

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (УГГУ)  
620144, Свердловская обл., г. Екатеринбург,  
ул. Куйбышева, д.30.  
тел.: +7 (343) 257-25-47. Факс: 8(343) 257-25-47  
E-mail: office@ursmu.ru; http://www.ursmu.ru  
ОКПО 02069237 ОГРН 1036603993777  
ИНН / КПП 6661001004 / 667101001

29.11.2024 № 03-01/25-189

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,  
д-р физ-мат. наук  
федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Уральский государственный горный  
университет» (УГГУ)

Д.В. Заичев  
«29» \_\_\_\_\_ 2024 год



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Уральский государственный  
горный университет» на диссертационную работу  
Белова Николая Владимировича «Обоснование рациональных  
параметров гидромеханического предохранительного устройства  
привода конусной дробилки», представленную на соискание  
учёной степени кандидата технических наук по специальности  
2.8.8 «Геотехнология, горные машины»

### Актуальность темы диссертационного исследования

В процессе эксплуатации приводы тяжело нагруженных машин горно-обогатительного оборудования испытывают воздействие переменных нагрузок высокой интенсивности, вплоть до ударно-импульсных, что обусловлено особенностью технологических процессов. В дробилках первой стадии дробления возникают случайные нагрузки, превышающие допустимые значения, обусловленные попаданием недробимого тела в камеру дробления или слишком крупных кусков руды, которые выводят привод из строя. Но ударные процессы, возникающие при дроблении материала неравномерного гранулометрического состава, генерируют также случайные перегрузки, которые носят кратковременный характер, что приводит к недопустимо частым срабатываниям предохранительных устройств. Кроме того, интенсивные колебания нагрузки вызывают разрушение деталей привода в результате усталостных и статических разрушений.

Особенностью горнодобывающей промышленности является поточность производства. Поэтому выход из строя одного из участков производственной линии зачастую приводит к остановке всего производственного процесса. Внеплановый ремонт элементов дробилок часто является причиной остановки всего технологического процесса и



влияет на объём производства, а, следовательно, и на прибыльность предприятия, так как дальнейшие стадии производства рудного концентрата снабжаются рудной породой, измельчённой дробилками. Следовательно, снижение воздействия динамических нагрузок на элементы горного оборудования приводит к высокопроизводительной и надёжной работе всего горного предприятия и является актуальной задачей.

Одним из перспективных направлений развития предохранительных устройств является использование гидропривода. Но широкому внедрению конструкций предохранительных устройств, использующих гидравлический исполнительный механизм, препятствуют в основном два фактора – сложность конструкций и отсутствие опыта эксплуатации.

Повышение эффективности защиты элементов конусной дробилки от динамических нагрузок и перегрузок путем обоснования рациональных параметров нового гидромеханического предохранительного устройства с дифференциальным передаточным механизмом является актуальной задачей.

### **Структура и основное содержание диссертационной работы**

На отзыв представлена диссертационная работа, состоящая из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 108 наименований и шести приложений. Работа изложена на 138 страницах, включает 5 таблиц и 61 рисунок. На отзыв также представлен автореферат на 20 страницах машинописного текста.

Во введении дано обоснование актуальности работы, сформулированы цель и задачи научного исследования, отмечена степень проработанности темы исследования, представлены положения, выносимые на защиту, и практическая значимость работы.

В первой главе представлены исследования статистики отказов элементов конусных дробилок и нагрузок, действующих на эти элементы. На основании данных, полученных при исследовании конусных дробилок крупного, среднего и мелкого дробления разработана классификационная схема отказов элементов дробилки. Проведён анализ известных технических решений, который выявил перспективную конструкцию предохранительного устройства для защиты привода конусной дробилки от динамических нагрузок и перегрузок – гидромеханическое предохранительное устройство с дифференциальным зубчатым передаточным механизмом с высокой нелинейной податливостью, величину которой можно регулировать даже в процессе работы привода дробилки. Обозначена важность исследования новых схем и конструкций гидромеханических предохранительных устройств, отвечающих требованиям защиты конусных дробилок, дано обоснование цели и задач диссертационного исследования.

