

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.2
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 18.09.2026 № 16

О присуждении Ефимову Денису Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение долговечности бандажей валковой дробилки карьерного дробильно-сортировочного комплекса с учетом процессов их абразивного изнашивания» по специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины принята к защите 09.06.2026, протокол заседания № 5, диссертационным советом ГУ.2 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 14.11.2022 № 1772 адм, с изменениями от 13.07.2023 № 1090 адм, от 17.10.2024 № 1549 адм.

Соискатель, Ефимов Денис Александрович, 09 апреля 1998 года рождения, в 2022 г. с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по специальности 21.05.04 Горное дело.

В период подготовки диссертации с 1 октября 2022 г. по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры машиностроения в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Работает ассистентом кафедры высшей математики в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре машиностроения в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Господариков Александр Петрович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-

Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра высшей математики, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Лагунова Юлия Андреевна – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», кафедра горных машин и комплексов, заведующий кафедрой;

Зверев Валерий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра «Горная электромеханика», доцент кафедры; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Зотовым Василием Владимировичем, кандидатом технических наук, и.о. заведующего кафедрой горного оборудования, транспорта и машиностроения, Белянкиной Ольгой Владимировной, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом той же кафедры, секретарем заседания, и утвержденном Филоновым Михаилом Рудольфовичем, доктором технических наук, профессором, проректором по науке и инновациям, указала, что теоретическая значимость работы определяется развитием модели абразивного изнашивания рабочих органов горных машин за счет учета нестационарного состояния поверхностного слоя. Введение параметров, характеризующих эволюцию микрогеометрии и накопление усталостных повреждений, позволяет связать классическое контактно-энергетическое описание с фактически измеряемыми параметрами поверхности. Это создает предпосылки для дальнейшего развития расчетов остаточного ресурса, в которых коэффициент изнашивания не задается постоянным на весь срок эксплуатации, а корректируется по данным диагностики.

Соискатель имеет 4 печатных работы, 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, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), 2 статьи - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение, зарегистрирована 1 заявка на изобретение.

Общий объем – 2,94 печатных листа, в том числе 1,52 печатных листа - соискателя.

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Господариков, А.П. О некоторых аспектах повышения эффективности дробильного оборудования на рудоподготовительном переделе / А.П. Господариков, **Д.А. Ефимов** // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 18. – С. 128-133. – DOI 10.26160/2658-3305-2023-18-128-133. (№ 2408 Перечня ВАК от 20.12.2022)

Соискателем выполнен анализ влияния конструктивных параметров футеровочных бандажей валковых дробящих агрегатов на технологические показатели рудоподготовки. Установлено влияние геометрии рабочих органов на энергетические затраты и эффективность дробления, что соответствует выводам диссертации о целесообразности модернизации конструкции бандажей и снижении потребляемой мощности.

2. Господариков, А.П. К вопросу влияния абразивного износа футеровочных бандажей валковых дробилок на технологические показатели процесса рудоподготовки / А.П. Господариков, **Д.А. Ефимов** // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 23. – С. 214-221. – DOI 10.26160/2658-3305-2023-23-214-221. (№ 2576 Перечня ВАК от 24.10.2023)

Соискателем проведён анализ факторов, определяющих интенсивность абразивного изнашивания футеровочных бандажей валковых дробилок, и показано влияние износа на производительность, степень сокращения крупности и удельный расход энергии, а также обоснована необходимость применения упрочняющих покрытий на основе карбида титана (вольфрама) и рационализации конструкции бандажей для повышения ресурса и энергетической эффективности оборудования.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus/WoS):

3. **Efimov, D.A.** Technical and technological aspects of the use of Reuleaux triangular profile rolls in crushing units in the ore processing plant / D.A. Efimov, A.P. Gospodarikov // Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal). – 2022. – No. 10-2. – P. 117-126. – DOI 10.25018/0236_1493_2022_102_0_117. (№ 549 Перечня ВАК-МБД (Scopus) ред. 12.04.2022)

