

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В ПРИВОДЕ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ

Белов Н.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», Старый Оскол

Ключевые слова: гидромеханическое предохранительное устройство, дифференциальный передаточный механизм, экспериментальные исследования, дробилка, защита привода, динамические нагрузки.

Аннотация. В статье представлено экспериментальное исследование опытного образца новой конструкции гидромеханического предохранительного устройства с дифференциальным планетарным передаточным механизмом в приводе конусной дробилки среднего и мелкого дробления. Исследуемое предохранительное устройство предназначено для снижения влияния динамических нагрузок на элементы привода дробилки и защиты привода от перегрузки, возникающей при попадании недробимого тела в зону дробления. Для проведения экспериментальных исследований спроектирован и изготовлен опытный образец устройства. Исследования работы опытного образца гидромеханического предохранительного устройства проводились в приводе дробилки КСД-1200 при дроблении щебня. Экспериментальные исследования подтвердили функциональную работоспособность устройства, а результаты экспериментов подтвердили результаты теоретических исследований. В процессе испытаний опытного образца отмечены достоинства и недостатки новой конструкции предохранительного гидромеханического устройства.

EXPERIMENTAL STUDIES OF A HYDROMECHANICAL SAFETY DEVICE IN THE DRIVE OF A CONE CRUSHER

Belov N.V.

Starooskolsky Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) National University of Science and Technology «MISIS», Stary Oskol

Keywords: hydromechanical safety device, differential transmission mechanism, experimental studies, crusher, drive protection, dynamic loads.

Abstract. The article presents an experimental study of a prototype of a new design of a hydromechanical safety device with a differential planetary gear mechanism in the drive of a medium and fine crushing cone crusher. The safety device under study is designed to reduce the influence of dynamic loads on the crusher drive elements and protect the drive from overload that occurs when an uncrushable body enters the crushing zone. To conduct experimental studies, a prototype device was designed and manufactured. Studies of the operation of a prototype hydromechanical safety device were carried out in the drive of the KSD-1200 crusher when crushing crushed stone. Experimental studies confirmed the functional performance of the device, and the experimental results confirmed the results of theoretical studies. During testing of the prototype, the advantages and disadvantages of the new design of the hydromechanical safety device were noted.

Введение. Проблемы ресурсо- и энергосбережения в современном производстве являются актуальными во всём мире. В горнодобывающей промышленности высокая динамичность дробильно-измельчительного оборудования, обусловленная технологическим процессом, приводит к повышенному износу элементов привода [1] и, как следствие, к повышенному ресурсо- и энергопотреблению. Кроме того, случайные отказы дробилок, происходящие по причине попадания недробимого тела в зону дробления, зачастую приводят к остановке всего производственного процесса горно-обогатительного комбината.

Снижение влияния динамических и ударных нагрузок на элементы привода дробилки можно реализовать путём установки в привод упругих элементов [2], а эффективную защиту приводов машин от перегрузок можно обеспечить предохранительными устройствами.

Анализ предохранительных устройств [3] показал, что наибольшими функциональными возможностями обладает гидромеханическое предохранительное устройство с

дифференциальным планетарным механизмом [4]. Но на данный момент работа новой перспективной конструкции предохранительного устройства в приводе дробилки практически не исследована, что является сдерживающим фактором при внедрении в производство.

Проведённые теоретические исследования на разработанной математической модели работы гидромеханического устройства в приводе конусной дробилки [5] показали, что гидромеханическое устройство значительно снижает динамические нагрузки и эффективно защищает привод машины от импульсных нагрузок высокой интенсивности и случайных перегрузок.

Гидромеханическое предохранительное устройство с дифференциальным планетарным передаточным механизмом представляет собой сложный динамический объект, экспериментальных исследований в реальных приводах которого ранее не проводилось. Следовательно, целью экспериментальных исследований является практическая проверка функциональной работоспособности предохранительного гидромеханического устройства с планетарным передаточным механизмом, а также получение зависимостей, необходимых для проверки результатов теоретических исследований устройства.

