

ОТЗЫВ
официального оппонента

на диссертационную работу **Бугебрин Шуаиб** на тему:
**«Обоснование рационального позиционирования гидравлического
экскаватора на слабоустойчивых уступах карьеров нерудных
материалов»**, представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 2.8.8 «Геотехнология, горные машины»

На отзыв представлена диссертационная работа на 177 страницах, состоящая из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 209 наименований, 6 приложений; содержит 52 рисунка и 26 таблиц.

Содержание автореферата соответствует диссертации, изложено на 24 страницах, включает 12 рисунков и 1 таблицу.

Актуальность работы

Современное развитие горнодобывающей отрасли сопровождается устойчивым увеличением объемов добычи нерудных полезных ископаемых, в частности, песка и торфа, что обусловлено их широким использованием в строительной индустрии, агропромышленном комплексе и природоохранных технологиях. Рост потребности в этих видах сырья требует повышения эффективности открытых горных работ, обеспечивающих стабильное снабжение перерабатывающих и строительных предприятий минеральными ресурсами.

Выемка нерудных материалов осуществляется преимущественно открытым способом с формированием карьеров, разрабатываемых, как правило, одним или несколькими уступами. В условиях применения традиционного выемочно-транспортного комплекса «экскаватор–самосвал» особое значение приобретает организация технологического процесса на рабочем уступе, включающая выбор положения экскаватора, размещение транспортных средств, соблюдение допустимых расстояний до бровки уступа и обеспечение устойчивости оборудования на опорной поверхности.

Учитывая изменчивость горно-геологических условий, различную несущую способность грунтов основания, влияние угла откоса уступа, параметров бермы, а также наличие людей и вспомогательной техники в рабочей зоне, актуализируется задача обеспечения рационального позиционирования карьерного экскаватора и согласованности его работы с транспортным оборудованием. В таких условиях недостаточная обоснованность расположения машин на уступе может приводить к снижению производительности погрузочно-транспортного цикла, увеличению простоев, потере устойчивости техники и возникновению аварийно-опасных ситуаций.

В связи с этим, особую значимость приобретает внедрение систем искусственного интеллекта, способных в режиме реального времени анализировать совокупность эксплуатационных параметров, контролировать состояние рабочей площадки, определять безопасные зоны функционирования оборудования и формировать рекомендации по адаптации положения экскавато-

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-309 от 13.07.26
АУ УС

ра и самосвала к изменяющимся условиям разработки. Использование интеллектуальных алгоритмов управления позволяет обеспечить не только повышение производительности выемочно-транспортного комплекса, но и снижение технологических рисков при ведении добычных работ.

Таким образом, диссертационная работа, направленная на обоснование рационального позиционирования карьерного экскаватора с использованием элементов искусственного интеллекта при добыче нерудных материалов, является **актуальной**. По своей направленности диссертационная работа соответствует специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины».

Степень обоснованности и достоверности защищаемых положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, и их новизна

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, патентный анализ, проведение лабораторных и полупроизводственных экспериментальных исследований, а также применение методов математического моделирования, регрессионного анализа, математической статистики и цифровой обработки экспериментальных данных.

Автором проведён содержательный анализ условий функционирования одноковшового гидравлического экскаватора при добыче песка и торфа на слабонесущих уступах, что позволило выявить совокупность факторов, определяющих устойчивость машины в рабочей зоне. К числу наиболее значимых факторов обоснованно отнесены номинальное давление на грунт, угол откоса уступа, ширина предохранительной бермы, геометрические параметры расположения машины относительно линии бровки, а также условия взаимодействия с карьерным автосамосвалом.

Достоверность результатов обеспечивается тем, что экспериментальные исследования проводились на моделях уступов из натуральных материалов с варьированием ключевых параметров нагрузки от модели экскаватора, 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 для оценки коэффициента запаса устойчивости машины.

