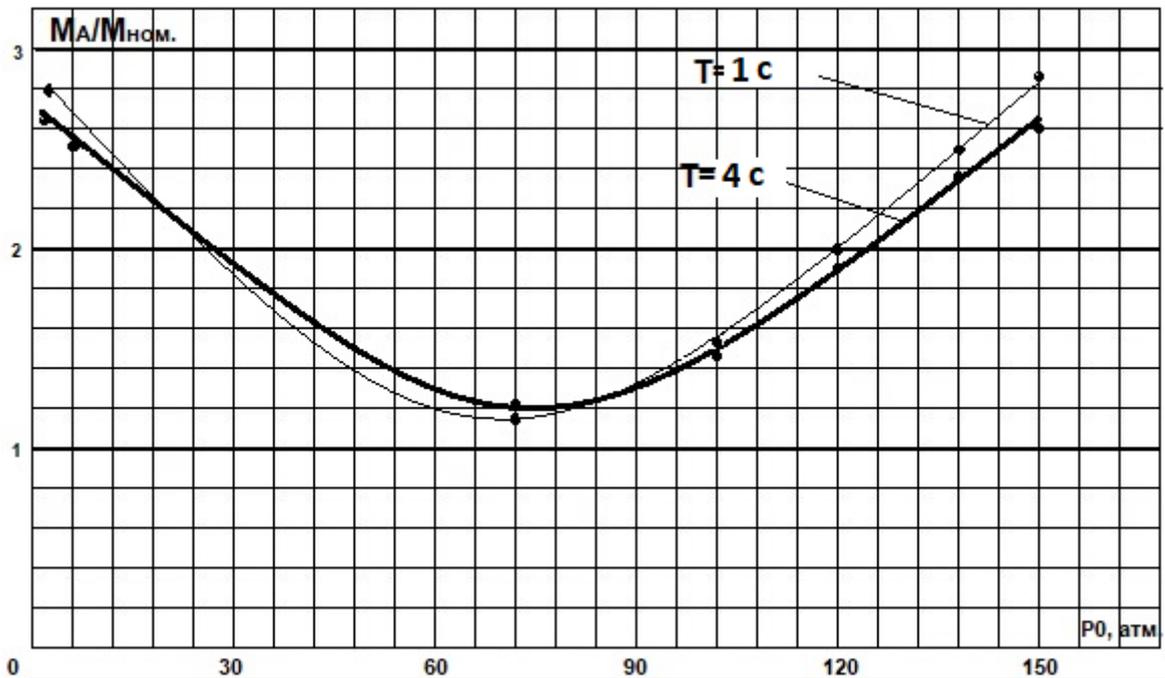


Рис. 7. Зависимость амплитудного момента на валу электродвигателя от начального давления в гидроаккумуляторе предохранительного устройства

Fig. 7. Dependence of the amplitude moment on the electric motor shaft on the initial pressure in the hydraulic accumulator of the safety device