Во второй главе представлена конструкция и принцип работы исследуемого предохранительного устройства. На основе статистических данных смоделированы нагрузки, действующие на привод конусной дробилки в процессе её работы. Разработана математическая модель динамики работы привода конусной дробилки с гидромеханическим



предохранительным устройством, базирующаяся на совместных дифференциальных уравнениях динамики передаточного механизма устройства и зависимостей, описывающих механическую характеристику электродвигателя, гидромеханику работы обрабатываемого гидромотора и гидропневмодемпера с учётом сопротивления жидкости в гидросистеме, динамические нагрузки в конусной дробилки, приведённые к валу привода; позволяющая определить закономерности динамики работы привода дробилки при разных конструктивных и начальных параметрах устройства. Так как полученная математическая модель является системой нелинейных неоднородных дифференциальных уравнений второго порядка, содержит уравнения, описывающие электромагнитные процессы, происходящие в асинхронном электродвигателе и процессы, происходящие в гидравлической системе, то такую систему уравнений целесообразно решать численными методами, моделируя процесс работы дробилки с гидромеханическим предохранительным устройством в Matlab Simulink. В результате проведения теоретических исследований динамики работы предохранительного устройства в приводе конусной дробилки:

- построены зависимости, позволяющие определить и обосновать рациональный параметр – начальное давление в гидропнеumoаккумуляторе;
- определено рациональное значение начального давления в гидроаккумуляторе, при котором амплитуда момента, воздействующего на вал электродвигателя, является минимальной, равно 70 атм.;
- установлено, что изменение частоты серии кратковременных нагрузок ( $0,25 \dots 1 \text{ с}^{-1}$ ) практически не влияет на рациональное значение начального давления в гидроаккумуляторе, только незначительно изменяет амплитуду действующей динамической нагрузки;
- установлено, что изменение амплитуды кратковременной нагрузки (при одинаковой длительности её воздействия), действующей со стороны конусной дробилки, практически не влияет на амплитуду момента, приходящего на вал электродвигателя. Так как нагрузки, действующие в дробилке, являются кратковременными, иногда величиной, превышающей номинальную в два раза и более, то такое свойство предохранительного устройства очень важно;
- установлено, что предложенное устройство способно демпфировать высокоинтенсивные нагрузки на исполнительном органе механизма, снижая их амплитуду в 6 раз, а также защищать привод при кратковременных перегрузках.

В третьей главе представлены задачи, методика и результаты проведённых автором экспериментальных исследований, на основании которых было установлено:

- опытный образец подтверждает работоспособность новой конструкции муфты;
- предохранительное устройство эффективно снижает негативное воздействие кратковременных высокоинтенсивных нагрузок в среднем в 6 раз (теоретически действие пиковых нагрузок на привод дробилки КСД-1200 с исследуемым устройством снижается в среднем в 6 раз по отношению к



приводе без него);

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

В четвертой главе диссертации разработаны рекомендации по расчету рациональных параметров и проектированию гидромеханических предохранительных устройств в приводе дробилки. Обоснован выбор типа гидромашины в гидросистеме предохранительного устройства. Разработана новая конструкция комбинированного предохранительного устройства, в которой устранены недостатки исследуемой конструкции, выявленные в результате экспериментальных исследований.

### **Научная новизна и достоверность результатов исследования**

Научная новизна работы состоит в разработке математической модели привода конусной дробилки с гидромеханическим предохранительным устройством защиты привода от воздействия пиковых динамических нагрузок, исследовании и обосновании его рациональных параметров.

Достоверность, содержащихся в диссертации Белова Николая Владимировича научных положений, выводов и рекомендаций, подтверждается статистической информацией, фундаментальными положениями теоретической механики и гидравлики, дифференциального и интегрального исчисления, использованием при расчетах сертифицированных программ, экспериментальных данных, подтверждающих теоретические исследования с применением поверенного измерительного оборудования.

**Научное значение** работы состоит в разработке методики, позволяющей рассчитать рациональные параметры гидромеханического предохранительного устройства привода конусной дробилки, и осуществлять настройку гидросистемы в соответствии с требованиями условий эксплуатации.

