

ОТЗЫВ

*официального оппонента доктора технических наук, профессора
Лагуновой Юлии Андреевны на диссертацию
Ефимова Дениса Александровича
на тему: «Повышение долговечности бандажей валковой дробилки карьерного
дробильно-сортировочного комплекса с учетом процессов их абразивного
изнашивания», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 2.8.8 – Геотехнология, горные машины*

Структура и объем работы

На отзыв представлена диссертация на 136 страницах, включающих 77 рисунков и 4 таблицы, состоящая из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, содержащего 152 наименования, 2 приложений; автореферат на 25 страницах.

Актуальность темы диссертации

Процессы рудоподготовки горной массы на горно-обогатительных предприятиях являются наиболее энерго- и ресурсозатратными. Высокое потребление энергии и других ресурсов становятся одними из главных факторов неконкурентоспособности продукции отечественных горных предприятий. Увеличение срока службы футеровочных бандажей валковых дробилок в составе карьерного дробильно-сортировочного комплекса позволит повысить его ресурс в целом, и, как следствие, снизить расход электроэнергии на процесс рудоподготовки.

Поэтому исследование процессов дробления в валковых дробилках, выявление направлений их совершенствования в части увеличения срока службы футеровочных бандажей за счет нанесения упрочняющих покрытий и модернизации конструкции, является актуальной научно-практической задачей, отвечающей потребностям горного производства, и вносит значительный вклад в развитие страны.

Научная новизна диссертации

Поставлены задачи проведения анализа современных теоретических подходов, экспериментальных методов и инженерных решений, связанных с абразивным изнашиванием футеровочных бандажей валковых дробилок в составе карьерных дробильно-сортировочных комплексов и обобщения результатов их эксплуатации в промышленности. На основе проведенного анализа провести комплекс экспериментальных исследований по определению параметров износа, характеристик упрочнения, изменения микротвёрдости и морфологии поверхности футеровочных бандажей на различных стадиях их эксплуатации.

В результате решения поставленных задач установлены:

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-381 от 14.08.2026
АУ УС

- закономерности изменения состояния поверхностного слоя футеровочных бандажей валковых дробилок карьерных дробильно-сортировочных комплексов в процессе эксплуатации, заключающиеся в последовательной смене режимов деформационного упрочнения и последующего разрушения упрочненного слоя.

- эффективность комплексного воздействия на процесс изнашивания бандажей за счет формирования упрочненного поверхностного слоя при напылении покрытий на основе WC-TiN и изменения конструкционных параметров бандажей, приводящих к увеличению срока их работоспособного состояния и снижению затрат на процесс дробления.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждаются комплексным характером выполненных исследований, включающим аналитический обзор отечественных и зарубежных научно-технических источников, анализ эксплуатационных данных, патентный обзор, проведение стендовых и натурных экспериментальных исследований, а также применение методов математического моделирования, регрессионного анализа, математической статистики и цифровой обработки экспериментальных данных.

Автором проведён содержательный анализ механизмов абразивного и усталостного изнашивания, а также рассмотрены классические энергетические и контактно-механические модели. Показаны ограничения применения рассмотренных моделей для описания реальных условий эксплуатации валковых дробилок в составе карьерных дробильно-сортировочных комплексов и обоснована необходимость учёта стадийного характера изнашивания и эволюции состояния поверхностного слоя. Представлены результаты экспериментально-аналитических исследований абразивного изнашивания футеровочных бандажей. Разработана и обоснована математическая модель абразивного изнашивания футеровочных бандажей, учитывающая стадийность процесса, эволюцию микрогеометрии поверхности и накопление усталостных повреждений.

Достоверность результатов обеспечивается тем, что экспериментальные исследования проводились на натурных моделях с варьированием ключевых параметров нагрузки, а полученные зависимости подтверждены удовлетворительным совпадением с теоретическими расчётами. Использование стандартных методов планирования эксперимента и лицензионного программного обеспечения позволило получить статистически значимые уравнения регрессии и расчетные зависимости.

Представленные в работе выводы логически вытекают из выполненного объема исследований, внутренне непротиворечивы, а сформулированные рекомендации подтверждены практическими результатами внедрения в производственных условиях.

Научные результаты, их ценность

1. Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что процесс накопления деградационных повреждений бандажей валковых дробилок носит стадийный характер при первоначальном упрочнении поверхностей бандажей наклепом с последующим изнашиванием упрочнённого слоя, при этом кинетика процесса описывается дифференциальным уравнением с учетом коэффициента накопления усталости.

2. Установлено, что повышение срока службы футеровочных бандажей валковых дробилок на 60-80 % достигается за счет формирования упрочненного поверхностного слоя при напылении покрытия WC-TiN, а снижение пиковой мощности привода валковой дробилки на 10 и 16 % обеспечивается модернизацией конструкции бандажей применением профиля Рело и сегментированных футеровок по сравнению с круглыми, соответственно.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

1. Установлены закономерности двухстадийного абразивного изнашивания футеровочных бандажей валковых дробилок, включающие стадию наклепа и стадию усталостной деградации упрочнённого поверхностного слоя.

2. Экспериментально подтверждена взаимосвязь между эволюцией микрогеометрии поверхности, параметрами кривых Эбботта–Файрстоуна и изменением несущей способности контактного слоя при дроблении абразивных материалов.

3. Разработана математическая модель локального абразивного изнашивания, учитывающая распределение контактных давлений, путь скольжения и параметры микрогеометрии поверхностного слоя бандажа.