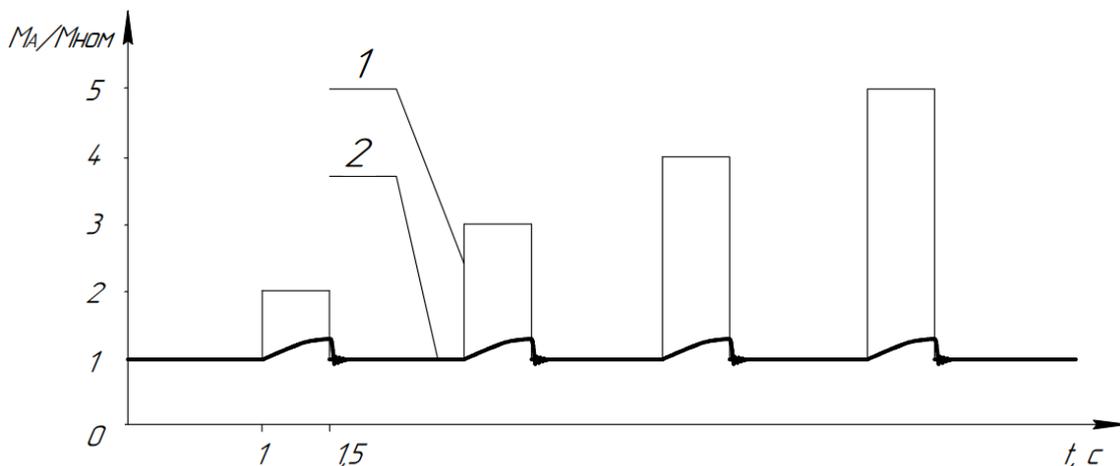


Рис. 8. Момент на валу электродвигателя при разной амплитуде нагрузки

1 – момент со стороны дробилки; 2 – момент на валу электродвигателя

Fig. 8. Torque on the electric motor shaft at different load amplitudes

1 – torque from the crusher side; 2 – torque on the electric motor shaft

При проведении экспериментальных исследований сначала осуществлялся помол щебня фракции 0 – 80 мм без опытного образца гидромеханического предохранительного устройства. В процессе помола измерялись колебания тока, возникающие в процессе работы конусной дробилки, и по тарировочному графику построен график изменения напряжения в приводе дробилки (Рис. 10, а). Отмечено, что в процессе дробления возникают кратковременные нагрузки высокой интенсивности, вследствие которых ток двигателя превышает номинальное значение в 150 А, что говорит о кратковременных перегрузках.

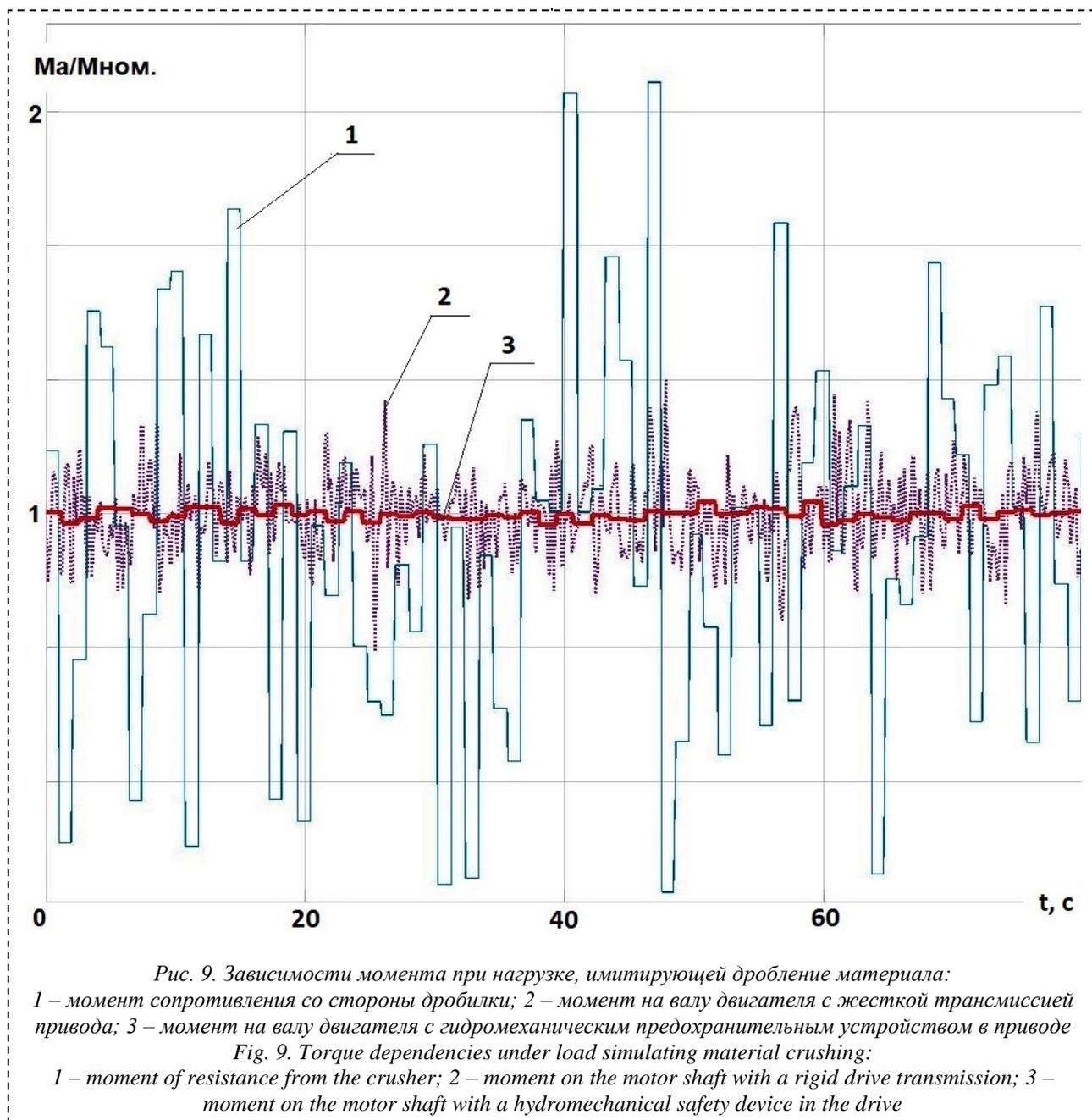
После установки опытного образца в привод конусной дробилки был проведен пуск и визуальная оценка работоспособности предохранительного

