

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 10.04.2025 № 5

О присуждении Безкоровайному Павлу Геннадьевичу, гражданину Республики Казахстан, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Обоснование рациональных параметров рабочего оборудования прямая лопата гидравлического экскаватора» по специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины» принята к защите 21.01.2025 (протокол заседания № 1) 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 Безкоровайный Павел Геннадьевич, 06 мая 1982 года рождения, в 2004 году окончил с отличием специалитет «Карагандинского государственного технического университета» по специальности «Динамика и прочность машин» с присуждением квалификации «Инженер-механик-исследователь», в 2024 году – аспирантуру горно-механического факультета ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» 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)», «Иностранный язык (английский язык)» и «Специальная дисциплина» выдана 13 декабря 2024 г. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».

Соискатель работает в должности старшего преподавателя кафедры «Механика» Некоммерческого Акционерного Общества «Карагандинский техниче-

ский университет имени Абылкаса Сагинова» (Республика Казахстан, г. Караганда).

Диссертация «Обоснование рациональных параметров рабочего оборудования прямая лопата гидравлического экскаватора» выполнена на кафедре горных машин и комплексов ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, Шестаков Виктор Степанович, профессор кафедры горных машин и комплексов ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».

Официальные оппоненты:

Хорешок Алексей Алексеевич, доктор технических наук (05.05.06 – «Горные машины»), профессор кафедры горных машин и комплексов ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово;

Шибанов Даниил Александрович, кандидат технических наук (05.05.06 – «Горные машины»), доцент кафедры машиностроения ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», г. Санкт-Петербург

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург) в своем положительном отзыве, подписанном кандидатом технических наук, доцентом, заведующей кафедрой «Подъемно-транспортные машины и роботы» Лукашук Ольгой Анатольевной, указала, что диссертационная работа представляет собой самостоятельную, законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании теоретических исследований изложены новые научно обоснованные технические решения актуальной научно-практической задачи повышения эффективности карьерных гидравлических экскаваторов, имеющие существенное значение для горнодобывающей отрасли Российской Федерации и Республики Казахстан, отме-

тила новизну исследований и значимость полученных результатов для науки и производства, дала рекомендации по использованию результатов и выводов исследований.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК опубликовано 5 работ, а также 4 работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях Scopus / Web of Science.

#### Наиболее значимые работы

1. Шестаков, В. С. Исследование нагруженности рабочего оборудования гидравлического экскаватора / В. С. Шестаков, И. В. Телиман, П. Г. Безкоровайный // Горное оборудование и электромеханика. – 2024. – № 1(171). – С. 18-23. – DOI 10.26730/1816-4528-2024-1-18-23.

2. Безкоровайный, П. Г. Изменение нагрузок на рабочем оборудовании гидравлического экскаватора при копании крайним зубом / П. Г. Безкоровайный, В. С. Шестаков // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 5(151). – С. 3-8. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-5-3-8.

3. Безкоровайный, П. Г. Исследование нагружения рабочего оборудования гидравлического экскаватора при транспортировании ковша / П. Г. Безкоровайный, В. С. Шестаков, Т. И. Юсупов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 11-1. – С. 209-218.

4. Безкоровайный, П. Г. Оптимизация рабочего оборудования гидравлического экскаватора / П. Г. Безкоровайный, В. С. Шестаков, В. И. Нестеров // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 6(158). – С. 3-8. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-6-3-8.

5. Безкоровайный, П. Г. Определение рациональных параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора с напорным звеном / П. Г. Безкоровайный, В. С. Шестаков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2023. – № 1. – С. 25-35. – DOI 10.21440/0536-1028-2023-1-25-35.

6. Shestakov, V. Determination of the working area of a hydraulic excavator / V. Shestakov, T. Franz, P. Bezkorovainyy // E3S Web of Conferences : 18, Ekaterinburg, 02–11 апреля 2020 года. – Ekaterinburg, 2020. – P. 03017. – DOI 10.1051/e3sconf/202017703017.

