

О Т З Ы В

официального оппонента

кандидата технических наук, доцента Гришина Игоря Анатольевича на диссертацию Корогодина Артура Сергеевича на тему: «Повышение межремонтного ресурса и ремонтной технологичности подшипниковых узлов барабанной мельницы без демон- тажа цапф на месте эксплуатации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины

На отзыв представлена диссертация, состоящая из оглавления, введения, четырех глав с выводами, заключения, списка литературы и трех приложений. Работа изложена на 163 страницах машинописного текста, включающего 49 рисунков, 7 таблиц, 122 литературных источника. Работа структурирована. Структура работы отвечает целям и задачам исследо- вания.

1. Актуальность темы диссертации

Актуальность исследования определяется возросшим темпом освоения труднообо- гатимых месторождений, требующих тонкого и особо тонкого измельчения руд в процес- се их переработки. В настоящее время на процессы измельчения приходится до 50-70% всех энергозатрат на обогатительных фабриках. Из-за особенностей структуры минераль- ных комплексов крупность измельченного продукта зачастую составляет 80-90% класса – 20 мкм.

Освоение новых месторождений, находящихся в труднодоступных местах, аркти- ческой зоне, также предполагает создание новых модульных комплексов и модернизации существующего оборудования.

Барабанные мельницы, являясь основным оборудованием измельчения, работают в условиях высоких динамических нагрузок, что приводит к интенсивному износу опорных подшипников скольжения. При этом традиционные методы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) подшипниковых узлов становятся неэффективными.

Специфика эксплуатации мельниц в ограниченном пространстве обогатительных модульных комплексов исключает возможность полноценного демонтажа оборудования. Это создаёт необходимость разработки специальных методов ТОиР, которые позволили бы повысить межремонтный ресурс и технологичность ремонта подшипниковых узлов непосредственно на месте эксплуатации.

Диссертационная работа Корогодина А.С. предлагает решение данной задачи через внедрение превентивной диагностики и разработку методов ремонта без демонтажа обо- рудования, что отвечает современным требованиям горнодобывающей отрасли и способ- ствует повышению эффективности работы горно-обогатительных предприятий.

2. Научная новизна диссертации

Диссертационная работа Корогодина А.С. обладает признаками научной новизны.

Научная новизна исследования заключается в установлении функциональных зави- симостей величины нагрева и интенсивности роста температуры в опорных баббитовых гидростатических подшипниках скольжения барабанной мельницы при отклонении фор- мы поверхностей цапф от первоначальной и величины влияния этих отклонений на меж- ремонтный ресурс подшипникового узла.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-431 от 10.09.25
АУ УС

Новым научным результатом также является обоснованные предупредительные и предельные границы контрольной карты Шухарта, позволяющие оценивать техническое состояние подшипников барабанной мельницы по величине нагрева и интенсивности роста температуры в узлах в режиме реального времени.

Таким образом, диссертация вносит существенный вклад в прогнозирование, организацию и планирование сроков ТОиР на обогатительных фабриках.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность результатов исследования подтверждается комплексным подходом к работе, включающим современные методы экспериментальных исследований и статистической обработки данных. Статистическая значимость полученных результатов обеспечена репрезентативным объемом выборки и воспроизводимостью результатов экспериментов.

Методики проведения экспериментов соответствуют государственным стандартам, а полученные результаты подтверждены многократной проверкой. Использование современного измерительного оборудования обеспечило высокую точность полученных результатов.

В целом доказываемые научные положения аргументированы, достоверны, подтверждены результатами собственных исследований.

Основные положения и результаты исследований были представлены на ряде конференций, таких как: Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности»; Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования»; Международная научно-практическая конференция «Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте»; Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» и т.д.

4. Научные результаты, их ценность

Установлено, что величина нагрева и интенсивность роста температуры в подшипниковых узлах являются индикатором их межремонтного ресурса и уровня технического состояния. При эксплуатации подшипниковых узлов в системе мощностью 20 МВт, работающих при удельной нагрузке 3,3 МПа в комплекте с цапфами, допуск полного радиального биения поверхностей которых составляет 0,011-0,027 мм (3-7 % от толщины масляного слоя 0,41 мм), температура в узлах не превышает 60 °С, что обеспечивает штатный режим эксплуатации подшипников с вероятностью безотказной работы 90 % в течение межремонтного ресурса в 10000 ч.

При эксплуатации подшипниковых узлов в аналогичных условиях с цапфами, имеющими допуск полного радиального биения 0,083 мм (20 % от толщины масляного слоя 0,41 мм) наблюдается предотказный режим работы, который характеризуется повышением нагрева узла до 84 °С и снижением межремонтного ресурса, что подтверждено испытаниями: у 2 из 8 образцов после 5000 ч наработки зафиксировано зарождение усталостного выкрашивания баббитового слоя вкладышей в зоне максимальных контактных напряжений.

Таким образом, эксплуатация опорных баббитовых гидростатических подшипников скольжения барабанной мельницы при удельной нагрузке 3,3 МПа и температуре 84 °С в узлах сопровождается сокращением их межремонтного ресурса с 10000 до 4000 часов. Это обусловлено необходимостью увеличения частоты корректирующего техниче-

ского обслуживания и ремонта по фактическому состоянию для минимизации рисков аварийного износа.

При этом на основе представленных в диссертации экспериментально установленных зависимостей получены допуски форм поверхностей цапф, соответствующие предельно допустимому значению температуры 70 °С в подшипниках скольжения, составившие: допуск полного радиального биения 0,05 мм, допуск профиля продольного сечения 0,03 мм, допуск круглости 0,019 мм. При таких условиях работы опорных баббитовых подшипников скольжения барабанной мельницы в составе с цапфами, имеющими данные допуски, межремонтный ресурс сокращается на 30 % и составляет 7000 часов.