устройства. После чего провели помол щебня той же фракции и построили график изменения напряжения электродвигателя дробилки, показанный на Рис. 10, б.

Полученные результаты экспериментальных исследований сравнили с теоретическими результатами.

Обсуждение результатов.

Для того, чтобы проверить адекватность математической модели, подставим в нее параметры дробилки и образца предохранительного устройства, используемых в экспериментах, и определим, как изменяется напряжение электродвигателя в процессе работы дробилки с предохранительным устройством (Рис. 11, б) и без него (Рис. 11, а).



Сравнение экспериментальных зависимостей (Рис. 11) и теоретических (Рис. 10) подтверждает адекватность математической модели. Эксперимент показал, что максимальная амплитуда динамической нагрузки, действующей на привод дробилки при установке предохранительного устройства, снижена примерно в 6 раз, что подтверждает теоретические результаты.

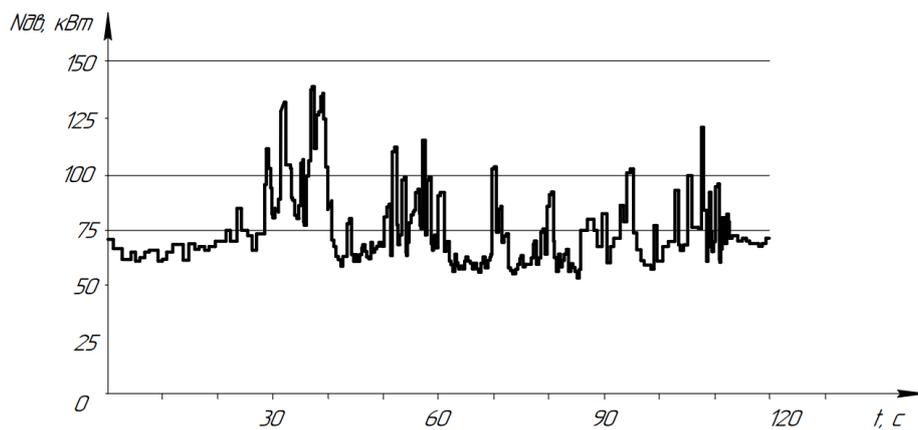
Необходимо отметить, что при перегрузке произошло срабатывание предохранительного гидромеханического устройства, как и предполагалось, защитив привод дробилки. Но при этом дробилка остановилась под завалом, а устройство раскрытия щели не успело сработать, так как предохранительное устройство не допустило воздействие момента, превышающего допустимый. Результаты эксперимента показали, что для эффективной защиты дробилки от недробимых тел и предотвращения остановки дробилки под завалом предохранительное устройство и устройство раскрытия щели должны

работать согласованно. Этого можно достичь, объединив гидравлическую часть двух устройств. Была разработана новая конструкция комбинированного гидромеханического предохранительного устройства и получен патент РФ на изобретение № 2792483 [17].

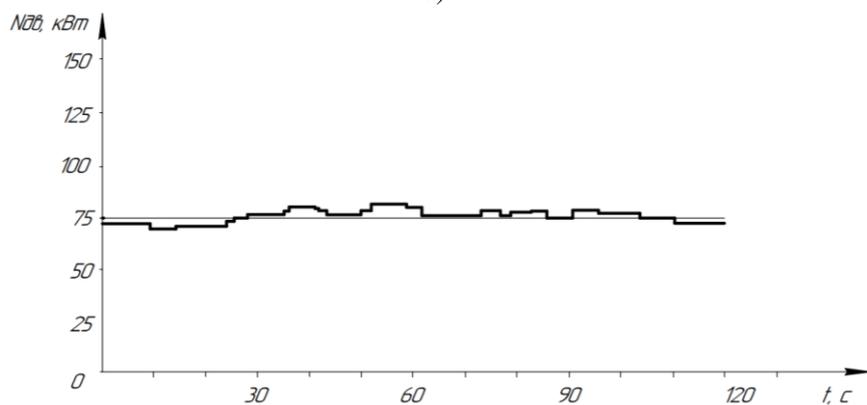
Выводы.