Ефимов Д. А., Господариков А. П. Техничко-технологические аспекты

использования валков с профилем в форме треугольника Рело в дробящих агрегатах на рудоподготовительном переделе // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 10-2. — С. 117—126. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_102_0_117. (№ 549 Перечня ВАК-МБД (Scopus) ред. 12.04.2022)

Соискателем выполнено теоретическое обоснование применения валков с профилем Рело в валковых дробящих агрегатах, выведены зависимости для угла захвата, удельного усилия сжатия и потребляемой мощности привода, а также показано, что использование профиля Рело обеспечивает увеличение удельного усилия сжатия на 10 % при одновременном снижении мощности привода на 10 %, что подтверждает повышение энергоэффективности процесса дробления.

4. Господариков, А.П. Исследование процессов абразивного изнашивания футеровочных бандажей валковых дробящих агрегатов и методов повышения их износостойкости / А.П. Господариков, **Д.А. Ефимов** // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2026. — №2. — С. 5-27. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_2_0_5. (№ 569 Перечня ВАК-МБД (Scopus) ред. 31.12.2023)

Соискателем выполнено комплексное исследование процессов абразивного изнашивания футеровочных бандажей валковых дробящих агрегатов, экспериментально установлено повышение твёрдости поверхностного слоя на 25–35 % вследствие наклёпа, выявлена неравномерность износа (до 3,2 мм в центральной зоне), а также доказана эффективность двухслойного покрытия WC–TiN, обеспечивающего повышение срока службы футеровочных бандажей валковых дробящих агрегатов на 60–80% за счет формирования упрочненного поверхностного слоя.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

5. Патент на изобретение № 2831453 Российская Федерация, МПК В02С 4/00 (2006.01). Валковый дробящий агрегат. Заявка № 2024129884: заявл. 04.10.2024; опубл. 09.12.2024 / А.П. Господариков, **Д.А. Ефимов**, В.Б. Кусков; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». — 10 с. : ил.

Соискателем разработано и запатентовано техническое решение валкового дробящего агрегата с сегментированными цилиндрическими футеровочными бандажами различной толщины, при этом бандажи большей толщины выполнены в два раза толще бандажей меньшей толщины и установлены диаметрально противоположно, что обеспечивает перераспределение контактных напряжений и снижение интенсивности

локального износа.

6. Заявка на патент на изобретение № 2025138234 Российская Федерация. Стенд для испытаний на локальный абразивный износ. Заявл. 25.12.2025 / **Д.А. Ефимов**, Ю.В. Старцева ; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – 8 с. : ил

Соискателем разработан и изготовлен специализированный стенд. С использованием данной установки проведены физические эксперименты, в результате которых получены качественные и количественные результаты, позволившие выявить особенности механизма изнашивания и подтвердить корректность разработанной математической модели.

Апробация диссертационной работы проведена на научных конференциях международного и всероссийского уровня:

1. XVII Санкт-Петербургская ассамблея молодых учёных и специалистов (27 ноября 2024 г., г. Санкт-Петербург);

2. VII Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов вузов России по естественным, техническим и гуманитарным наукам «Шаг в науку» (31 марта – 04 апреля 2025 г., г. Томск);

3. XVIII Санкт-Петербургская ассамблея молодых учёных и специалистов (21 ноября 2025 г., г. Санкт-Петербург);

4. VIII Международная научно-практическая конференция «Механика и машиностроение. Наука и практика» (27 ноября 2025 г., г. Санкт-Петербург);

5. Международная научно-практическая конференция «Новые технологии и инновационные решения в инженерии и прикладных технологиях: тенденции, модели, перспективы развития» (9-10 декабря 2025 г., г. Москва).