Материалы и методы исследований. Опытные данные, адекватно отражающие реальные условия эксплуатации предохранительного гидромеханического устройства в приводе конусной дробилки, были получены при проведении опытных испытаний на реально действующем оборудовании дробильно-сортировочной установки – конусной дробилке КСД-1200 на предприятии ООО «ПромМашКомплект» (рис. 1).



Рис. 1. Конусная дробилка КСД-1200

Чтобы оценить возможности установленного предохранительного устройства с гидромеханическим исполнительным механизмом по снижению влияния динамических и ударных нагрузок на привод дробилки, проведём замеры нагрузки на привод дробилки без предохранительного устройства.

Для оценки динамических нагрузок, действующих на вал электродвигателя конусной дробилки, допускается измерить ток электродвигателя, так как его изменение можно считать пропорциональным изменению мощности на валу электродвигателя, а, следовательно, и изменению нагрузки [6]. Регистрацию изменения силы тока двигателя можно проводить регистратором многоканальным технологическим РМТ 69L [7].

Для подключения регистратора, откручиваем одну из трёх фазных жил кабеля, подающего питание на электродвигатель дробилки, и пропускаем её через сердечник трансформатора тока 150/5, вторичную обмотку трансформатора подключаем к преобразователю тока с выходом 0-5 мА, к выходу преобразователя подключаем регистратор (рис. 2).



Рис. 2. Подключение измерительного устройства PMT 69L

Настройка параметров измерительного прибора проводится в диапазоне измерений датчика от 0 до 5 мА таким образом, чтобы максимальное значения датчика 5 мА соответствовало 200 А тока двигателя.

Номинальный ток двигателя АИР 280 М-8Б 01, мощностью 75 кВт, привода конусной дробилки равен 150 А. Следовательно, работа двигателя с током свыше 150 А соответствует перегрузкам.

В рамках проведения работ был спроектирован и изготовлен опытный образец (рис. 3) предохранительного гидромеханического устройства с зубчатым дифференциальным механизмом [4].

Полумуфта вала 1 устройства будет присоединена к полумуфте вала электродвигателя, а полумуфта вала 2 – к полумуфте со стороны приводного вала дробилки, передающего движение на дробящий конус дробилки. Эти полумуфты установлены на валах конического симметричного дифференциала 4, передающих одинаковый крутящий момент. Регулировочный вал 3 связан с валом гидромотор-насоса 5, передающим крутящий момент, величина которого определяется передаточным числом конического дифференциала 4. Гидромотор-насос 5 связан трубопроводами с гидроаккумулятором 6 и через управляемый кран 9 со сливной ёмкостью 7. Кран 9 открывает система управления 10 при достижении определённого давления, регистрируемого датчиком давления 8. В данном опытном образце система управления 10 реализована в виде реле давления. Все элементы устройства закреплены на раме. Принцип действия опытного образца гидромеханического предохранительного устройства с дифференциальным передаточным механизмом подробно описан в литературе [4].

При изготовлении опытного образца гидромеханического предохранительного устройства учитывались основные характеристики дробилки. При проведении проектировочных и проверочных расчётов элементов передаточного механизма [8] устройства учитывался максимальный момент в приводе дробилки, с учётом которого также подбирались элементы гидросистемы [9].

В качестве передаточного устройства выбран дифференциал ведущего моста автомобиля КамАЗ-53215, мощность 225 л.с. при 2200 об/мин, 912 Нм при 1100-1500 об/мин.