Диссертация прошла необходимую апробацию как на конференциях различного уровня, так и в публикациях. Результаты диссертационного исследования в полной мере освещены в 15 печатных работах, в том числе 2 статьи – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

В диссертационной работе установлено, что температурные показатели опорных баббитовых гидростатических подшипников барабанной мельницы являются ключевым индикатором их технического состояния. Величина нагрева и динамика роста температуры при мониторинге в режиме реального времени позволяют оценивать работоспособность узла и определять его текущее состояние.

Исследования показали, что при удельной нагрузке 3,3 МПа на подшипниковые узлы зависимость температурных параметров от отклонений формы поверхностей цапф описывается полиномиальной функцией шестой степени с высокой достоверностью аппроксимации ($R^2=0,98$). Критическим параметром выступает полное радиальное биение цапфы – превышение 12 % толщины масляного слоя вызывает рост температуры до предельно допустимого значения в 70 °С и приводит к сокращению межремонтного ресурса на 30 %.

Разработан специальный алгоритм корректирующего технического обслуживания, основанный на непрерывном контроле температурных параметров с фиксацией данных в контрольных картах Шухарта. Применение этого алгоритма позволяет поддерживать работоспособность подшипников в заданном температурном диапазоне и своевременно принимать решения о необходимости ремонта.

Существенным результатом работы стал разработанный способ ремонта подшипниковых цапф без их демонтажа, защищенный патентом, и конструкция модульных комплектов вспомогательного оборудования для его реализации. Внедрение этих решений повышает ремонтпригодность узлов за счет сокращения времени ремонта на 23 % по сравнению с традиционными методами.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационного исследования рекомендуется внедрять в практику работы горно-обогатительных предприятий следующим образом.

Разработанную систему мониторинга температурного режима опорных баббитовых гидростатических подшипников необходимо внедрить на горно-обогатительных комбинатах для оперативного контроля технического состояния оборудования и прогнозирования его остаточного ресурса.

Предложенный алгоритм корректирующего технического обслуживания с использованием контрольных карт Шухарта следует применять для поддержания оптимальных температурных режимов работы подшипников и увеличения межремонтного интервала на всех типах барабанных мельниц.

Запатентованную технологию ремонта подшипниковых цапф без их демонтажа (патент РФ № 2788040) рекомендуется использовать на предприятиях горной промышленности для сокращения времени нахождения барабанной мельницы в ремонте.

Концепцию модульных комплектов вспомогательного оборудования целесообразно внедрить при организации ремонтных работ непосредственно на месте эксплуатации оборудования, особенно в условиях ограниченного пространства обогатительных установок и модульных комплексов.

Установленные зависимости между температурными показателями и геометрическими параметрами цапф необходимо учитывать при проектировании нового оборудования и модернизации существующих конструкций барабанных мельниц.

7. Замечания и вопросы по работе

1. При современном уровне цифровизации обогатительного производства было бы целесообразно предложить способ внедрения разработанной методики температурного контроля подшипниковых узлов в существующие АСУ горно-обогатительных предприятий. Это можно было бы подтвердить разработанным программным обеспечением для реализации предложенного алгоритма.

2. На предложенной автором контрольной карте Шухарта нижняя предельная граница находится на уровне $25,6^{\circ}\text{C}$. В то же время эмпирическое значение определено на уровне 10°C . В работе не рассмотрен вопрос последствий для подшипниковых узлов, работающих при температуре менее нижней предельной границы.

3. В процессе работы барабанной мельницы происходит регулировка разжиженности пульпы путем добавления воды или снижения нагрузки по питанию, также при помощи частотных преобразователей изменяется скорость вращения мельницы и может изменяться шаровая нагрузка. В проведенных автором экспериментах не учитывается влияние изменения этих параметров на температурный режим работы подшипникового узла.

4. При представлении в таблице 3.1 и далее геометрических параметров отобранных образцов цапф подшипниковых узлов для проведения испытаний в качестве допусков приведена круглость, полное радиальное биение и профиль продольного сечения. Непонятно почему именно данные допуски были выбраны при описании геометрических параметров цапф. При этом согласно ГОСТ Р 2.308-2023 (таблица 1) профиль продольного сечения более не применяется при указании вида геометрического допуска.

5. Работа имела бы большее практическое значение, если бы была произведена экономическая оценка предложенного ремонта подшипниковых цапф без их демонтажа.

6. В публикациях автора и диссертационной работе предложения и рекомендации по проведенным исследованиям привязаны к оборудованию плавучего комплекса, применяемого при разработке месторождения «Павловское». В то время как диссертационная работа имеет более широкую направленность и фокусируется на общих проблемах эксплуатации барабанных мельниц в ограниченных рабочих пространствах обогатительных установок и фабрик.

Отмеченные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация содержит новые научные результаты и имеет значительную практическую значимость в горной отрасли.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Повышение межремонтного ресурса и ремонтной технологичности подшипниковых узлов барабанной мельницы без демонтажа цапф на месте эксплуатации», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины – полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 № 953 адм., а ее автор **Корогодин Артур Сергеевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины.

Официальный оппонент

Заведующий кафедрой «Геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кандидат технических наук, доцент

Гришин Игорь Анатольевич

01.09.2025

Даю согласие на внесение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Гришин Игорь Анатольевич

Подпись официального оппонента, к.т.н., доцента Гришина Игоря Анатольевича заверяю:



ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ

начальник отдела делопроизводства
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

Д.Г. Семенова

Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Почтовый адрес: 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38.

Официальный сайт в сети Интернет: <https://www.magtu.ru/>

эл. почта: igorgri@mail.ru

телефон: +7 (3519) 29-85-42