

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.423.02,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 21.12.2023 № 5

О присуждении Летневу Константину Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Обоснование рациональных режимных параметров главных механизмов карьерных экскаваторов» по специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины» принята к защите 13.10.2023 (протокол заседания № 3) диссертационным советом 24.2.423.02, созданным на базе ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, утвержденным приказом Минобрнауки 12.10.2022 г. № 1194/нк.

Соискатель Летнев Константин Юрьевич, 5 декабря 1976 года рождения, в 2007 году окончил обучение в ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ» по специальности «Менеджмент организации» с присуждением квалификации «Менеджер», в 2011 году окончил обучение в ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по специальности «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» с присуждением квалификации «Инженер», в 2020 году окончил аспирантуру ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению подготовки 15.06.01 «Машиностроение» с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов по дисциплинам «История и философия науки (технические науки)» и «Иностранный язык (английский язык)» выдана 22 сентября 2023 г. ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Справка о сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине «2.8.8. Геотехнология, горные машины» выдана 25 сентября 2023 г. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».

Соискатель работает ведущим инженером и старшим преподавателем кафедры подъемно-транспортных машин и роботов ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Диссертация «Обоснование рациональных режимных параметров главных механизмов карьерных экскаваторов» выполнена на кафедре подъемно-транспортных машин и роботов ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Лукашук Ольга Анатольевна, заведующий кафедрой подъемно-транспортных машин и роботов ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Официальные оппоненты:

Иванов Сергей Леонидович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра машиностроения, профессор кафедры;

Иов Иван Алексеевич, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», кафедра горных машин и электромеханических систем, доцент кафедры

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово в своем положительном отзыве, подписанном доктором технических наук, профессором кафедры горных машин и комплексов, Маметьевым Леонидом Евгеньевичем, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом кафедры горных машин и комплексов, Борисовым Андреем Юрьевичем и утвержденном кандидатом технических наук, заведующим кафедрой горных машин и комплексов,

Ананьевым Кириллов Алексеевичем, указала, что диссертационная работа является актуальной, научные положения, выносимые на защиту, в полной мере отражают содержание результатов работы, отметила новизну исследований и значимость полученных результатов для науки и производства, дала рекомендации по использованию результатов и выводов исследований.

Соискатель имеет 57 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 24 работы, из них в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК опубликовано 6 работ.

#### Наиболее значимые работы

1. Лукашук, О. А. Определение режимных параметров рычажного механизма карьерного экскаватора / О. А. Лукашук, К. Ю. Летнев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2021. № 2. С. 94-102.

2. Комиссаров, А. П. Особенности режимов нагружения канатов подъемного и напорного механизмов карьерного экскаватора / А. П. Комиссаров, С. А. Хорошавин, К. Ю. Летнев // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 5(151). С. 22-27.

3. Летнев, К. Ю. Энергоемкость процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием типа прямая лопата карьерного экскаватора / К. Ю. Летнев // Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 3(143). С. 9-13.

4. Определение энергоемкости процесса экскавации рабочим оборудованием типа прямая лопата карьерного экскаватора / А. П. Комиссаров, Н. С. Плотников, О. А. Лукашук, К. Ю. Летнев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2019. № 1. С. 112-118.

5. Лукашук, О. А. Определение энергозатрат при экскавации грунта / О. А. Лукашук, К. Ю. Летнев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 6. С. 113-118.

6. Лукашук, О. А. Определение режимов работы двигателей главных механизмов одноковшового экскаватора / О. А. Лукашук, К. Ю. Летнев, А. П. Комиссаров // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2017. № 5. С. 52-58.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Панфилова Ольга Рашидовна, к.т.н., доцент кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

- Адекватность имитационной модели процесса экскавации подтверждается сходимостью результатов вычислительного эксперимента с данными натурных испытаний, однако в автореферате эти испытания не описаны и не показано, какие именно параметры сравниваются.

- Экономический эффект определен для одного расчетного случая. Не совсем понятно, на каком основании выбран именно этот расчетный случай.

2. Гуров Михаил Юрьевич, к.т.н., доцент, ведущий инженер проектов, ООО «Комплексное Проектирование», г. Магнитогорск.

- Некорректно приведен термин «обратимость», применительно к главным механизмам карьерной мехлопаты, вместо цикличности.

- Не обосновано синонимизированы термины «максимальная высота черпания» и «высота уступа».

- Из автореферата неясно, каким образом увязывается максимальное усилие на рукояти при черпании с установленной мощностью сетевого двигателя экскаватора.

3. Кувшинкин Сергей Юрьевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры машиностроения, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», г. Санкт-Петербург.

- Вычислительный эксперимент по расчету режимных параметров главных механизмов экскаватора выполнен на примере карьерного экскаватора ЭКГ-20А, снятого с производства.

- На рисунке 2 приведена кинематическая схема рычажного механизма, в котором звено 2 представляет собой подъемный канат и подвеску ковша. Представляется странным, что гибкая связь рассматривается как жесткий стержень.

4. Никитин Александр Григорьевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры механики и машиностроения, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк.