В результате проведения исследований динамики работы гидромеханического предохранительного устройства в приводе конусной дробилки было установлено:

- предохранительное устройство эффективно снижает негативное воздействие кратковременных высокоинтенсивных нагрузок в 6 раз;
- определено рациональное значение начального давления в гидроаккумуляторе предохранительного устройства, равное 70 атмосфер, при котором амплитуда динамических нагрузок, действующих на привод, минимальна;



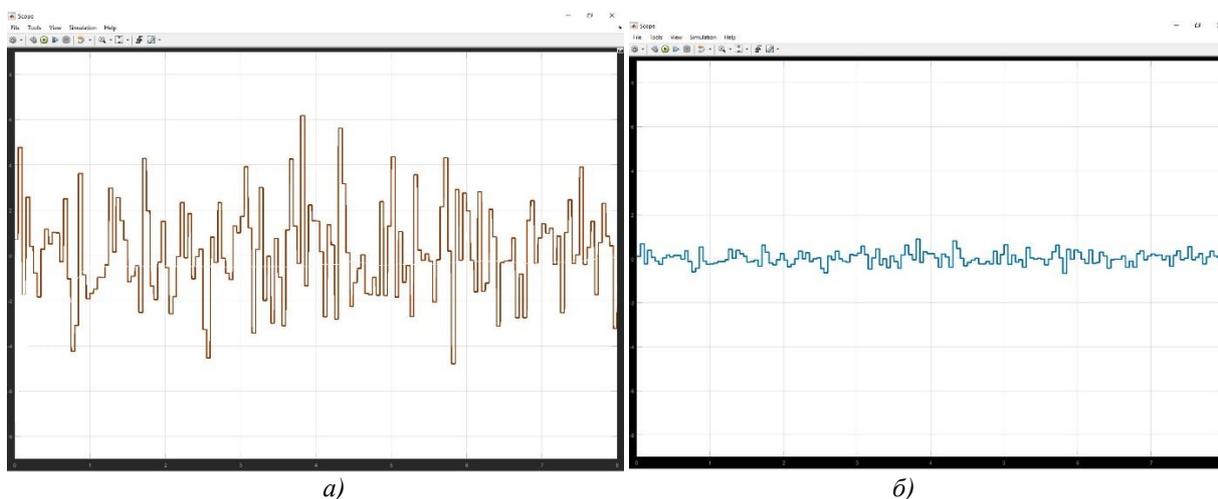
а)



б)

Рис. 10. Экспериментальные графики изменения напряжения в приводе:
а) до установки предохранительного устройства в привод, б) с предохранительным устройством в приводе

Fig. 10. Experimental graphs of voltage change in the drive:
a) before installing the safety device in the drive, b) with the safety device in the drive



а)

б)

Рис. 11. Теоретические графики изменения напряжения в приводе:
а) до установки предохранительного устройства в привод, б) с предохранительным устройством в приводе

Fig. 11. Theoretical graphs of voltage change in the drive:
a) before installing the safety device in the drive, b) with the safety device in the drive

- опытный образец подтверждает работоспособность новой конструкции предохранительного устройства;

- характер полученных в результате опытных испытаний значений тока электродвигателя подтверждает результаты теоретических исследований;

- в процессе экспериментальных исследований выявлен недостаток предохранительного устройства, который устранен в новой конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кубрин С. С. [и др.] Мониторинг горного оборудования на основе анализа баланса энергопотребления в коммутационной аппаратуре электросети горного предприятия // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр : тезисы докладов Международной научной школы академика К. Н. Трубецкого, Москва, 23–27 июня 2014 года. Москва : Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2014. С. 233–237.

2. Лагунова Ю. А. [и др.] Статистический анализ напряженно-деформированного состояния подшипника щековой дробилки // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. № 2(58). С. 161–174. DOI: 10.21440/2307-2091-2020-2-161-174.

