

Научная статья

УДК 622.23.05

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50

Дубинкин Дмитрий Михайлович, кандидат техн. наук, доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

E-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

ОСНОВЫ ЦИФРОВОГО СОЗДАНИЯ АВТОНОМНЫХ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ**Информация о статье**

Поступила:

15 февраля 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 марта 2022 г.

Принята к печати:

15 мая 2022 г.

Ключевые слова:

автономный карьерный самосвал, автономные тяжелые платформы, беспилотные транспортные средства, горные машины, добыча полезных ископаемых, цифровое создание карьерных самосвалов.

Аннотация.

В условиях отсутствия высокотехнологичного производства и постоянного прироста импорта карьерных автосамосвалов возникает необходимость в разработке научных основ создания автономных карьерных самосвалов для открытых горных работ. В статье проанализирован состав автономного карьерного самосвала и выделены основные объекты исследований: грузовая платформа (кузов); несущая система (рама); балка передней оси; балка (картер) ведущего моста. Выявлено, что существует необходимость в создании или развитии производства компонентов и материалов в РФ для АКС, таких как двигатель и его системы, колеса и шины, а также компоненты системы автономного управления, системы гидравлической и низковольтного электрооборудования. Рассмотрен жизненный цикл и инструменты создания цифрового двойника автономного карьерного самосвала, а также методы получения нагрузок, действующие на объекты исследований и другие элементы автосамосвала. Разработана методология цифрового создания карьерных самосвалов, обеспечивающая наилучшие технико-экономические показатели, в основу которой положено использование цифровых технологии моделирования карьерных самосвалов. На конкретных примерах показаны результаты методологии цифрового создания карьерных самосвалов. Приведены научные и практические результаты работы.

Для цитирования: Дубинкин Д.М. Основы цифрового создания автономных карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 2 (160). С. 39-50. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50

Благодарности:

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2019-034 от 22.11.2019г. с ПАО "КАМАЗ" по комплексному проекту «Разработка и создание высокотехнологичного производства автономных тяжелых платформ для безлюдной добычи полезных ископаемых в системе "Умный карьер"», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2020-031 от 14.12.2020г. с ПАО "КАМАЗ" по комплексному проекту «Создание высокотехнологичного производства семейства роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией на основе цифровых технологий», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Исследование мирового рынка потребления основных видов твердых полезных ископаемых показывает его непрекращающийся рост. В настоящее время на угольных предприятиях России добыча увеличилась на 8,9%, при этом открытым способом

добыто 70% угля. На угольных предприятиях Кузбасса в 2021 году добыто более 243,1 млн т угля, по сравнению с аналогичным периодом 2020 года общая добыча угля выросла на 10% [1].



Рис. 1. Основные производители карьерных самосвалов
Fig. 1. The main manufacturers of mining trucks

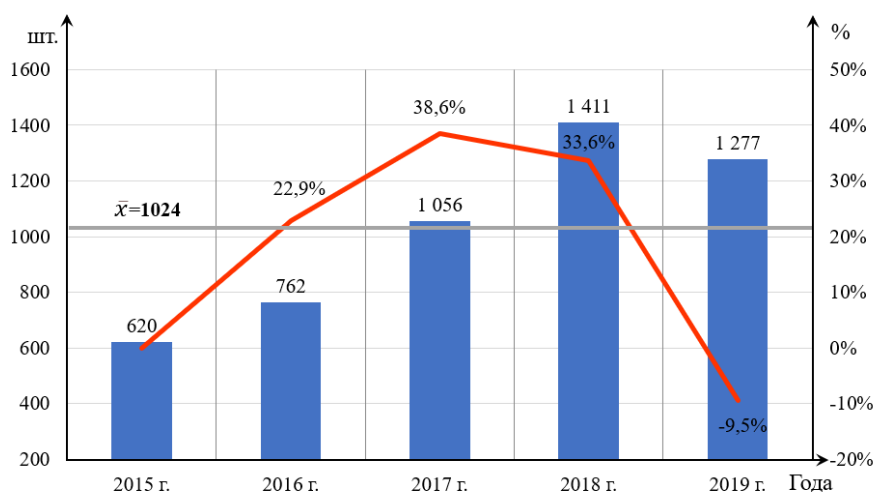


Рис. 2. Объем и темп прироста рынка карьерных самосвалов в России в 2015-2019 гг., шт. и %
Fig. 2. The volume and growth rate of the mining dump truck market in Russia in 2015-2019, pcs. and %