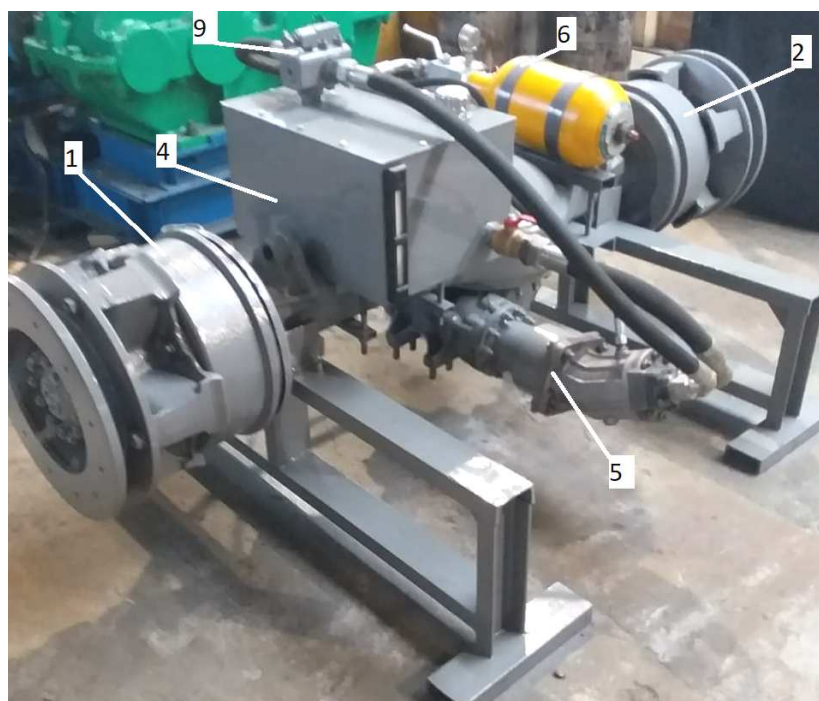
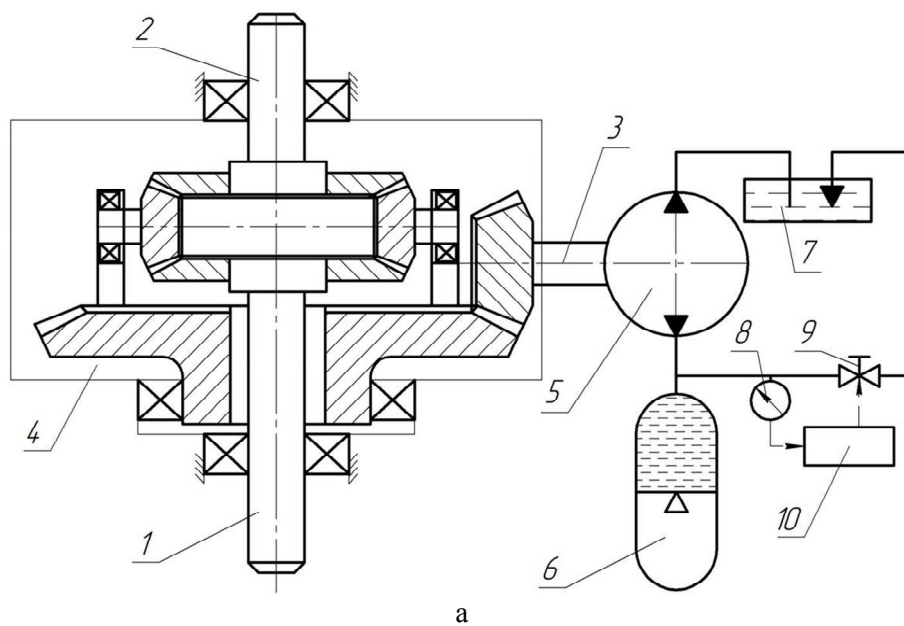


Рис. 3. Опытный образец: а – схема; б – фотография: 1 – ведущий вал, 2 – ведомый вал, 3 – регулировочный вал, 4 – передаточный дифференциальный зубчатый механизм, 5 – гидромашина, 6 – гидроаккумулятор, 7 – сливная ёмкость, 8 – датчик давления, 9 – управляемый кран, 10 – система управления