3. Muminov R. O. [et al.] Performability of electro-hydro-mechanical rotary head of drill rig in open pit mining: A case-study // Eurasian Mining. 2022. № 1. P. 76–80. DOI: 10.17580/em.2022.01.16.

4. Ибраева Н. Р., Лагунова Ю. А. К вопросу диагностики технического состояния привода конусной дробилки на основе нейронных сетей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 11–1. С. 162–170. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_162.

5. Богданов В. С. [и др.] Оптимизация режимов работы конусной инерционной дробилки // Цемент и его применение. 2017. № 2. С. 107–109.

6. Клушанцев Б. В., Косарев А. И., Муиземек Ю. А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. Москва: Машиностроение, 1990 г. 320 с.

7. Белов Н. В., Бородина М. Б., Смирнова О. А., Часовских А. С. Анализ отказов элементов конусных дробилок и причин их возникновения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 3. С. 17–27.

8. Гончаров А. Б., Тулинов А. Б., Иванов В. А., Гончаров А. А. Технологии восстановления основных узлов конусных дробилок // Ремонт.

Восстановление. Модернизация. 2017. № 1. С. 13–18.

9. Amanov A., Ahn B., Lee M.G., Jeon Y., Pyun Y.-S. Friction and Wear Reduction of Eccentric Journal Bearing Made of Sn-Based Babbitt for Ore Cone Crusher // Materials. 2016. № 9. 950.

10. Артюх В. Г., Корихин Н. В., Чернышева Н. В., Чигарева И. Н. Варианты защиты металлургического оборудования от поломок в условиях импортозамещения и недостаточного финансирования // В сборнике : Металлургия: технологии, инновации, качество. Труды XXII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Под общей редакцией А. Б. Юрьева. Новокузнецк, 2021. С. 225–232.

11. Калянов А. Е., Лагунова Ю. А., Шестаков В. С. Расчет параметров гидрофицированной конусной дробилки // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2017. Т. 16. № 1. С. 73–81.

12. Артюх В. Г., Беляев А. Н. Комплекс предохранительных и амортизирующих устройств для защиты металлургических машин от поломок // Металлургические процессы и оборудование. 2005. № 2 (2). С. 43–47.

13. Патент на изобретение RU 2607493 С Гидромеханическая муфта: Заявка № 2015134792 от 18.08.2015 : опубл. 10.01.2017. / Бородина М. Б., Мироненко С. В., Савин Л. А., Шевченко Б. А.

14. Зельдович Я. Б., Мышкис А. Д. Элементы прикладной математики: учебное пособие. Изд. 5-е, испр. и дополн. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2018. 592 с.

15. Терехин В. В. Моделирование в системе MATLAB: Учебное пособие / Кемеровский государственный университет. Новокузнецк : Кузбассвузиздат, 2004. 376 с.

16. Ширяев В. В. Компьютерные измерительные средства (КИС): Учебное пособие. Томск : Изд. ТПУ, 2008. 190 с.

17. Патент на изобретение RU 2792483 С1 Гидромеханическая муфта: Заявка № 2022129319 от 11.11.2022; опубл. 22.03.2023. / Белов Н. В., Бородина М. Б., Груздова О. А., Часовских А. С.; заявитель, патентообладатель ФГАОУ ВО НИТУ «МИСИС».

© 2024 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Белов Николай Владимирович, аспирант, Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) Университета науки и технологий МИСИС (309516, г. Старый Оскол, мкр. Макаренко, 42), начальник отдела охраны труда и промышленной безопасности дирекции ремонтного комплекса (сокращенно ОТ и ПБ ДПК), Стойленский горно — обогатительный комбинат 309500, Россия ,г. Старый Оскол 4-й пр. Фабричная площадка. ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-0807-4526>, Belov_NV1975@mail.ru

Бородина Марина Борисовна, доцент, к.т.н., Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) Университета науки и технологий МИСИС (309516, г. Старый Оскол, мкр. Макаренко, 42) ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-8401-3267>, borodina_marina@mail.ru

Зотов Василий Владимирович, к.т.н., заведующий кафедрой Горного оборудования, транспорта и машиностроения Университета науки и технологий МИСИС (119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д.4), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8575-2970>, zotov@misis.ru

Лагунова Юлия Андреевна, проф., доктор техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3828-434X>, e-mail: yu.lagunova@mail.ru.