В диссертации Ефимова Дениса Александровича отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: профессора кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», д.т.н., доцента **В.Е. Овсянникова**; профессора кафедры информационных систем факультета прикладной математики – процессов управления ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», д.ф.-м.н., профессора **С.И. Перегудина**; доцента кафедры «Автоматизация производственных процессов» ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», к.т.н. **Е.М. Кузнецовой**; директора филиала в СЗФО – директора по развитию бизнеса АО «Моделирование и цифровые двойники» в СЗФО, к.т.н. **А.Ю. Феоктистова**; заместителя директора

департамента технологических исследований по стратегическому развитию Группы компаний «НОВОМЭК», к.т.н. **С.А. Корчевенкова**; профессора кафедры физики ФГБОУ ВО Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), д.т.н., доцента **А.Н. Холодилова**; доцента ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», д.ф.-м.н., доцента **С.Е. Холодовой**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечены актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, комплексный характер проведенных экспериментальных исследований, обоснованность разработанной математической модели и предложенных технических решений. Вместе с тем авторами отзывов высказан ряд замечаний и вопросов:

1. Для обеспечения воспроизводимости технологии покрытия желательно привести соотношение компонентов WC и TiN в порошковой композиции, состав подслоя, ток и напряжение плазмотрона, расход и состав плазмообразующего газа, дистанцию напыления и скорость перемещения горелки. В автореферате указаны фракции порошка и толщины слоя, однако этого недостаточно для полного воспроизведения режима (**д.т.н. В.Е. Овсянников**);
2. Вывод об отсутствии адгезионных дефектов основан главным образом на результатах микроскопии и 3D-контроля. Было бы полезно дополнительно привести количественные значения пористости, прочности сцепления покрытия с основой, остаточных напряжений и изменения данных показателей после циклического ударно-абразивного нагружения (**д.т.н. В.Е. Овсянников**);
3. В тексте приводятся значения микротвердости покрытия до 587–637 HV_{0,1}, а в описании кинетики покрытых образцов указаны пиковые значения 330–350 HV_{0,1}. Следовало бы пояснить, относятся ли эти величины к различным зонам, методикам или стадиям испытаний, и обеспечить единообразие их интерпретации (**д.т.н. В.Е. Овсянников**);
4. В пункте 2 заключения автореферата указано, что стадия наклепа сопровождается ростом твердости до 645 кгс/мм², тогда как по материалам работы значение 645 соответствует времени наработки, при котором достигается расчетный максимум наклепа. Данная размерностная неточность требует редакционного исправления (**д.т.н. В.Е. Овсянников**);
5. Для практического применения математической модели желательно более четко разграничить параметры, определяемые непосредственно на промышленной дробилке, и параметры, устанавливаемые по результатам лабораторной калибровки (**д.ф.-м.н. С.И. Перегудин**);

6. Критический момент перехода от упрочнения к деградации указан на уровне около 645 ч для бандажей без покрытия и около 760 ч для покрытых образцов. Целесообразно пояснить метод определения этих значений при интервальном задании экспериментальных серий по времени наработки (**д.ф.-м.н. С.И. Перегудин**);
7. Результаты рекомендованы для абразивных материалов с пределом прочности до 120 МПа. Было бы полезно дополнительно обозначить границы применимости установленных закономерностей по абразивности и гранулометрическому составу питания при переносе результатов на другие карьерные комплексы (**д.ф.-м.н. С.И. Перегудин**);
8. Коэффициент детерминации для параметра $\Phi(t)$ составляет 0,668, что указывает на существенный разброс данных. Необходимо объяснить физические причины данной неточности (например, неоднородность покрытия или случайный характер выкрашивания) и обосновать, почему именно этот параметр выбран в качестве основного диагностического критерия предельного состояния футеровки (**к.т.н. Е.М. Кузнецова**);
9. Математическая модель верифицирована только для пород прочностью до 120 МПа. Следует уточнить границы применимости модели для других месторождений либо привести данные о ее чувствительности к изменению абразивности и трещиноватости перерабатываемого материала за пределами исследованного диапазона (**к.т.н. Е.М. Кузнецова**);
10. В работе показано снижение энергозатрат при использовании новых профилей бандажей, однако не оценено влияние этих изменений на качество дробления. Для практического внедрения необходимо подтвердить, что экономия энергии не приводит к недопустимому увеличению выхода негабарита или переизмельчению материала (**к.т.н. Е.М. Кузнецова**);
11. В автореферате коэффициентами HV10 и HV0,1 отражена стадийность процесса изнашивания, но отсутствует отражение корреляции данных коэффициентов с толщиной имеющегося наклепанного слоя и потерей массы бандаж в процессе эксперимента (**к.т.н. А.Ю. Феоктистов**);
12. В рамках автореферата недостаточно прописаны детали эксперимента по определению характеристик износа бандаж: на каких образцах и на основе какой методики проводились описанные исследования (**к.т.н. А.Ю. Феоктистов**);
13. Из текста автореферата не вполне ясно, существуют ли ограничения по физико-механическим свойствам и влажности перерабатываемой горной массы при использовании валков с профилем Рело (**к.т.н. С.А. Корчевенков**);
14. В автореферате указано, что результаты работы рекомендуется применять при прочности пород до 120 МПа, однако не поясняется, как изменятся