Анализ существующих типов гидромашин [10] показал, что наиболее подходящим типом гидромотора-насоса для гидромеханического предохранительного устройства с дифференциальным передаточным механизмом является аксиально-плунжерный гидромотор. Он может работать при высоких давлениях и оборотах, у него достаточно высокая надежность и меньшие габариты, чем у радиально-плунжерного гидромотора, а также высокая точность изготовления, что снижает количество утечек рабочей жидкости. Кроме того, аксально-плунжерные машины могут работать как в режиме мотора, так и в режиме насоса в широком диапазоне частот вращения, в отличие, например от более доступных шестерёнчатых гидромоторов. В гидросистему установлен аксиально-плунжерный гидромотор 3102.112.

Предохранительное устройство установлено в привод конусной дробилки между электродвигателем и упругой муфтой с торообразной оболочкой (рис. 4). Принято решение упругую муфту не убирать, чтобы на изменение результатов измерений динамической нагрузки на привод влияла только установка предохранительного устройства.



Рис. 4. Установка опытного образца в привод дробилки

Для испытания работы опытного образца провели 2 запуска конусной дробилки без нагрузки, которые подтвердили функциональную работоспособность технической системы. Далее были проведены испытания опытного образца под нагрузкой и перегрузкой привода и сняты показания колебаний тока электродвигателя. После чего производилась вычисление средних значений исследуемых параметров в соответствии с рекомендациями [11].

Для достижения достоверности результатов исследований при исследовании работы привода без предохранительного устройства и с ним проведён помол щебня фракции 0-80 мм одной партии.

Результаты. Предварительные результаты исследования работы привода при дроблении щебня без предохранительного устройства в приводе показали, что периодически в процессе дробления возникали кратковременные нагрузки, при которых ток электродвигателя достигал, а иногда и превышал 150 А, что говорит о кратковременных перегрузках двигателя.

При проведении экспериментов сняты показания тока и при помощи тарифовочного графика построен график (рис. 5) изменения мощности электродвигателя дробилки ($N_{дв}$, кВт) в течение времени (t , с) до установки предохранительного устройства.

Так как время перегрузок очень мало (порядка 1-3 секунд), то такие перегрузки допустимы в процессе дробления, но при этом значительно быстрее изнашиваются элементы привода и сам электродвигатель, что может привести техническую систему к внезапному выходу из строя.

Результаты экспериментальных исследований с установленным в привод предохранительным устройством показали, что при установке опытного образца гидромеханического предохранительного устройства в процессе дробления максимальные кратковременные нагрузки значительно снизились, что видно из изменившегося графика потребляемой мощности электродвигателя (рис. 6), мощность двигателя ($N_{дв}$, кВт) ни разу не превысила допустимые значения за всё время работы (t , с). Что говорит о защите устройством привода от кратковременных перегрузок.