- Из текста автореферата не ясно, почему происходит рассогласование рабочих движений и перемещений ковша, приводящее к увеличению потребления мощности (таблица 2 и рисунок 7).

5. Корчагин Павел Александрович, д.т.н., профессор, проректор по научной работе и цифровой трансформации, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет», г. Омск.

- Не ясен критерий рациональности режимных параметров главных механизмов.

- В автореферате не приведены данные натурных испытаний, с которыми сравниваются результаты вычислительного эксперимента.

6. Гончаров Кирилл Александрович, д.т.н., доцент, проректор по инновационному развитию, информатизации и цифровой трансформации, ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», г. Брянск.

- В автореферате указано, что силовой анализ рычажного механизма проводился без учета сил инерции ввиду их малости. Хотелось бы увидеть обоснование такого решения, т.к. масса ковша и рукояти значительна, а развиваемые их центрами масс ускорения в автореферате не проанализированы.

- Хотелось бы уточнить, чем проведенный силовой анализ рычажного механизма отличается от существующих? Карьерные экскаваторы производятся достаточно давно, и подобные силовые и кинематические расчеты (классические для теории машин и механизмов) существуют, апробированы и имеют собственную определенную степень точности.

- Каким образом в работе учитывались колебания системы «рукоять-ковш» с учетом упругости подъемного каната, что несомненно повлияет не только на динамические процессы движения данной системы, но и на кинематические расчеты в связи с изменением ее положения вследствие постепенной вытяжки каната во времени?

7. Муравский Александр Константинович, к.т.н., доцент кафедры горной электромеханики, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.

- На рис. 5,а показан график зависимости скорости подъема от высоты копания при перемещении ковша, при этом на графике кривая конечной траектории обозначена штриховой линией, а в подписи к графику - штрихпунктирной линией.

- Стр. 19. Установлено, что для расчетного случая (прямолинейная траектория, постоянная скорость копания – 1 м/с, угол наклона траектории –  $60^\circ$ , высота копания – 12 м) для одного экскаватора ЭКГ-20А возможно снижение энергозатрат за день до 5167 кВт\*ч. Из автореферата не ясно, для какой горной породы проводился расчет и учитывался ли при расчете угол резания зубьями ковша?

8. Недорезов Илья Валерьевич, к.т.н., ведущий инженер, ПАО «Уралмашзавод», г. Екатеринбург.

- В работе отсутствуют рекомендации о возможности применения методики к задачам выбора мощности привода новых экскаваторов.

- В автореферате и в диссертации не приведены методика и результаты сравнения, которые доказывают, что «Адекватность модели подтверждается удовлетворительной сходимостью (отклонение значений не более 10-15%) результатов вычислительного эксперимента с данными натурных испытаний».

- В методике не учтены свойства грунта и место встречи ковша с ним.

- Отсутствуют практические рекомендации к разработке ограничений и требований к алгоритмам управления реальным процессом копания на экскаваторах с прямой лопатой в ручном и полуавтоматическом режимах. В

предложенном на стр. 14 автореферата алгоритме управления отсутствует учет обратных связей с практическими нагрузками на каждый привод экскаватора, которые можно измерить: мощности привода, реальные токи двигателей, положение исполнительных органов и т.п.

9. Русин Евгений Павлович, к.т.н., старший научный сотрудник отдела горной и строительной геотехники, ФГБУН Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН), г. Новосибирск.

- Ввиду малых величин сил инерции силовой анализ рычажного механизма проведен без их учета. Для обоснования этого допущения следовало бы привести данные о соотношении сил инерции и основных действующих сил.

- На графиках рис. 5 обозначения осей ординат не соответствуют обозначениям скоростей подъема и напора, принятым в тексте автореферата, а также не вполне ясны обозначения траекторий.

10. Сысоев Николай Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры горного дела, Гринько Дмитрий Александрович, к.т.н., доцент кафедры горного дела, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова», г. Новочеркасск.

- По автореферату не ясно каким образом в разработанной математической модели учитываются прочностные и упругие параметры экскавируемых горных пород, а также такие как объемная масса и абразивность, которые, несомненно, влияют на усилия подъема и внедрения, а также на износ рабочей части ковша.

- На стр. 13 автореферата сказано, что «При перемещении ковша по средней траектории скорость подъема уменьшается и при максимальной высоте копания имеет практически нулевое значение...», однако в таблице 1 на стр. 12 автореферата указано, что при перемещении по средней траектории скорость подъема уменьшилась с 0,88 до 0,62 м/с, что далеко от «практически нулевого значения». Не ясно, с чем связано такое несоответствие.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высоким квалифицированным уровнем, наличием научных работ,

опубликованных в рецензируемых научных журналах за последние 5 лет и связанных с темой диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** математическая модель процесса экскавации, описывающая кинематические и динамические передаточные функции рычажного механизма рабочего оборудования прямая лопата карьерного экскаватора, определяющие соотношения между скоростью копания и скоростями подъема и напора и соотношения между касательной составляющей силы сопротивления копанию и усилиями подъема и напора;

**предложены** методика расчета режимных параметров главных механизмов и имитационная модель процесса экскавации, позволяющие учесть кинематические свойства общего передаточного механизма и определить рациональные значения скоростей подъема и напора, обеспечивающие перемещение ковша по заданной траектории при заданных энергосиловых параметрах, реализуемых на ковше;

