

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию  
**БЕЗКОРОВАЙНОГО Павла Геннадьевича**

«Обоснование рациональных параметров рабочего оборудования прямая лопата гидравлического экскаватора», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины»

### **Структура и объем работы**

На отзыв представлена диссертация, состоящая из введения, 4 глав, списка литературы из 95 наименований, 4 приложений, изложенная на 140 страницах машинописного текста, включая 52 рисунка и 13 таблиц; автореферат на 21 странице; отгиски опубликованных работ.

### **Актуальность темы диссертации**

Рациональный обоснованный выбор выемочно-погрузочного оборудования для открытой разработки месторождений является сложной и актуальной задачей, требующей анализа большого количества влияющих факторов. Главная цель такого выбора – формирование высокопроизводительного парка выемочно-погрузочного оборудования для добычи полезных ископаемых открытым способом. В последние годы наблюдается тенденция увеличения использования при открытой разработке полезных ископаемых гидравлических экскаваторов.

Гидравлические экскаваторы по сравнению с канатными при равной вместимости ковша имеют: меньшую в 1,8...2,2 раза металлоемкость, большие в 1,3...1,5 раза усилия копания, обеспечивают селективную добычу полезных ископаемых, зачистку подошвы уступа. Гидравлические экскаваторы позволяют решить задачи по снижению металлоемкости горных машин, повышению производительности труда. Таким образом, диссертация Безкоровайного Павла Геннадьевича, решающая научную задачу обоснования рациональных параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора, является актуальной и имеет важное научное и практическое значение.

### **Научная новизна и результаты работы**

1. Сформулирована цель и разработана математическая модель определения возможных усилий копания с учетом ограничений по максимальным усилиям на штоках гидrocилиндров и устойчивости экскаватора, разработан алгоритм решения с использованием метода поиска допустимого решения. Впервые в методике расчета усилий копания обеспечено выявление лимитирующих механизмов поворота стрелы, рукояти или ковша, что позволяет осознанно принимать решения по изменению параметров на этапах проектирования новых экскаваторов или при эксплуатации экскаваторов.

2. Разработана математическая модель определения границ рабочей зоны с выводом значений возможных усилий на зубьях ковша. Впервые в методике границу рабочей зоны предложено определять не только по линейным размерам элементов экскаватора, как в известных методиках, но и с учетом реализации рабочей функции – заполнения ковша. Поэтому в исходных данных использованы минимально допустимые усилия на зубьях ковша, по которым области, где такие усилия не обеспечиваются, исключаются из рабочей зоны.

3. Разработана методика обоснования рациональных параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора с использованием программных систем, имеющих в основе метод конечных элементов. Впервые продемонстрирована расчетная модель рабочего оборудования, в которой включены полные 3D-модели стрелы и рукояти и упрощенная модель ковша для передачи усилий с зубьев на стрелу и рукоять. В модели показана реализация шарнирных соединений стрелы, рукояти и ковша между собой и с соответствующими гидроцилиндрами.

#### **Практическая значимость работы:**

1. Разработано новое конструктивное решение рабочего оборудования гидравлического экскаватора с напорной балкой для поворота стрелы экскаватора. Замена гидроцилиндра поворота стрелы механизмом с напорной балкой исключает изгибающий момент от усилия гидроцилиндра стрелы, как у базовой модели, переносит действие усилия на верхнюю зону стрелы, что позволяет равномерно распределить действующие силовые потоки, и за счет этого уменьшить толщину верхних и нижних листов стрелы. Еще одним достоинством предложенного нового конструктивного решения – это расположение механизма на надстройке по оси платформы, что уменьшает значительно опрокидывающий момент, поэтому появляется возможность увеличения массы ковша с горной массой при неизменном противовесе. Результаты выполненных исследований продемонстрировали эффективность методики для определения рациональных параметров, позволяющих увеличить вместимость ковша на 7 % и, соответственно, производительности экскаватора.

2. Разработана имитационная модель функционирования рабочего оборудования гидравлического экскаватора, которая позволяет определять усилия копания в границах рабочей зоны. Модель реализована в системе Microsoft Excel, имеет удобный интерфейс, снабжена выводом результатов в виде рисунка рабочей зоны с возможными усилиями копания, в табличной форме и в виде графиков, что обеспечивает быстрый анализ и на его основе принятие решений, если в какой-то области не обеспечиваются требуемые усилия копания, то по графикам выявляется лимитирующий механизм и для него может быть увеличено давление.

3. Разработана методика определения рациональных параметров рабочего оборудования по критерию массы, в которой значения параметров, в частности, толщин листов стрелы и рукояти определяются при требовании исключения излишних запасов прочности, за счет чего будет снижена масса металлоконструкций рабочего оборудования и всего экскаватора, появится возможность увеличить вместимость ковша и, соответственно, производительность экскаватора.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании гидравлических экскаваторов.

Проведенные в работе исследования будут полезны организациям, эксплуатирующим гидравлические экскаваторы, а также фирмам-производителям.

#### **Обоснованность и достоверность положений, выносимых на защиту, выводов и рекомендаций**

Сформулированные в диссертационной работе положения соответствуют поставленной цели – совершенствованию гидравлических экскаваторов.