На основе проведенных исследований доказано, что:

- для дробилки КСД-1200 рациональное значение начального давления в гидроаккумуляторе равно 7 МПа, при этом амплитуда момента, действующего непосредственно на вал электродвигателя, является минимальной;

- частота кратковременных нагрузок и её изменение в интервале от 0,25 до 1 Гц незначительно меняет амплитуду динамической нагрузки, действующей на привод и не влияет на рациональное значение начального давления в гидроаккумуляторе, а изменение амплитуды кратковременной нагрузки (при одинаковой длительности её воздействия, действующей со стороны конусной дробилки), практически не влияет на амплитуду момента на валу электродвигателя;

- полученные в результате теоретических и экспериментальных исследований амплитудные значения потребляемой электродвигателем мощности снижаются примерно в 6 раз по отношению к приводе без предохранительного устройства.



## **Практическая значимость и реализация результатов диссертации**

Практическую ценность работы представляют разработанные рекомендации расчета параметров гидромеханического предохранительного устройства с дифференциальным зубчатым передаточным механизмом в приводе конусной дробилки, позволяющие определять его конструктивные параметры и обеспечивать эффективную защиту элементов привода. По этим рекомендациям разработан, изготовлен, испытан и внедрен в работу дробилки КСД-1200 на предприятии ООО «ПромМашКомплект» опытный образец конструкции гидромеханического предохранительного устройства с дифференциальным зубчатым передаточным механизмом в приводе конусной дробилки, увеличивающий эффективность защиты элементов привода и способный самовосстанавливаться после срабатывания в процессе передачи больших крутящих моментов, а также с возможностью регулирования параметров при работе привода дробилки. Выявленные в результате экспериментальных исследований опытного образца недостатки предохранительного устройства устранены при разработке новой конструкции, по которой получен патент РФ на изобретение № 2792483 от 23 марта 2023 г.

## **Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведённых в диссертации**

В работе получен ряд новых результатов, которые представляют интерес для профильных специалистов, научных организаций и производственных предприятий, специализирующихся в области проектирования, изготовления и ремонта конусных дробилок и их приводов. Результаты теоретических и экспериментальных исследований динамики работы гидромеханического предохранительного устройства с зубчатым дифференциальным передаточным механизмом в приводе конусной дробилки, определенные и обоснованные параметры устройства, при которых амплитуда динамических нагрузок минимальна, а также новые технические решения по усовершенствованию защиты приводов конусных дробилок могут быть рекомендованы для использования в таких организациях как ПАО «Уралмашзавод» (г. Екатеринбург), ООО «Завод дробильного оборудования «Тульские машины» (г. Тула), ООО «Завод ГорЦемМаш» (г.Орск, Оренбургская обл.), ЗАО «ДробМаш» (г.Выкса, Нижегородская обл.), ООО «Малиновский РМЗ» (д. Малиновка, Тульская обл.), ООО «Канашский машиностроительный завод дробильно-сортировочного оборудования» (г. Канаш, Чувашская республика), НПК «Механобр-техника» (г.Санкт-Петербург), и др.

## **Значимость полученных автором результатов для развития геотехники (горных машин)**

Полученные в работе результаты содержат научные знания, открывающие возможность проектирования эффективных средств защиты приводов конусных дробилок, что имеет важное научно-практическое значение для горнодобывающей промышленности.



Результаты диссертационной работы представлены в 17 научных трудах, в том числе 1 статья в журнале, индексируемом в базе данных Scopus, 5 – в изданиях, входящих в перечень, рекомендованный ВАК при Минобрнауки РФ, из которых 2 – патенты РФ на изобретения.

Основные положения и результаты работы докладывались на международном научном симпозиуме «Неделя горняка» в 2020 г. (г. Москва, НИТУ МИСИС), всероссийских и международных научно-практических конференциях.