4. Введены количественные показатели, характеризующие вклад наклепа и накопления усталостных повреждений в процесс изнашивания футеровочных бандажей.

5. Обоснованы технические решения по повышению долговечности бандажей, включающие применение плазменно-порошковых упрочняющих покрытий и модернизацию геометрии футеровочных бандажей валков.

6. Показана эффективность применения сегментированных футеровочных бандажей (патент на изобретение № 2831453) и валков с Рело-профилем, обеспечивающих снижение потребляемой мощности привода и уменьшение локальных зон износа.

Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты работы рекомендуется применять при переработке абразивных материалов с пределом прочности до 120 МПа в условиях открытых горных работ, а также при проектировании, модернизации и эксплуатации мобильных и полумобильных дробильно-сортировочных установок на карьерах, для проведения экспериментальной диагностики и применении плазменных покрытий, при оценке износа деталей (акт внедрения ООО «ЗД ПРОЕКТ» от 10 декабря 2025 г.).

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 4 печатных работы, в том числе 2 в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (Перечень ВАК), и 2 статьи - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение, зарегистрирована 1 заявка на изобретение.

Содержание автореферата соответствует основным идеям и выводам диссертации. В нем приведены цель работы, изложены полученные результаты, доказательства выдвинутых научных положений.

Замечания и вопросы по диссертации.

1. Чем объясняется наличие давления, показанного на рис. 2.3, ниже горизонтальной линии, соединяющей центры валков. При увеличении объема сжатой породы от минимального значения давление должно исчезнуть. Доказано ли наличие упругой деформации слоя при дроблении?

2. Стр. 43 «Давление неравномерно распределяется по **ширине** вала». Термин «Ширина» также встречается и на стр. 44 и в автореферате. Классические параметры вала оцениваются его диаметром и **длиной**, что отчетливо показано на рис. 2.4, но почему-то длина названа шириной?

3. Стр. 43. Отмечено «...Материал, находящийся в центральной зоне, подвергается наибольшему давлению, в результате чего максимально уплотняется и разрушается более эффективно...», доказан ли такой вывод? Из-за деформации валков по длине посередине логично должно быть снижение давления.

4. В формуле (2.11) на стр. 46 использован угол β , его значение не представлено, а в формуле (2.4) на стр. 42 присутствуют углы захвата α_{ip} и α_{sp} . Как связаны эти углы?

5. На стр. 50 в формуле 2.15 путь трения обозначен S , а в расшифровке формулы появляется буква L – расстояние скольжения. Почему такие расхождения?

6. На стр. 50-56 приведено подробное описание **моделей и законов изнашивания** и выполнен анализ невозможности использования их для валковых дробилок, однако не показано, а как для валковых дробилок определять износ?

7. На стр. 58 «При интенсивной эксплуатации поверхности валков истираются, снижаются размеры эффективной поверхности и коэффициент трения» Чем объясняется снижение коэффициента трения?

8. На стр. 58 отмечено снижение производительности при износе. Это не верно, при износе наоборот увеличивается разгрузочная щель, и производительность будет повышаться, а вот эффективность дробления и качество продукта будут значительно снижаться!

9. На стр. 106 приведено увеличение мощности при износе с 502 Вт до 970 Вт, но не показано за счет чего произошло такое увеличение, и как при этом изменился грансостав продуктов дробления?

10. На стр. 107 выражение (4.23) для определения интенсивности износа не включает физико-механические свойства горной массы и материала футеровок. Непонятно, будет ли справедлива полученная зависимость для любых (или конкретных) условий эксплуатации дробилок?

11. Из текста стр. 108-110 с вариантами технических решений неясно, проводились ли экспериментальные исследования, и как вычислительный эксперимент соотносится с промышленными данными?

12. В автореферате и тексте диссертации единицы измерения микротвердости приведены в старой системе СГЭ (кгс/мм^2), почему проигнорировали систему СИ (МПа)?

Указанные замечания не снижают значимости диссертационной работы в целом и носят рекомендательный характер.

Заключение

Диссертационная работа Ефимова Дениса Александровича на тему «Повышение долговечности бандажей валковой дробилки карьерного дробильно-сортировочного комплекса с учетом процессов их абразивного изнашивания» является законченной научно-квалификационной работой.

Работа по своим задачам, содержанию, научно-техническому направлению и выполненным исследованиям соответствует пункту 15 паспорта специальности 2.8.8 «Геотехнология, горные машины».

Диссертация «Повышение долговечности бандажей валковой дробилки карьерного дробильно-сортировочного комплекса с учетом процессов их абразивного изнашивания», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8 «Геотехнология, горные машины», полностью соответствует 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 императрицы Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор, Ефимов Денис Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8 «Геотехнология, горные машины».

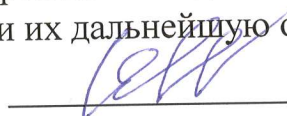
Официальный оппонент,
заведующая кафедрой горных машин и комплексов
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Уральский
государственный горный университет»,
д-р техн. наук, профессор



Лагунова
Юлия Андреевна

27.07.2026 г.

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



Лагунова Юлия Андреевна

Подпись д.т.н., профессора, заведующей кафедрой горных машин и комплексов
Ю. А. Лагуновой заверяю:
Начальник ОК ФГБОУ ВО «УГГУ»



Сабанова
Татьяна Борисовна

Сведения об официальном оппоненте:

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30, тел.: +7 (343) 251-48-38,
сайт: <http://www.ursmu.ru>

E-mail: yuliya.lagunova@m.ursmu.ru