1. По первому научному положению «Максимальное усилие на зубьях ковша гидравлического экскаватора определяется с учетом всех предельных усилий на штоках гидроцилиндров рабочего оборудования и устойчивости экскаватора» проведены теоретические исследования, на основе которых составлена математическая модель кинематического и силового анализа, разработаны алгоритм и программа для ЭВМ на алгоритмическом языке. Проведенными с помощью разработанного программного продукта исследованиями доказано, что при расчете усилий на зубьях ковша необходимо учитывать действие всех трех основных механизмов рабочего оборудования, а также устойчивость экскаватора, так как при превышении допустимого усилия на штоке любого гидроцилиндра происходит «просадка» его штока и снижается усилие на ковше.

2. По второму положению «Конструкция рабочего оборудования гидравлического экскаватора при исключении гидроцилиндров поворота стрелы и использовании механизма с напорной балкой обеспечивает снижение массы стрелы и рукояти, за счет чего возможно увеличение вместимости ковша и, как следствие, повышение производительности экскаватора» приведена разработанная автором оригинальная схема (Патент № 2772037 С1 Российская Федерация, МПК E02F 3/30. Рабочее оборудование экскаватора: № 2021122144: заявл. 27.07.2021; опубл. 16.05.2022). Для доказательства положения составлена математическая модель кинематического и силового анализа, по которой определены действующие нагрузки, использованные для исследований напряженно-деформированного состояния рабочего оборудования, как при копании, так и при транспортировании ковша. Исследованиями доказано, что для предлагаемой конструкции возможно снижение массы стрелы и рукояти и за счет этого на 7 % увеличение вместимости ковша.

3. В третьем положении «Исследования напряженно-деформированного состояния элементов рабочего оборудования позволяют выявить закономерности определения рациональных параметров» на основе вычислительного эксперимента обоснованы рациональные значения элементов стрелы и рукояти по условию исключения «излишних» запасов прочности, за счет этого может быть снижена масса стрелы и рукояти.

Достоверность положений подтверждается достаточным объемом теоретических изысканий и исследований, обоснованным выбором граничных условий и методов численных экспериментов основанных на теории метода конечных элементов.

Личный вклад соискателя заключается в критическом анализе литературных данных, разработке математической модели, алгоритма и программных модулей на алгоритмическом языке, анализе, обработке и обобщении полученных результатов, формулировке положений, выносимых на защиту.

### **Публикации**

По материалам диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе 5 из перечня рецензируемых научных и научно-технических изданий, рекомендованных ВАК, 4 статьи в журнале входящем в базу данных Scopus и 1 патент на изобретение.

### **Замечания по диссертации**

1. Объектом исследования диссертационной работы следует считать изменение усилий и напряжений в элементах конструкции рабочего оборудования при копании

горной массы карьерным гидравлическим экскаватором, а предметом исследования – конструктивные параметры рабочего оборудования гидравлического экскаватора.

2. Диссертация, стр. 51, рис. 2.3, стр. 89 рис. 3.4, автореферат, рис. 7, 9 – Результаты расчета усилий. Представленные на рисунках диаграммы не информативны, не ясно, что представлено по оси ординат, следовательно, не понятна выявленная зависимость.

3. В разработанной методике определения рациональных параметров продемонстрирован поиск толщины листов, из которых рекомендуется изготовление стрелы и рукояти, но не показано, возможно ли изменение конструктивных схем стрелы и рукояти для снижения металлоемкости?

4. В главе 1 показаны случаи появления трещин в стреле и рукояти зарубежных моделей, все дальнейшие исследования проведены для модели ЭГ-110 (Россия), в диссертации не виден анализ зарубежных моделей с применением разработанной методики.

5. Автореферат, стр. 8. ЭГ-110 производства ИЗ-КАРТЭКС, а далее ОАО «Ижорские заводы». Также название компании изготовителя автором по тексту диссертации написано и заглавными, и строчными буквами: нет единообразия

6. По тексту диссертации встречаются орфографические и пунктуационные ошибки.

#### **Заключение о соответствии диссертации и автореферата требованиям Положения о присуждении ученых степеней**

Диссертационная работа Безкоровайного Павла Геннадьевича представляет собой самостоятельную, законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований по выявлению закономерностей изменения усилий копания и нагрузок в металлоконструкциях рабочего оборудования экскаватора дано научно обоснованное решение научно-технической задачи – повышение эффективности функционирования гидравлических экскаваторов, за счет выбора рациональных параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора, имеющие существенное значение для развития горной отрасли страны.

Написанная автором диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты.

Автореферат диссертации отражает ее основные научные положения, выводы и рекомендации, а также научную и практическую ценность работы.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы, апробированы на конференциях и известны научной общественности.

Замечания по диссертационной работе не снижают ее научной и практической ценности, не умаляют результатов выполненных исследований.

Диссертационная работа П.Г. Безкоровайного соответствует паспорту специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины (пп. 14. Критерии и технологические требования при создании новых и совершенствования применяемых горных машин с учетом особенностей условий их эксплуатации при разработке месторождений твердых полезных ископаемых; 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) и требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, а её автор, Безкоротайный Павел Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины.

Официальный оппонент кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машиностроения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

\_\_\_\_\_ Шибанов Даниил Александрович  
«17» марта 2025 г.

Почтовый индекс: 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра машиностроения  
Тел.: +7 (812) 3288632; e-mail: [Shibanov\\_DA@pers.spmi.ru](mailto:Shibanov_DA@pers.spmi.ru)

Я, Шибанов Даниил Александрович, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку

«17» марта 2025 г. Шибанов Даниил Александрович