### **Соответствие автореферата содержанию диссертации**

В автореферате изложены основные идеи и выводы диссертации, показан вклад автора в проведённые исследования, новизна и практическая значимость результатов диссертационной работы. Содержание автореферата полностью отражает основные положения диссертации.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Стр. 48. Приведено описание гидромеханического предохранительного устройства с управляемыми элементами гидросистемы, указано, что «При падении величины момента на ведомом валу 2, гидромашина 5 начинает работать как мотор. При этом моменты регулировочного вала 3 и ведущего вала 1 суммируются и передаются на ведомый вал 2». Необходимо пояснить, для чего суммировать моменты, если произошло уменьшение момента на выходном валу. Кроме того, не приведен расчет данных насоса и аккумулятора, при работе для «дополнения» момента они должны быть большой мощности и объема. Достаточно ли будет значений, указанных в табл. 2.1?
2. Стр. 51. Нет описания, как определен момент инерции дробящего конуса. Конус совершает колебательные движения относительно точки подвеса, а не вращается со скоростью конического колеса.
3. Из описания схемы, приведенной на рисунке 1.20, не понятно, какой используется тип датчика (поз. 17) и, какая аппаратура (поз. 12) применяется для управления гидравлической системой?
4. Стр. 55. Нет описания, как выполнены замеры мощности для графиков по рис. 2.3. Учитывая большую инерционность конуса должно быть «сглаживание» частоты и амплитуды момента на валу привода. Мощность – это расчетная величина, для пересчета в момент (ток) должен быть показан также график скорости.
5. При проведении экспериментальных исследований автор все время оперирует мощностью, хотя идут замеры тока и для анализа его также можно использовать, потому что момент на валу пропорционален току.
6. Необходимо пояснить, приведенные на рис. 3.12, результаты замера тока. Чем вызваны такие пики тока? Число качаний конуса 260 в минуту, или 4 в секунду. Время дробления куска можно принять равным времени приближения конуса к чаше, т.е. примерно 0,13 с, а на графике пик порядка 5 с.



7. Не понятен график 3.13, из-за быстротечности процесса дробления должно быть мгновенное отключение стопорения солнечного колеса дифференциала, но присутствует инерционность системы, как объяснить такое отличие графиков?

8. Из пункта 4.5. не понятно, как и за счет чего достигается взаимосвязь работы предохранительного гидромеханического устройства, и системы защиты от недробимых тел по времени разгрузки дробилки?

9. В тексте диссертации встречаются опечатки.

В целом, указанные замечания не снижают ценность диссертационной работы Белова Николая Владимировича, имеющей научную новизну и практическую значимость в области разработки и исследования гидромеханических предохранительных устройств, способствующих повышению эффективности защиты приводов горных машин и оборудования. Работа хорошо оформлена, изложена грамотным техническим языком.

### **Заключение**

Диссертационная работа «Обоснование рациональных параметров гидромеханического предохранительного устройства привода конусной дробилки» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований определены научно обоснованные рациональные параметры гидромеханического предохранительного устройства с дифференциальным передаточным механизмом, способного эффективно защищать элементы привода конусной дробилки от динамических нагрузок и перегрузок, вызванных попаданием недробимого тела в зону дробления, что имеет важное значение для горнодобывающей промышленности.

Диссертационная работа по актуальности поставленных задач, научной новизне, объему, уровню опубликованных работ, практической и научной значимости, достоверности полученных результатов и степени обоснованности выводов соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., ред. от 26.09.2022 г.), отвечает квалификационным требованиям п. 2 «Положения о порядке присуждения учёных степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСИС», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.8.8 «Геотехнология, горные машины», а её автор – Белов Николай Владимирович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8 «Геотехнология, горные машины».

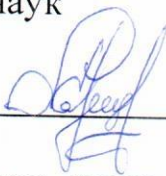
Отзыв ведущей организации по диссертационной работе Белова Николая Владимировича обсуждён и утверждён на заседании кафедры горных машин и комплексов Федерального государственного бюджетного



образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный горный университет» (протокол № 3 от 27 ноября 2024 г.).

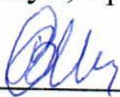
Отзыв подготовили:

Доцент кафедры горных машин и комплексов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный горный университет» (УГГУ), кандидат технических наук



Калянов Александр Евгеньевич

Профессор кафедры горных машин и комплексов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный горный университет» (УГГУ), кандидат технических наук, профессор



Шестаков Виктор Степанович

Заведующая кафедрой горных машин и комплексов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный горный университет» (УГГУ), доктор технических наук, профессор



Лагунова Юлия Андреевна

Подписи А.Е. Калянова, В.С. Шестакова и Ю.А. Лагуновой заверяю:

Начальник ОК Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный горный университет» (УГГУ)



Сабанова Татьяна Борисовна