Основным видом техники для транспортирования горной массы на разрезах являются карьерные самосвалы (КС). В России применяются КС следующих производителей (рис. 1): Komatsu (Япония); Hitachi (Япония); XCMG (КНР); SANY (КНР); Beml (Индия); БЕЛАЗ (Беларусь); Terex (UK); Liebherr (Германия); VOLVO (Швеция); Perlini (Италия); Caterpillar (США) и др. [2-8]. В настоящее время в России на угольных разрезах и в карьерах эксплуатируется более 7200 единиц подвижного состава производства БЕЛАЗ.

Объем и темп прироста рынка КС в России в 2015-2019 гг. показан на рис. 2.

Объем и темп прироста рынка КС в России (рис. 2) составил в 2016 г. – 22,9%, в 2017г. – 38,6%, в 2018 г. – 33,6%, а в 2019 г. снизился на 9,5% из-за начала эпидемической ситуации в мире. Анализ диаграммы (рис. 2) показывает, что импорт в Россию КС составил в среднем 1024 шт., а именно в 2015-2019 гг. составил для КС грузоподъемностью

до 60 т – 647 шт., от 90 т до 190 т – 299 шт., от 218 т до 360 т – 78 шт.

В 2021 г. средняя рыночная цена с НДС одного КС в категории грузоподъемности 218-360 т составляла 250 млн руб., следовательно, на импорт такой техники расходовалось более 19 500 млн руб. Поэтому существует необходимость в создании высокотехнологичного производства российских КС, это стратегически важно для технологического развития России, так как в настоящее время отсутствует отечественный производитель тяжелой жесткорамной самосвальной техники с особо большой грузоподъемностью. Также одним из уязвимых мест разработки полезных ископаемых открытым способом в РФ является введение возможных санкций и эмбарго в отношении импорта как КС, так и комплектующих к ним.

Аналитический обзор [1-37] и анализ современной научной-технической, нормативной и методической литературы, относящейся к разработкам конструкции КС грузоподъемностью свыше 60 т

Автономный
карьерный
самосвал

Унифицированные системы,
узлы и агрегаты

двигатель и его системы
тяговый электропривод
электромотор-колесо
колеса и шины
система гидравлическая
тормозные системы
система пневматическая
система пожаротушения
низковольтное электрооборудование

Нестандартные системы,
узлы и агрегаты

грузовая платформа (кузов)
несущая система (рама)
балка передней оси
ось передняя
балка (картер) ведущего моста
ведущий мост
система автономного управления
подвеска
рулевое управление
опрокидывающий механизм
кабина

Рис. 3. Основные системы, узлы и агрегаты автономного карьерного самосвала
Fig. 3. The main systems, components and assemblies of an autonomous mining dump truck

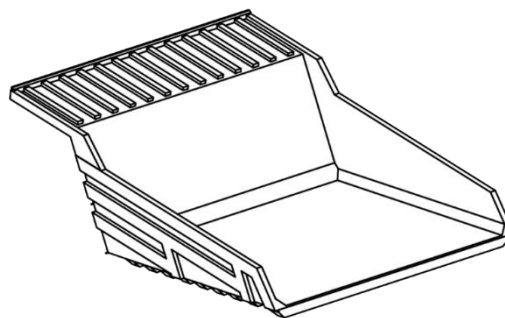
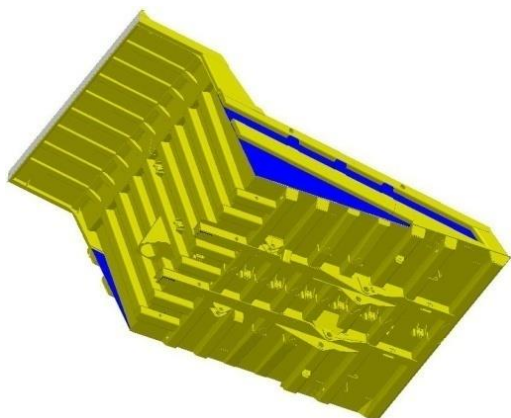