7. Shestakov, V. Features of the Issues of Modeling the Working Process of a Hydraulic Excavator with a Front Shovel / V. Shestakov, P. Bezkorovainyy // Material and Mechanical Engineering Technology. – 2022. – Vol. 3, No. 3. – P. 35-41. – DOI 10.52209/2706-977X\_2022\_3\_35.

8. Calculating Design and Mode Parameters of Mine Hydraulic Excavator Working Equipment Mechanisms / I. Teliman, N. Malybayev, P. Bezkorovainyy [et al.] // Material and Mechanical Engineering Technology. – 2022. – Vol. 1, No. 1. – P. 19-26. – DOI 10.52209/2706-977X\_2022\_1\_19.

9. Hydraulic Excavator Bucket Modeling with a Straight Shovel along a Defined Trajectory / P. G. Bezkorovainyy, I. V. Teliman, N. S. Malybaev, V. S. Shestakov // Material and Mechanical Engineering Technology. – 2023. – Vol. 1, No. 1. – P. 29-33.

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. Кузин Евгений Геннадьевич, к.т.н., доцент кафедры технологии и комплексной механизации горных работ, Филиал ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», г. Прокопьевск.

- В тексте автореферата не указано (стр. 10), на каком алгоритмическом языке программирования составлена программа для проведения исследования изменения подачи насосов для движения ковша по наклонной и горизонтальной траектории;

- В последнем абзаце на стр. 14 фраза требует пояснения: «Суть алгоритма: на зубьях ковша вначале задается очень большое усилие копания...» - не ясны единицы измерения в кН или в % от максимально допустимого.

2. 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, что является причиной образования трещин в стреле и рукояти (стр. 7)?

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

- На стр. 7, 8 автореферата рассмотрен опыт эксплуатации гидравлических экскаваторов и показаны дефекты на стрелах и рукоятях зарубежных моделей, а также отмечено, что экскаватор Ижорского завода таких дефектов не имеет. Из текста автореферата непонятно, при одинаковых ли горно-технологических условиях эксплуатировались машины?

4. Воронова Элеонора Юрьевна, д.т.н., зав. кафедрой фундаментальных инженерных дисциплин, Ляшенко Алена Юрьевна, к.т.н., доцент кафедры фундаментальных инженерных дисциплин, Шахтинский автодорожный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова», г. Шахты.

- В автореферате содержится обоснование выбора экскаватора ЭГ-110 в качестве прототипа, но не рассмотрены возможные альтернативные модели с аналогичными характеристиками. Было бы полезно привести сравнительный анализ нескольких вариантов, с указанием количества эксплуатируемых и выпускаемых экскаваторов, что позволило бы убедительнее продемонстрировать преимущества выбранной модели.

- В разделе, посвященном расчету напряженно-деформированного состояния, предложены способы снижения массы рабочего оборудования. Однако, в автореферате отсутствует информация о возможных изменениях в динамических характеристиках машины при снижении массы стрелы и рукояти. Уточнение данного аспекта позволило бы более полно оценить влияние модернизации на эксплуатационные параметры экскаватора.

5. Чешин Дмитрий Олегович, к.т.н., старший научный сотрудник отдела горной и строительной геотехники, ФГБУН «Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН», лаборатория горного машиноведения, г. Новосибирск.

- Из автореферата неясно, какой привод используется на напорной балке для поворота стрелы в новой схеме на рисунке 8?

6. Кривенко Александр Евгеньевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»», г. Москва.

- Есть впечатление, что цель работы сформулирована не совсем корректно. За счет совершенствования конструкции можно получить выгоду в виде повышения производительности или долговечности, усовершенствованная конструкция сама нуждается в обосновании рациональных параметров.

- Во втором пункте новизны требуются пояснения, чем созданная автором модель определения границ рабочей зоны отличается от ранее созданных.

- Третье научное положение нуждается в пояснении, о каких рациональных параметрах идет речь?