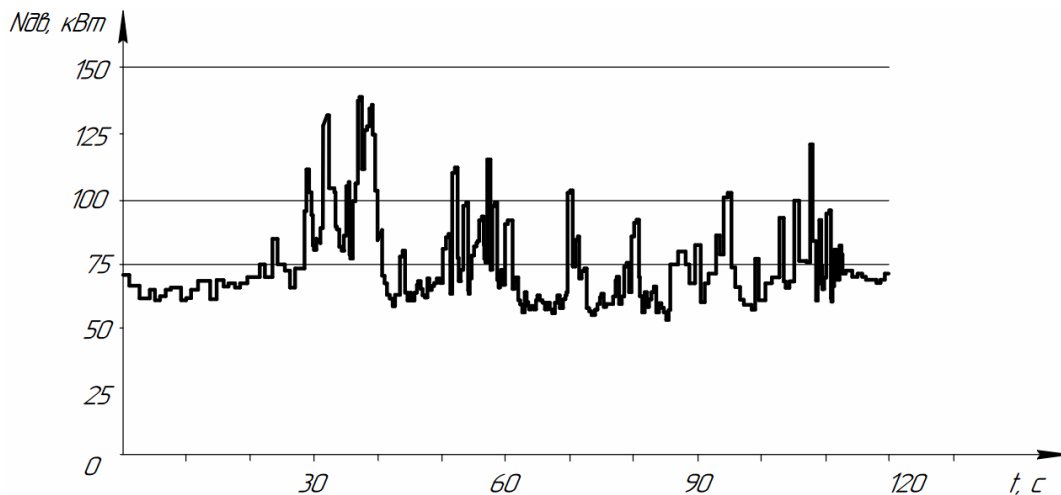


Рис. 5. График изменения мощности электродвигателя при дроблении материала без установленного предохранительного устройства

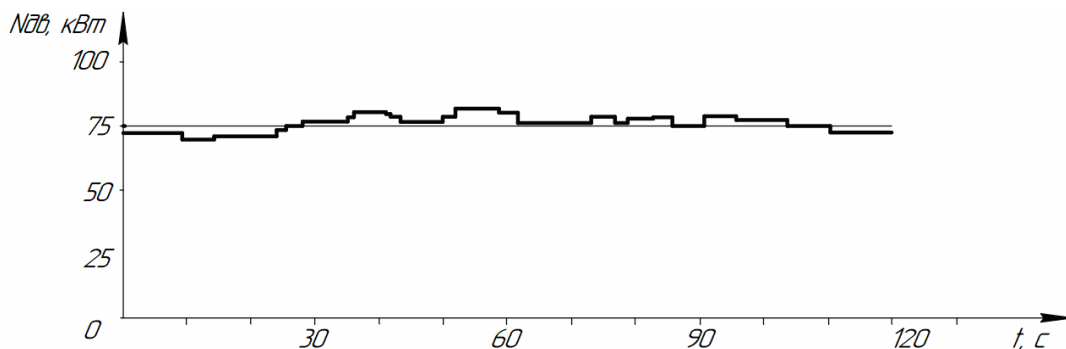


Рис. 6. График изменения напряжения электродвигателя с установленным предохранительным устройством

При пуске привода было отмечено, что разгон ведомого вала проходил плавно, показывая податливость устройства и его возможности плавного пуска. При перегрузке привода предохранительное устройство сработало, защитив привод от перегрузки. После снятия нагрузки, устройство восстановилось автоматически, и было готово к дальнейшему использованию. Это говорит о функциональной работоспособности гидромеханического предохранительного устройства с дифференциальным передаточным механизмом на всех этапах работы: пуск, холостой ход, режим дробления, режим перегрузки и срабатывания устройства, режим снятия нагрузки после срабатывания и восстановление.

По изменению потребляемой мощности можно оценить характер нагрузки, действующей на привод дробилки (рис. 3 и 6). Опытные испытания показали снижение динамических нагрузок при установке гидромеханического предохранительного устройства в привод дробилки в среднем в 6 раз.

Для сравнения результатов экспериментальных и теоретических исследований построим теоретический график изменения мощности электродвигателя (рис. 7), подставив в математическую модель нагрузки, имитирующие дробление материала, параметры конусной дробилки, на которой проходили испытания, и опытного образца предохранительного устройства.

На данном этапе сравнили характер изменений значений мощности электродвигателя до и после установки предохранительного устройства, полученных в результате теоретических (рис. 7) и экспериментальных (рис. 3 и 6) исследований. Сравнение этих зависимостей подтверждает адекватность математической модели.

Но при опытных испытаниях был выявлен один недостаток. При перегрузке предохранительное устройство плавно повышает момент до срабатывания, а устройство регулирования щели не успевает увеличивать разгрузочную щель, и дробилка

останавливается под завалом. Для того, чтобы исключить этот недостаток, необходимо разработать комбинированное гидромеханическое предохранительное устройство, в котором работа предложенного устройства и устройства регулирования щели будут работать согласованно.

