

## ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, доцента  
**Кузиева Дильшада Алишеровича** на диссертацию Ахмерова Эрика Викторовича на  
тему: «Снижение энергоемкости процесса выемки взорванной горной массы  
использованием самозатачивающихся зубьев ковша экскаватора», представленную на  
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
2.8.8. Геотехнология, горные машины.

На отзыв представлена рукопись диссертационной работы и ее автореферат. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Содержание диссертации составляют 113 страниц машинописного текста, содержащего 55 рисунков, 7 таблиц, библиографический список из 127 наименований. Содержание автореферата изложено на 18 страницах машинописного текста, в составе которого 14 рисунков.

### 1. Актуальность темы диссертационной работы

Разработка месторождений открытым способом связана с большим объемом выемочно-погрузочных работ, выполняемых в основном одноковшовыми экскаваторами, при эксплуатации которых в условиях контакта с высокоабразивной горной породой наблюдается интенсивное изнашивание элементов рабочего оборудования, при этом наибольшему агрессивному воздействию подвергаются зубья ковша экскаватора. Указанное воздействие среды отрицательно сказывается на сроке службы зубьев и приводит к существенному изменению их геометрической формы, что влечет за собой снижение производительности и повышение энергоемкости процесса экскавации.

Существующие, на сегодняшний день, способы сохранения первоначального геометрического профиля зубьев отличаются сравнительно высокой сложностью исполнения. В этой связи, разработка научно-обоснованного технологического решения, направленного на снижение уровня удельных энергозатрат при экскавации взорванной горной массы за счет достижения эффекта самозатачивания зубьев ковша экскаватора в процессе их эксплуатации является актуальной задачей.

### 2. Научная новизна диссертации

Научная новизна представленного научного исследования раскрывается в следующих положениях:

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-332 от 19.09.23  
АУ УС

1. На основании результатов математического моделирования контактного взаимодействия зуба ковша карьерного экскаватора с взорванной горной массой, определено, что при относительно равном уровне напряжений, возникающих на поверхностях зуба при взаимодействии с кусковой горной породой, что эмпирически подтверждено автором в ходе твердометрического анализа, нижняя и верхняя поверхность зуба находятся под воздействием различного вида преобладающего воздействия, приводящего к неоднородной интенсивности изнашивания и, как следствие, потере зубом его первоначальной формы.

2. Установлено, что локальное упрочнение нижней части зуба ковша экскаватора, обеспечивающее эффект самозатачивания, приводит к снижению энергетических затрат в процессе экскавации взорванной горной массы за счет сохранения равной скорости изнашивания нижней и верхней частей зуба.

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

Научные выводы и предлагаемые соискателем рекомендации, изложенные в диссертации, имеют достаточную степень обоснованности, что подтверждается результатами проведенного теоретического анализа отечественных и зарубежных трудов в рамках определения особенностей изнашивания элементов рабочего оборудования карьерных экскаваторов, результатами экспериментальных исследований, основанных на апробированных и известных методиках проведения испытаний материалов на абразивное изнашивание и результатами математического моделирования процесса взаимодействия зуба ковша экскаватора с горной породой.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.8.8 Геотехнология, горные машины по пункту 15 «Методы и средства повышения эксплуатационных характеристик и надежности горных машин и оборудования, в том числе за счет обоснования рациональных режимов их функционирования на открытых и подземных горных работах».

### **4. Научные результаты, их ценность**

Основные результаты диссертационного исследования представлены автором в двух защищаемых положениях:

1. Причиной потери симметричности зубьев ковша экскаватора типа ЭКГ при выемке взорванной горной массы, приводящей к повышению до 3 раз сопротивления породы перемещению в ней зуба, является различие в преобладающем направлении

силового воздействия кусков породы на зуб – по нормали к верхней и касательно относительно нижней поверхности, что определяет более интенсивное изнашивание нижней поверхности.

2. Внедрение операции высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) в технологический процесс изготовления зуба ковша экскаватора с использованием конфигурации заготовки, позволяющей при штамповке сконцентрировать повышенную интенсивность деформации металла в нижней части зуба, обеспечивает эффект его «самозатачивания» в процессе эксплуатации, что способствует снижению до 1,3 раз энергоемкости процесса выемки взорванной горной массы по сравнению с зубьями, изготовленными по существующей технологии.

Для доказательства первого защищаемого положения, соискателем был проведен анализ изменения формы зубьев ковша экскаватора после работ в условиях экскавации взорванной горной массы, на основании которого были определены основные изменения геометрического профиля зуба ковша, происходящие в течение его срока службы.

Математическое моделирование процесса взаимодействия зуба ковша одноковшового экскаватора с взорванной горной массой, выполнялось в ПО «Rocky DEM» и базировалось на методе дискретных элементов, позволяющем обособленно описывать поведение каждого элемента горной массы, тем самым обеспечивая приближенность результатов моделирования к реальным условиям эксплуатации. На основании полученных результатов соискателем определен преобладающий вид изнашивания наблюдаемый на различных частях зуба – абразивный на его нижней поверхности и ударно-абразивный на верхней, что дополнительно подтверждено проведенными соискателем визуальными наблюдениями, описанными в работе.