Заявленный вклад авторов:

Белов Николай Владимирович – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Бородина Марина Борисовна – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, сбор и анализ данных.

Зотов Василий Владимирович – формулирование концепции обзора актуальных научных исследований по теме работы, формулирование выводов

Лагунова Юлия Андреевна – структурирование текста статьи, корректировка выводов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-3-14

Nikolay V. Belov^{1,2}, **Marina B. Borodina**², **Vasily V. Zotov**³, **Yuliya A. Lagunova**^{4,5},

¹ JSC “Stoilensky GOK”

² Stary Oskol Technological Institute named after. A.A. Ugarova (branch) of the National Research Technological University “MISiS”

³ MISiS University of Science and Technology

⁴ Ural State Mining University, Ekaterinburg

⁵ Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin

* for correspondence: zotov@misis.ru

RESEARCH OF THE DYNAMICS OF OPERATION OF A HYDROMECHANICAL SAFETY DEVICE IN THE DRIVE OF A CONE CRUSHER

Abstract.

In the modern mining industry, quite complex tasks have been formed, aimed, on the one hand, at increasing the productivity of mining complexes, and on the other hand, at resource conservation in the production process. Crushing equipment operates under high dynamic loads, actively wearing out not only the elements of the mechanism directly involved in crushing, but also the drive elements of the mechanism: shafts, transmission mechanisms, etc. Sudden equipment failures associated with fatigue failures and wear lead to downtime and reduced productivity, and a solution aimed at increasing the power and geometric dimensions of the equipment does not meet the modern direction of resource and energy conservation. Therefore, the development and research of safety elastic-damping devices that reduce the impact of dynamic loads and protect crushing equipment elements from high-amplitude dynamic loads and overloads is a relevant direction in the mining industry. A new hydromechanical device with a toothed differential mechanism has been developed and studied. It has the functions of damping dynamic and impact loads and protecting against sudden overloads of cone crusher elements. Theoretical and experimental studies have shown that the proposed device reduces dynamic loads and protects against overloads, most often associated with the ingress of an uncrushed body into the crushing chamber, much more effectively than known elastic couplings and safety devices. The constructed dependencies allow us to determine the parameters of the safety device, in which the impact of dynamic loads will be minimal. A disadvantage of the new design of the safety device was revealed during experimental studies. A new design of a combined safety de-



Article info

Received:

01 November 2024

Accepted for publication:

15 November 2024

Accepted:

24 November 2024

Published:

12 December 2024

Keywords: cone crusher; drive; safety device; dynamics; failure; study; dynamic loads; prototype; modernization of crushers.

vice has been developed, in which this disadvantage is eliminated.

For citation: Belov N.V., Borodina M.B., Zotov V.V., Lagunova Yu.A. Study of the dynamics of the hydro-mechanical safety device in the drive of a cone crusher. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2024; 6(176):3-14 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-3-14, EDN: AQPYZL