- Нуждается в расшифровке термин «закон управления приводом...» (стр. 9). Также автор упоминает алгоритм изменения подачи насосов для движения ковша по траекториям. Хотелось бы понять, как автор представляет себе реализацию этой функции в гидравлической системе карьерного гидравлического экскаватора?

- Не совсем понятно, как связаны диаграммы рисунка 7 с конструктивными параметрами (стр. 12) всего экскаватора, и о каких параметрах идет речь?

- Автор не всегда корректно применяет терминологию, например, «усилия изгиба и сжатия». «Напряжения изгиба и сжатия, вызванные усилия» - более корректная формулировка. Не совсем понятно, что такое «излишний запас прочности». Также, стрела экскаватора не поворачивается, а поднимается или опускается, поворачивается экскаватор.

7. Рысбеков Канай Бахытович, к.т.н., профессор, директор горно-металлургического института им О.А. Байконурова, Столповских Иван Ники-

тович, д.т.н., профессор, профессор - исследователь, института энергетики и машиностроения им А. Буркетбаева, НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева», горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова.

- На с. 4 цель работы сформулирована как «обоснование рациональных параметров рабочего оборудования, далее по тексту», а на с. 18 в заключении приведено «повышение эффективности работы карьерных гидравлических экскаваторов, далее по тексту». Неясно, какая же из этих формулировок преобладает в работе?

- В математической модели (формулы 1, 2, 3, на с. 11) не указаны границы и пределы изменения входящих в них величин, что затрудняет их использование.

8. Кызыров Кайрулла Бейсенбаевич, к.т.н., профессор кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация», Решетникова Ольга Стасисовна, доктор PhD, и.о. доцента кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», РК г. Караганда.

- В автореферате не раскрыто, как влияет изменение подачи насосов на закон движения ковша по наклонной и горизонтальной траекториям.

- Не указана величина оптимальной толщины листов стрелы и рукояти, полученная в результате оптимизации.

9. Шеров Карибек Тагаевич, д.т.н., профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», академик КазНАЕН, член Международного Союза машиностроителей, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», РК г. Астана.

- Поскольку целью диссертационной работы является обоснование рациональных параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора за счет совершенствования конструкции, было бы интересно узнать вывод об экономической целесообразности решения данной задачи.

10. Алидаров Фарид Насирович, директор Представительства «Оркен-Кентобе» ТОО «Оркен», Представительство "Оркен-Кентобе" ТОО «Оркен», РК Каркаралинский район, с. Бакты.

- Не в полной мере раскрыты возможности применения разработанной компьютерной программы для новой схемы рабочего оборудования гидравлического экскаватора в условиях промышленных предприятий.

11. Саблин Роман Анатольевич, к.т.н., ведущий конструктор, ООО «ИЗКАРТЭКС имени П.Г. Коробкова», г. Санкт-Петербург.

- Исследования напряженно-деформированного состояния стрелы и рукояти проведены при упрощенной схеме ковша, не приведет ли такое упрощение к погрешностям при расчете напряжений рукояти?

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** новая экспериментальная методика на основе моделей кинематического и силового анализа рабочего оборудования, позволяющая выявить качественно новые закономерности исследуемого явления, возможных усилий копания с учетом одновременной работы всех механизмов и устойчивости гидравлического экскаватора;

**предложены** оригинальные суждения по заявляемой тематике определения рациональных параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора, основанных на методе конечных элементов;

**доказана** перспективность новых идей в практике использования программных продуктов для поиска рациональных параметров гидравлического экскаватора;

**введены** новые понятия «устойчивость экскаватора» при определении максимального усилия копания.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**доказана** методика обоснования границ рабочей зоны гидравлического экскаватора, основанная на необходимости учета одновременной работы всех главных механизмов и устойчивости машины;

**применительно к проблематике диссертации результативно** использован комплекс существующих базовых методов, включающих теорию конечных элементов при поиске рациональных параметров, позволяющий увеличить производительность гидравлического экскаватора на 6,7 %;

**изложены** доказательства влияния параметров и конструктивного исполнения рабочего оборудования на основной показатель гидравлического экскаватора – производительность;