В связи с тем, что ударно-абразивный вид воздействия характеризуется относительно меньшей скоростью потери материала, чем абразивный – в процессе эксплуатации зуба происходит неравномерное изнашивание его частей, приводящее к увеличению радиуса притупления режущей кромки, потере симметрии и образованию площадки притупления, что в совокупности отражается на увеличении необходимых энергозатрат при экскавации.

В ходе доказательства второго положения соискателем предлагается технологическое решение, направленное на сохранение первоначальной геометрии зуба в процессе эксплуатации за счет обеспечения равномерной скорости изнашивания нижней и верхней поверхности зуба путем применения операции высокотемпературной термомеханической обработки для повышения износостойкости зуба в нижней его части.

На специально разработанном стенде было проведено экспериментальное подтверждение предлагаемого технологического решения. Для чего была проведена высокотемпературная термомеханическая обработка образцов из высокомарганцовистой стали, используемой для изготовления зубьев ковша экскаватора, с последующим изнашиванием образцов при контакте с абразивной средой. Как показали результаты проведенных экспериментов, воздействие ВТМО на материал зубьев способствует повышению на 40% их абразивной износостойкости.

В программе «DEFORM 3D» автором было проведено моделирование процесса течения материала при штамповке заготовки зуба в штампе, на основании которого была разработана конфигурация заготовки, при штамповке которой обеспечивается повышенная интенсивность пластической деформации металла нижней части зуба.

Как показано соответствующими расчетами, предложенное соискателем, научно обоснованное технологическое решение по изготовлению зубьев, обладающих эффектом самозатачивания в процессе эксплуатации, позволяет снизить энергоемкость процесса экскавации взорванной горной массы до 30%.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 5 печатных работах, в том числе в 1 статье - 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), в 3 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus; получен 1 патент.

## **5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

Теоретическая и практическая значимость представленного научного исследования раскрывается в следующих положениях:

1. Автором представлена методика, позволяющая переносить лабораторные результаты линейной убыли материалов зубьев в условиях абразивного изнашивания на натурные условия с учетом пройденного пути зуба в процессе работы при соответствующем сроке службы на основании эмпирически подтвержденной зависимости от скорости абразивного изнашивания от прикладываемой удельной нагрузки.

2. На основании результатов математического моделирования течения металла при штамповке, разработана конфигурация заготовки, позволяющая сконцентрировать необходимый уровень пластической деформации на нижней части зуба, что будет способствовать локальному повышению твердости и износостойкости.

3. Предложено научно-обоснованное технологическое изменение технологии изготовления зубьев ковша экскаватора, обеспечивающее снижение сопротивления породы экскавации и, как следствие, энергоемкости процесса экскавации.

## **6. Рекомендации по использованию результатов работы**

Применение результатов данного исследования может быть использовано в смежных областях машиностроения, в задачах связанных с разработкой технологических решений, направленных на снижение скорости изнашивания элементов рабочего оборудования при высоком уровне абразивного воздействия.

## **7. Замечания и вопросы по работе**

1. В первой главе диссертации автором уделяется чрезмерное внимание техническому оснащению экскаватора, не играющему заметную роль в процессе изнашивания элементов его рабочего оборудования.

2. При анализе интенсивности пластической деформации, возникающей в металле различных частей поковки зуба при штамповке, автором рассмотрены значения угла  $\beta$  только в ограниченном диапазоне.

3. В дискретной модели, позиционируемой автором, как более приближенной к реальным условиям, куски горной породы представлены сферическими элементами без оценки в отличии их формы от реальной формы кусков, получаемых в результате буровзрывных работ.

4. При разработке математических моделей соискателем, в процессе работы, отдавалось предпочтение импортному, нежели отечественному программному обеспечению.

5. Для анализа материала зуба в работе соискателем была выбрана сталь 110Г13Л, при этом другие материалы, используемые для изготовления зубьев, не рассмотрены.

6. При оценке твердости поверхностного слоя образцов при помощи универсального твердомера автором не раскрывается, по какой методике осуществлялись замеры, представленные в таблице 3.3.

7. Исходя из подтвержденной автором зависимости скорости абразивного изнашивания материала зубьев от величины удельной нагрузки, автором представлены результаты проведенного расчета убыли линейных размеров существующего зуба в процессе его эксплуатации, однако для зуба, изготовленного по усовершенствованному технологическому процессу, соответствующие результаты расчетов не представлены.

## 8. Заключение по диссертации

Работа соискателя Ахмерова Э.В. является законченной научно-квалифицированной работой, выполненной на актуальную тему, в ходе раскрытия которой автором продемонстрировано хорошее владение материалом, умение самостоятельно планировать и ставить теоретические и экспериментальные исследования.

Диссертация «Снижение энергоемкости процесса выемки взорванной горной массы использованием самозатачивающихся зубьев ковша экскаватора», 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», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Ахмеров Эрик Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины.

### Официальный оппонент

доцент кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения,  
кандидат технических наук, доцент



**Кузиев Дильшад Алишерович**

*12.09.23*

### Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Почтовый адрес: 119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1

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

Телефон: +7 (926) 270-70-48, эл. почта: [da.kuziev@misis.ru](mailto:da.kuziev@misis.ru)

ПОДПИСЬ  
Проректор по безопасности  
и общим вопросам  
НИТУ МИСИС

И.М. Исаев