характер изнашивания и эффективность покрытия WC–TiN при переработке более прочных или сильно вязких включений (**к.т.н. С.А. Корчевенков**);

15. Карьерные комплексы на разрезе «Восточный» эксплуатируются в условиях значительных сезонных перепадов температур. В работе не приведена оценка трещиностойкости и циклической долговечности напыленного слоя толщиной 2,3 мм в условиях знакопеременных климатических воздействий (**к.т.н. С.А. Корчевенков**).

16. При описании покрытия WC–TiN целесообразно было бы подробнее обосновать выбор данного состава и технологических параметров напыления по сравнению с альтернативными способами упрочнения (**д.т.н. А.Н. Холодилов**);

17. Поскольку в работе одновременно предлагаются упрочнение поверхности и модернизация геометрии бандажей, желательно более отчетливо разделить вклад каждого решения в общий эффект повышения долговечности и указать ожидаемый результат их совместного применения (**д.т.н. А.Н. Холодилов**);

18. Приведенная в автореферате экономическая выгода восстановительных технологий до 20 % нуждается в кратком пояснении исходной базы расчета, прежде всего учета стоимости покрытия, ремонтного простоя и возможного числа циклов восстановления (**д.т.н. А.Н. Холодилов**).

19. Коэффициент чувствительности γ в зависимости $\beta(t)=1+\gamma\Phi(t)$ является эмпирическим. Для воспроизводимости модели целесообразно было бы подробнее раскрыть процедуру его идентификации и оценить чувствительность прогнозируемого износа к вариациям γ и исходных значений R_{pk} , R_k и R_{vk} (**д.ф.-м.н. С.Е. Холодова**);

20. Использование функции Хевисайда позволяет четко фиксировать момент перехода к усталостной деградации, однако реальный переход, вероятно, происходит в течение конечного интервала времени. Представляет интерес сравнение принятой кусочно-заданной модели со сглаженной функцией перехода и оценка влияния такого выбора на прогноз момента ускоренного изнашивания (**д.ф.-м.н. С.Е. Холодова**);

21. Высокое значение коэффициента детерминации подтверждает качество аппроксимации экспериментальных данных, но не полностью характеризует прогностическую устойчивость модели. В дальнейшем было бы полезно дополнить верификацию анализом остатков, доверительными интервалами параметров либо проверкой на независимой серии испытаний (**д.ф.-м.н. С.Е. Холодова**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая экспериментальная методика прогноза локального абразивного изнашивания футеровочных бандажей валковых дробилок;

предложен нетрадиционный подход по повышению долговечности футеровочных бандажей валковых дробилок, включающий применение плазменно-порошкового упрочняющего покрытия WC–TiN, сегментированной конструкции футеровочных бандажей и бандажей с профилем Рело;