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

Защищаемые положения:

1. Математическая модель устойчивости гидравлического экскаватора на уступе карьера устанавливает зависимость коэффициента запаса устойчивости от номинального давления на грунт (NGP), угла откоса (α) и ширины

бермы (B) с коэффициентами весомости факторов: $NGP - 0,3-0,7$; $\alpha - 0,2-0,5$; $B - \text{до } 0,1$.

2. Использование разработанного алгоритма управления позиционированием машин на карьерах нерудных материалов позволяет сократить продолжительность рабочего цикла на 13 % и снизить продолжительность простоев оборудования на 25 – 50 %.

Научные результаты работы, их ценность

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель рационального позиционирования гидравлического экскаватора на слабоустойчивых уступах карьеров при добыче нерудных материалов, учитывающая номинальное давление на грунт, угол откоса уступа, ширину бермы для выполнения условия устойчивости экскаватора на уступе.

2. Разработан алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений по выбору рационального позиционирования гидравлического экскаватора на уступе карьера, основанный на интеграции данных о геометрии уступа, физико-механических характеристик грунта и номинальном давлении на грунт, обеспечивающий автоматизированный контроль допустимых режимов функционирования машин.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Разработаны математические модели, учитывающие номинальное давление на грунт, угол откоса и пространственное позиционирование гидравлического экскаватора. Получены расчётные зависимости (отдельно для условий добычи песка, торфа), позволяющие прогнозировать устойчивость гидравлического экскаватора на уступах при заданных параметрах.

2. Разработан алгоритм управления позиционированием гидравлического экскаватора на слабоустойчивых уступах карьеров при добыче нерудных материалов, обеспечивающий автоматическую корректировку в зависимости от геометрии уступа и параметров грунта.

3. Разработано техническое решение на устройство для контроля рабочей зоны экскаватора (патент на изобретение № 2855340, Приложение Д), разработан комплект программ для ЭВМ: программа помощи оператору при позиционировании экскаватора на уступе нерудных карьеров; программа контроля рабочей зоны экскаватора при позиционировании на уступе нерудных карьеров; программа контроля осадки ходовой части экскаватора при работе на уступах нерудных карьеров (свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ №№ 2025615460, 2025664988, 2025666286, Приложение Д).

4. Результаты работы использованы в производственной деятельности компании ООО «Мелиоратор» путем применения рекомендаций по внедрению системы управления позиционированием экскаватора на песчаном карьере с применением сенсоров наклона типа LiDAR (акт внедрения от 14.01.2026 г., Приложение Е).

5. Результаты работы использованы в производственной деятельности компании ООО «БХЗ» при разработке проекта организации ведения горных

работ на торфяном месторождении «Ларьянское» в качестве рекомендаций по внедрению системы контроля осадки ходовой части экскаватора на слабом торфяном основании, а также увеличению устойчивости гидравлического экскаватора на водонасыщенных и слабонесущих уступах торфяных карьеров (акт внедрения от 16.12.2025 г., Приложение Е).

Личный вклад соискателя

Личный вклад соискателя заключается в постановке цели и задач исследования, анализе отечественной и зарубежной литературы, разработке программы и методик проведения экспериментальных исследований, организации и выполнении лабораторных экспериментов, анализе и обобщении полученных результатов, разработке алгоритма позиционирования экскаватора, а также в подготовке публикаций по теме диссертации.

Оценка содержания диссертации

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предложено научно обоснованное техническое решение актуальной задачи по обоснованию структуры и параметров системы позиционирования гидравлического экскаватора в условиях добычи нерудных материалов (песка, торфа).

Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 9 печатных работах, в том числе в 2 статьях 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 на изобретение и 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Замечания, пожелания и вопросы по работе

1. Как именно в лабораторных экспериментах было учтено влияние масштабного фактора при переходе от модели экскаватора ($Kэ = 0,05$) к реальному экскаватору SANY SY135C, как это повлияло на точность определения критических нагрузок?
2. Каким образом, установленные вами, зоны риска (0-5 м, 5-10 м, 10-20 м) коррелируют с геометрическими и динамическими параметрами конкретного экскаватора? Почему зона высокого риска ограничена 5 метрами, хотя теоретически ковш может достигать расстояния более 8 метров?
3. Указанные в практических рекомендациях значения рационального отступа от бровки (0,75–1,75 м) получены для всего диапазона исследованных факторов? Или эти рекомендации требуют уточнения в зависимости от конкретного типа грунта, уровня грунтовых вод и величины номинального давления на грунт?
4. На стр. 98 и в таблице 24 показано сравнение эффективности «боковой компоновки» LiDAR с использованием четырёх датчиков и «верхней компоновки» с использованием одного датчика, и сделан вывод о преимуществе боковой. Корректно ли сравнивать разные схемы размещения при разном количестве датчиков? Не является ли

- полученное преимущество следствием именно увеличения числа сенсоров, а не их расположения?
5. В работе предложено использовать боковые LiDAR-датчики для точного контроля зоны высокого риска. Стоимость подобного оборудования может быть высока. Оценивался ли экономический эффект от внедрения системы позиционирования?
 6. В работе получены две разные математические модели коэффициента запаса устойчивости для песка и торфа. Коэффициенты весомости факторов для этих моделей существенно различаются: для песка доминирует угол откоса, для торфа – номинальное давление на грунт. Чем объясняется такая смена доминирующего фактора? Какое физическое обоснование этого различия?
 7. В работе вы используете метод Денавита-Хартенберга для кинематического анализа движения ковша при разгрузке в самосвал. Этот метод широко применяется в робототехнике для управления манипуляторами. Рассматривали ли вы возможность использования вашего кинематического решения не только для контроля положения ковша, но и для автоматического управления движением рабочего оборудования в режиме реального времени?
 8. Основные зависимости для расчёта производительности приведены на стр. 78–81. Однако на стр. 120–122, где непосредственно анализируется продолжительность рабочего цикла и производительность экскаватора по результатам экспериментов, отсутствуют сами формулы или хотя бы ссылки на них. Это затрудняет верификацию результатов и сопоставление экспериментальных данных с принятой методикой расчёта.
 9. В тексте работы встречается 5 специфических, узкоспециализированных сокращений: FoS, NGP, LEM, D–H, LiDAR. Однако список сокращений и условных обозначений отсутствует.
 10. На стр. 103 «Нагружение модели гидравлического экскаватора осуществлялось поэтапно грузами массой от 8 до 70 кг (эквивалентно $160 \geq 700 \text{ Н}$)». 8 кг эквивалентно 80 Н, а не 160 Н.

Заключение по диссертации

Диссертационная работа Бугебрин Шуаиб на тему «Обоснование рационального позиционирования гидравлического экскаватора на слабоустойчивых уступах карьеров нерудных материалов» 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 «Обоснование рационального позиционирования гидравлического экскаватора на слабоустойчивых уступах карьеров нерудных материалов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8 «Геотехнология, горные машины», полностью соответствует требованиям п.п. 9-14 Постановления Правительства РФ

от 24.09.2013 № 842 (ред. от 16.10.2024) «О порядке присуждения ученых степеней» (вместе с "Положением о присуждении ученых степеней") (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025) и 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 Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор, Бугебрин Шуаиб, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8 «Геотехнология, горные машины».

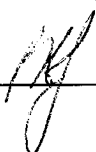
Официальный оппонент:

доцент кафедры горных машин и комплексов
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный горный университет»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: SergeyHoroshavin@m.ursmu.ru
тел. 8(343) 283-06-71

**Хорошавин Сергей
Александрович**

10.07.2026

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

 _____ **Хорошавин Сергей Александрович**

Подпись официального оппонента, к.т.н., доцента, доцента кафедры горных машин и комплексов Хорошавина Сергея Александровича заверяю:

Начальник ОК
ФГБОУ ВО «УГГУ»





**Сабанова
Татьяна Борисовна**

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»,
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д.30, тел.: +7 (343) 257-11-46,
сайт: <http://www.ursmu.ru>