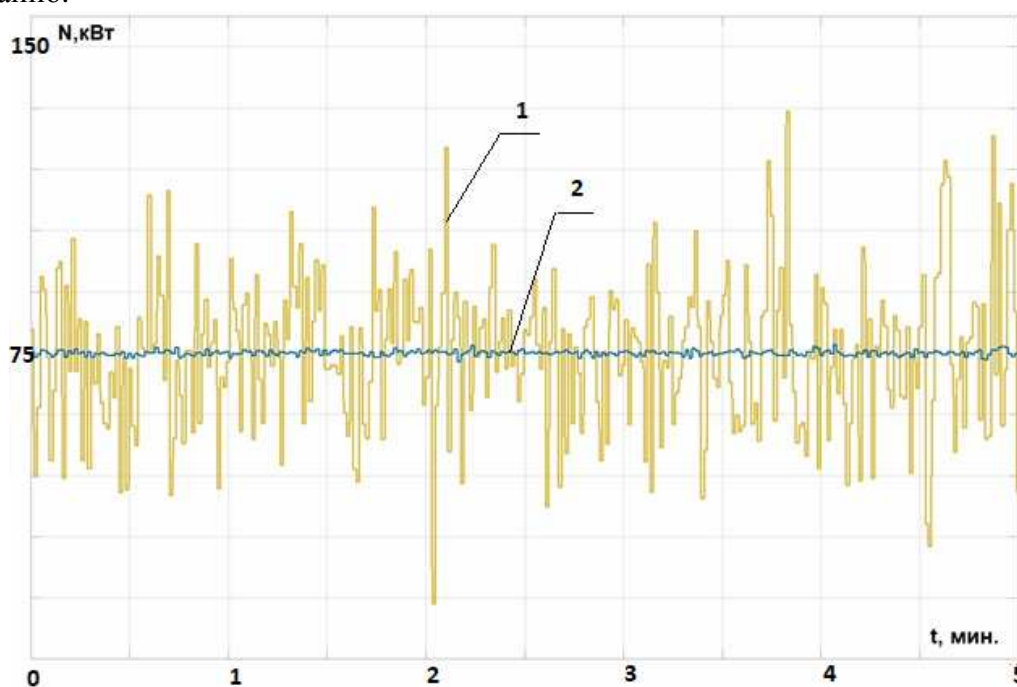


Рис. 7. Теоретические графики изменения мощности двигателя дробилки: 1 – без предохранительного устройства; 2 – с предохранительным устройством в приводе

Выводы. В результате проведения опытных испытаний было установлено:

- испытания опытного образца подтверждают работоспособность новой конструкции гидромеханического предохранительного устройства;

- предохранительное устройство эффективно снижает амплитуду кратковременных высокоинтенсивных нагрузок (крутящего момента), при теоретических и опытных испытаниях амплитудные значения потребляемой электродвигателем мощности снижается, в среднем, в 6 раз по отношению к приводу без предохранительного устройства;

- графики значений мощности электродвигателя, полученные в результате теоретических исследований и опытных испытаний, подтверждают адекватность математической модели и теоретических исследований;

- при перегрузке предохранительное устройство плавно повышает момент до срабатывания, при этом устройство регулирования щели не успевает увеличивать разгрузочную щель, и дробилка останавливается под завалом. Для того, чтобы исключить этот недостаток, необходимо разработать комбинированное гидромеханическое предохранительное устройство, в котором работа предложенного устройства и устройства регулирования щели будут работать согласованно.

Список литературы

1. 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. – 2021. – № 3. – С. 17-27. – doi.org/10.25018/0236-1493-2021-3-0-17-27.
2. Артюх В.Г. Основы защиты металлургических машин от поломок. – Мариуполь: Издат. группа «Университет», 2015. – 288 с.
3. Смирнова О.А., Бородина М.Б. Защита привода конусной дробилки от воздействия ударных нагрузок // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: Сборник материалов Пятнадцатой Всероссийской научно-практической конференции. – Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСИС», 2018. – С. 269-274.
4. Патент №2607493 РФ. Гидромеханическая муфта / М.Б. Бородина, С.В. Мироненко, Л.А. Савин, Б.А. Шевченко. – Заявка №2015134792 от 18.08.2015; опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1.