доказано наличие закономерностей процессов абразивного изнашивания путем управления состоянием поверхностного слоя и геометрией футеровочных бандажей;

введена новая трактовка интегрального показателя деградации микрогеометрии поверхностного слоя бандажа.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения о стадийном характере абразивного изнашивания футеровочных бандажей валковых дробилок, заключающемся в последовательной смене стадии деформационного упрочнения поверхностного слоя и стадии его усталостной деградации и разрушения;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых расчетно-аналитических, численных и экспериментальных методов исследования;

изложены факторы формирования, развития и деградации упрочненного поверхностного слоя футеровочных бандажей, взаимосвязи его твердости и микрогеометрии с интенсивностью абразивного изнашивания и накоплением усталостных повреждений;

раскрыты противоречия между процессом наклепа поверхностного слоя бандажа и абразивным изнашиванием;

изучены причинно-следственные связи между изменением микротвердости поверхностного слоя, эволюцией параметров шероховатости, изменением несущей способности поверхности и развитием абразивно-усталостного изнашивания футеровочных бандажей;

проведена модернизация математической модели прогноза интенсивности локального изнашивания путем введения коэффициента накопления усталости $\beta(t)$, связанного с параметрами микрогеометрии поверхности и позволяющего учитывать изменение состояния поверхностного слоя во времени.

Значение полученных результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены элементы комплексной методики технического диагностирования поверхностного слоя, предусматривающей применение

трехмерного сканирования, выполнен анализ геометрических отклонений и параметров микрорельефа;

определены перспективы практического использования полученных результатов исследований при переработке абразивных материалов с пределом прочности до 120 МПа в условиях открытых горных работ;

создана система практических рекомендаций по повышению износостойкости футеровочных бандажей валковых дробилок, включающая диагностический контроль состояния поверхности, математическое прогнозирование износа, применение упрочняющих покрытий WC–TiN и рационализацию геометрии рабочих органов;

представлены предложения по применению плазменно-порошкового напыления WC–TiN, использованию сегментированных футеровочных бандажей и профиля Рело, а также по диагностике текущего состояния и оценке износа рабочих поверхностей валковых дробилок.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ показана воспроизводимость результатов исследования в заданных условиях;

теория построена на известных и апробированных положениях теории трения и абразивного изнашивания и контактно-энергетических закономерностях Арчарда–Рэя–Хрущёва, дополненных учетом фактически измеряемых характеристик текущего состояния поверхностного слоя;

идея базируется на анализе практики функционирования валковых дробилок карьерных дробильно-сортировочных комплексов;

использовано сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике исследования;

установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами независимых испытаний;

использованы современные методы получения, обработки и анализа экспериментальной информации, включающие трехмерное сканирование и построение карт отклонений, анализ кривых Эбботта–Файрстоуна, оптическую, электронную и атомно-силовую микроскопию, измерение микротвердости, а также методы математической статистики и аппроксимации экспериментальных зависимостей.

Личный вклад соискателя состоит в участии во всех этапах написания диссертационной работы, в том числе: в постановке цели и задач исследования, формулировке научных положений, выносимых на защиту, анализе существующих теоретических и экспериментальных подходов по теме работы; в разработке математической модели абразивного изнашивания футеровочных бандажей; в разработке и реализации методики экспериментальных

исследований; в обосновании и экспериментальном подтверждении технических решений по повышению долговечности футеровочных бандажей, обработке и анализе полученных результатов, апробации и подготовке публикаций, а также формулировке основных выводов и заключений по работе.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Ефимов Денис Александрович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

На заседании 18.09.2026 диссертационный совет принял решение присудить **Ефимову Денису Александровичу** ученую степень кандидата технических наук за новые научно-обоснованные технические решения по повышению долговечности бандажей валковых дробилок карьерных дробильно-сортировочных комплексов на основании полученных закономерностей, что имеет существенное значение для развития горной промышленности страны.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Зубов
Владимир Павлович

Ковальский
Евгений Ростиславович

18.09.2026 г.