**доказано** наличие закономерностей функционирования главных механизмов карьерного экскаватора при их совместном действии в процессе отработки экскаваторного забоя в виде функциональных зависимостей между параметрами, определяющими положение ковша в забое, и режимными параметрами главных механизмов;

**введено** новое понятие общего передаточного механизма приводов главных механизмов, включающего главные механизмы и рычажный механизм, соединяющий главные механизмы с ковшом и преобразующий движения звеньев главных механизмов в перемещение ковша.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**доказаны** положения методологии определения режимных параметров главных механизмов и оценки уровня энергопотребления при отработке экскаваторного забоя, вносящие вклад в развитие теории и практики процесса экскавации горных пород и эксплуатации карьерных экскаваторов;



**применительно к проблематике диссертации результативно** использован комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе методов структурного, кинематического и силового анализа рычажного механизма, математического и имитационного моделирования процесса экскавации, вычислительного эксперимента;

**изложены** элементы теории формирования рациональных режимов совместной работы главных механизмов в процессе копания, реализующих заданный закон движения ковша в конкретных условиях эксплуатации;

**раскрыта** проблема несогласованности режимных параметров и противодействия главных механизмов при их совместной работе в процессе экскавации горных пород;

**изучены** факторы, влияющие на уровень энергопотребления двигателей при отработке экскаваторного забоя;

**проведена модернизация** алгоритма формирования траектории движения ковша с учетом определения рациональных значений скоростей подъема и напора при заданной скорости копания, что обеспечивает получение новых результатов по теме диссертации.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны** методика и программа расчета режимных параметров главных механизмов карьерного экскаватора при перемещении ковша по заданным траекториям и при заданных энергосиловых параметрах, реализуемых на ковше, **внедренные** в производственную деятельность Отдела экскаваторного оборудования ПАО «Уралмашзавод» и ООО «Комплексное проектирование» для использования в опытно-конструкторской и аналитической работе, в учебный процесс Уральского федерального университета для использования в лекционных, практических и лабораторных занятиях;

**определены** перспективы практического использования результатов работы для формирования рациональных энергоэффективных схем отработки забоев в конкретных условиях эксплуатации;

**создан** алгоритм управления процессом экскавации на основе модели единичного шага перемещения ковша и формирования управляющего воздействия на приводы главных механизмов;

**представлены** рекомендации по применению и дальнейшему совершенствованию результатов работы для разработки адаптивной системы цифрового управления приводами главных механизмов, обеспечивающей за счет согласования скоростей рабочих движений в конкретных условиях эксплуатации повышение эффективности функционирования экскаватора.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**для экспериментальных работ** показана воспроизводимость результатов исследования для различных одноковшовых экскаваторов с рабочим оборудованием прямая лопата с выдвижной рукоятью и речным напором при эксплуатации в различных горнотехнических условиях;

**теория построена** на известных, проверяемых фактах, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

**идея базируется** на анализе практики, обобщении отечественного и зарубежного передового опыта эксплуатации карьерного выемочно-погрузочного оборудования, обоснования рациональных значений режимных параметров главных механизмов карьерного экскаватора для конкретных условий эксплуатации, разработки алгоритмов управления движением ковша экскаватора;

**использованы** сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

**установлено** качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке задач и непосредственном участии на всех этапах диссертационного исследования; совместном проведении

экспериментальных исследований, обработке и интерпретации экспериментальных данных; апробации результатов исследования на всероссийских и международных научно-технических и практических конференциях; подготовке научных публикаций по результатам исследований; выполнении структурного, кинематического и силового анализа рычажного механизма; разработке математической и имитационной моделей процесса экскавации горных пород; проведении вычислительного эксперимента для определения рациональных значений скоростей подъема и напора и оценки уровня энергопотребления при экскавации грунта; разработке алгоритма управления приводами главных механизмов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Обосновывается ли в работе, почему в модели не учитывались силы инерции, растяжения тросов, доказывается ли, что эти силы ничтожно малы для модели, работы механизмов?

2. В тексте диссертации не приводятся конкретные данные, доказывающие адекватность предложенной модели, сходимость результатов вычислительного эксперимента с натурными испытаниями.

3. Как изменятся результаты вычислительного эксперимента при выборе другого экскаватора типа ЭКГ, при каких условиях обеспечивается приведенный экономический эффект, универсальна ли предложенная модель?

4. Приведенная структурная формула механизма является стандартной, число степеней свободы не требует доказательства.

5. За счет чего происходит согласование режимных параметров главных механизмов, что является критерием рациональности режимов главных механизмов?

Соискатель Летнев К. Ю. ответил на замечания 1, 3 и 5, согласился с замечаниями 2 и 4.

На заседании 21.12.2023 диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технико-технологические решения и разработки,

имеющие существенное значение для развития страны, что соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, присудить Летневу К. Ю. ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины», участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Лель Юрий Иванович

Учёный секретарь  
диссертационного совета

Пелевин Алексей Евгеньевич

21 декабря 2023 г.