5. Белов Н.В., Бородина М.Б., Груздова О.А. Моделирование предохранительного устройства конусной дробилки // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: Материалы Девятнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСИС», 2023. – С. 199-209.
6. Иванов И.И., Соловьев Г.И., Фролов В.Я. Электротехника и основы электроники: 7-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012. – 736 с.
7. Ширяев В.В. Компьютерные измерительные средства (КИС): Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 190 с.
8. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб. пособие для техн. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 2000. – 447 с.
9. Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А. Гидравлика и гидропривод: Учебник. Ч. 2. Гидравлические машины и гидропневмопривод. – М.: МГИУ, 2005. – 352 с.
10. Белов Н.В. Обоснование выбора типа гидромашин для предохранительного устройства конусной дробилки // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Материалы Девятнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСИС», 2023. – С. 210-215.
11. Тихонов А.М., Уфимцев М.В. Статистическая обработка результатов экспериментов: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. – 174 с.

References

1. Belov N.V., Borodina M.B., Smirnova O.A., Chasovskikh A.S. Analysis of failures of cone crusher elements and their causes // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2021, no. 3, pp. 17-27. doi.org/10.25018/0236-1493-2021-3-0-17-27.
2. Artyukh V. G. Fundamentals of protection of metallurgical machines from breakdowns. – Mariupol: Publ. group "University", 2015. – 288 p.
3. Smirnova O.A., Borodina M.B. Protection of the cone crusher drive from the impact of shock loads // Modern problems of mining and metallurgical complex. Science and production: Collection of materials of the Fifteenth All-Russian Scientific and Practical Conference. – Stary Oskol: STI NUST MISIS, 2018. – P. 269-274.
4. Patent No. 2607493 RU. Hydromechanical coupling / M.B. Borodina, S.V. Mironenko, L.A. Savin, B.A. Shevchenko. – Appl. No. 2015134792 from 18.08.2015; publ. 10.01.2017, Bul. No. 1.
5. Belov N.V., Borodina M.B., Gruzдова O.A. Modeling of a cone crusher safety device // Modern problems of the mining and metallurgical complex. Science and production: Materials of the nineteenth All-Russian scientific and practical conference with international participation. – Stary Oskol: STI NUST "MISIS", 2023. – P. 199-209.
6. Ivanov I.I., Solovyov G.I., Frolov V.Ya. Electrical engineering and fundamentals of electronics: 7th ed., revised. and additional. – SPb.: Lan Publ. house, 2012. – 736 p.
7. Shiryaev V.V. Computer measuring instruments (CIS): Textbook. – Tomsk: Publ. house TPU, 2008. – 190 p.
8. Dunaev P.F., Lelikov O.P. Design of units and machine parts: Textbook. manual for technicians specialist. universities – M.: Higher school, 2000. – 447 p.
9. Lepeshkin A.V., Mikhailin A.A., Sheipak A.A. Hydraulics and hydraulic drive: Textbook. Part 2. Hydraulic machines and hydraulic pneumatic drive. – M.: MGIU, 2005. – 352 p.
10. Belov N.V. Justification for choosing the type of hydraulic machine for the safety device of a cone crusher // Modern problems of the mining and metallurgical complex. Science and production. Materials of the nineteenth All-Russian scientific and practical conference with international participation. – Stary Oskol: STI NUST "MISIS", 2023. – P. 210-215.
11. Tikhonov A.M., Ufimtsev M.V. Statistical processing of experimental results: Textbook. Benefit. – M.: Publ. house Mosc. un-ty, 1988. – 174 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Белов Николай Владимирович – аспирант	Belov Nikolay Vladimirovich – postgraduate student
belov_nv1975@mail.ru	

Получена 27.11.2023