**раскрыты** существенные проявления теории взаимодействия ковша с породой с учетом влияния параметров рабочего оборудования на заполнение ковша, силовые и кинематические параметры приводов, массы гидравлического экскаватора;

**изучены** причинно-следственные связи зависимости рациональных параметров рабочего оборудования от кинематических и силовых параметров главных приводов и гидравлического экскаватора в целом;

**проведена модернизация** математической модели, алгоритма и численного метода определения границ рабочей зоны гидравлического экскаватора, обеспечивающих получение новых результатов по выявлению возможности повышения эффективности рабочего процесса.

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

**разработано** новое конструктивное решение рабочего оборудования гидравлического экскаватора с напорной балкой (Патент № 2772037 С1 Российская Федерация, МПК E02F 3/30. Рабочее оборудование экскаватора: № 2021122144 от 16.05.2022);

**разработаны и внедрены** методики определения усилий копания в границах рабочей зоны, рациональных параметров рабочего оборудования гидрав-

лического экскаватора при проведении научно-исследовательских и опытно-промышленных работ в ТОО «KazTechPro», а также в производственном процессе технического обслуживания и ремонта технологического оборудования в КФ ТОО «HANZA-FLEX Гидравлик Алматы».

**определены** пределы значений усилий приводов рабочего оборудования гидравлического экскаватора, оказывающие существенное влияние на усилие копания;

**созданы** алгоритм и программа на алгоритмическом языке, позволяющие выполнять анализ влияния параметров при проектировании экскаватора на основную функцию заполнения ковша, поиск рациональных значений;

**представлены** рекомендации и предложения по дальнейшему совершенствованию конструкции рабочего оборудования гидравлического экскаватора.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**для экспериментальных работ** результаты вычислительного эксперимента получены на сертифицированном оборудовании с применением стандартизованного сертифицированного программного комплекса Компас;

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

**идея базируется** на анализе и обобщении теории и практики отечественного и зарубежного передового опыта эксплуатации карьерных гидравлических экскаваторов;

**использованы** результаты сравнения авторских данных и данных, полученных на предприятии ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова», в частности, по значениям реальных усилий копания экскаватора ЭГ-110.

**установлено** 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: формулировании целей и задач исследования; участии на всех этапах диссертационного исследования – совмест-

ном проведении, анализе, описании и обобщении полученных результатов, написании и оформлении рукописи диссертации, публикации научных работ по результатам исследований; выполнении кинематического и силового анализа рабочего оборудования гидравлического экскаватора; в разработке рекомендаций по определению степени совершенства конструктивных схем механизмов рабочего оборудования за счет оценки режимов работы гидравлического экскаватора; в разработке методики поиска рациональных параметров рабочего оборудования с использованием моделирования напряженно-деформированного состояния основных механизмов рабочего оборудования гидравлического экскаватора.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. На стр. 24-26 приведен анализ результатов эксплуатации зарубежных и Российских моделей гидравлических экскаваторов, но не указано, при одинаковых ли условиях эксплуатировались указанные экскаваторы.

2. На стр. 26 для исследований принят экскаватор ЭГ-110 производства ИЗ-Картэкс, проверялись ли разработанные методики для анализа причин трещин на других моделях?

3. На рис. 4.8 (стр. 102) приведен сборочный чертеж рабочего оборудования с челюстным ковшом, но на рис. 4.10 в результатах расчета приведен ковш упрощенной формы без челюсти, не приведет ли такая замена к погрешности при расчете напряжений стрелы и рукояти?

4. 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?

5. 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.

6. Не корректно указана фамилия автора в списке литературы (п. 33).

Соискатель Безкоровайный ответил на замечания 1-5 согласился с замечанием 6.

На заседании 19.12.2024 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 Безкоровайному П.Г. ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 10 докторов наук по специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины», участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14 , против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета

Лель Юрий Иванович

Учёный секретарь диссертационного совета

Пелевин Алексей Евгеньевич

10 апреля 2025 г.