REFERENCES

1. Kubrin S.S. [et al.] Monitoring of mining equipment based on the analysis of the energy consumption balance in the switching equipment of the power grid of a mining enterprise. *Problems and prospects of integrated development and conservation of the earth's interior: abstracts of reports of the International Scientific School of Academician K. N. Trubetskoy*. Moscow, June 23-27, 2014. Moscow: Institute for Integrated Development of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences; 2014. P. 233–237.
2. Lagunova Yu.A. [et al.] Statistical analysis of the stress-strain state of a jaw crusher bearing. *Bulletin of the Ural State Mining University*. 2020. № 2 (58). P. 161–174. DOI: 10.21440/2307-2091-2020-2-161-174.
3. Muminov R.O., Performability of electro-hydro-mechanical rotary head of drill rig in open pit mining: A case-study. *Eurasian Mining*. 2022; 1:76–80. DOI: 10.17580/em.2022.01.16.
4. Ibraeva N.R., Lagunova Yu.A. On the issue of diagnostics of the technical condition of a cone crusher drive based on neural networks. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2021. № 11–1. P. 162–170. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_162.
5. Bogdanov V.S. [et al.] Optimization of operating modes of a cone inertial crusher. *Cement and its application*. 2017. № 2. P. 107–109.
6. Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muizemnek Yu.A. *Crushers. Design, calculation, operating features*. Moscow: Mechanical Engineering; 1990. 320 p.
7. Belov N.V., Borodina M.B., Smirnova O.A., Chasovskikh A.S. Analysis of failures of cone crusher elements and their causes. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2021; 3:17–27.
8. Goncharov A.B., Tulinov A.B., Ivanov V.A., Goncharov A.A. Technologies for restoration of the main units of cone crushers. *Repair. Restoration. Modernization*. 2017; 1:13–18.
9. Amanov A., Ahn B., Lee M.G., Jeon Y., Pyun Y.-S. Friction and Wear Reduction of Eccentric Journal Bearing Made of Sn-Based Babbitt for Ore Cone Crusher. *Materials*. 2016; 9:950.
10. Artyukh V.G., Korikhin N.V., Chernysheva N.V., Chigareva I.N. Options for protecting metallurgical equipment from breakdowns in the context of import substitution and insufficient funding. *In the collection: Metallurgy: technology, innovation, quality. Proceedings of the XXII International scientific and practical conference. In 2 parts*. General editor A.B. Yuriev. Novokuznetsk, 2021. Pp. 225–232.
11. Kalyanov A.E., Lagunova Yu.A., Shestakov V.S. Calculation of the parameters of a hydroficated cone crusher. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and Gas and Mining*. 2017; 16(1):73–81.
12. Artyukh V.G., Belyaev A.N. Complex of safety and shock-absorbing devices for protection of metallurgical machines from breakdowns. *Metallurgical processes and equipment*. 2005; 2 (2):43–47.
13. Patent for invention RU 2607493 C Hydromechanical coupling: Application No. 2015134792 dated 18.08.2015: published. 10.01.2017. / Borodina M.B., Mironenko S.V., Savin L.A., Shevchenko B.A.
14. Zeldovich Ya.B., Myshkis A.D. *Elements of applied mathematics: study guide*. 5th ed., corrected and supplemented. M.: FIZMATLIT; 2018. 592 p.
15. Terekhin V.V. *Modeling in the MATLAB system: Tutorial / Kemerovo State University*. Novokuznetsk: Kuzbassvuzdat; 2004. 376 p.
16. Shiryayev V.V. *Computer measuring instruments (CMI): Tutorial*. Tomsk: TPU Publishing House; 2008. 190 p.
17. Patent for invention RU 2792483 C1 Hydromechanical coupling: Application No. 2022129319 dated 11.11.2022; published. 22.03.2023. / Belov N.V., Borodina M.B., Gruzдова O.A., Chasovskikh A.S.; applicant, patent holder: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education National University of Science and Technology “MISIS”.

© 2024 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Nikolay V. Belov, post-graduate student of the Starooskolsky Technological Institute named after A.A.Ugarov (financial) MISIS University of Science and Technology (309516, Stary Oskol, md. Makarenko, 42), Head of the Department of Occupational Safety and Industrial Safety of the Directorate of the repair complex (abbreviated from and PB DRC), Stoilensky Mining and Processing Plant 309500, Russia, Stary Oskol 4th ave. Factory Square. ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-0807-4526>, Belov_NV1975@mail.ru

Marina B. Borodina, Associate Professor, C. Sc. in Engineering, Starooskolsky Technological Institute named after A.A.Ugarov (branch) MISIS University of Science and Technology (309516, Stary Oskol, md. Makarenko, 42) ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-8401-3267> , borodina_marina@mail.ru

Vasily V. Zotov, C. Sc. in Engineering, Head of the Department of Mining Construction, Transport and Mechanical Engineering of the MISIS University of Science and Technology (4 Leninsky Ave., Moscow, 119991), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8575-2970> , zotov@misis.ru

Yuliya A., Lagunova, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ural State Mining University, (Russia, Yekaterinburg, 620144, Kuibyshev street, 30), Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, (Russia, Yekaterinburg, 620002, Str. Mira, 19), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3828-434X>, yu.lagunova@mail.ru

Contribution of the authors:

Nikolay V. Belov – review of relevant literature, data collection and analysis, conclusions, writing the text.

Marina B. Borodina – setting the research task, scientific management, conceptualization of the study, data collection and analysis.

Vasily V. Zotov – formulation of the concept of the review of current scientific research on the topic of the work, formulation of conclusions

Yuliya A. Lagunova – structuring the text of the article, correction of conclusions.

Authors have read and approved the final manuscript.