Рис. 4. Грузовая платформа (кузов)
Fig. 4. Cargo platform (body)

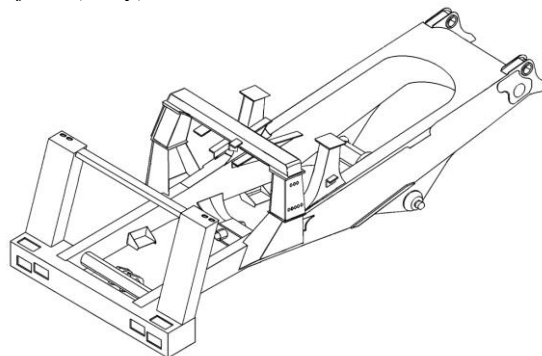
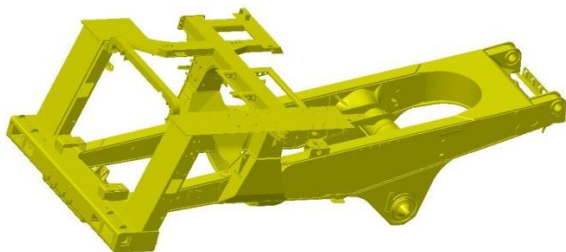


Рис. 5. Несущая система (рама)
Fig. 5. Carrying system (frame)

отечественными производителями, показал, что в настоящее время:

- отсутствует литература, направленная на создание автономных карьерных самосвалов (АКС);
- литературные источники посвящены исследованиям эксплуатации КС.

– в литературных источниках отсутствуют обоснования критериев, параметров и режимов работы, конструктивные и технологические требования к КС с учетом особенностей условий их эксплуатации.

Поэтому разработка научно-методического обеспечения и научно-практических работ, созда-

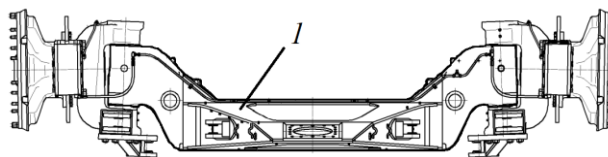
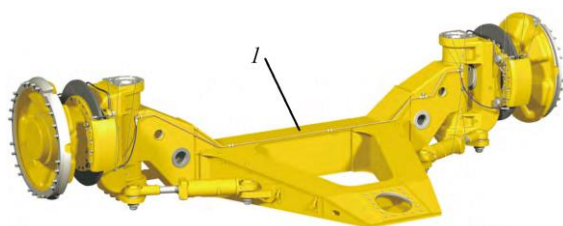


Рис. 6. Передняя ось: 1 – балка передней оси

Fig. 6. Front axle: 1 – beam front axle

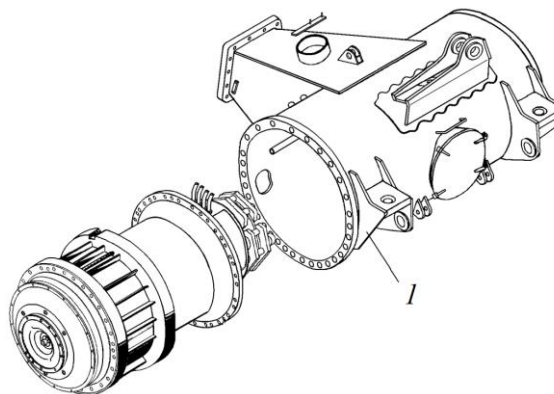
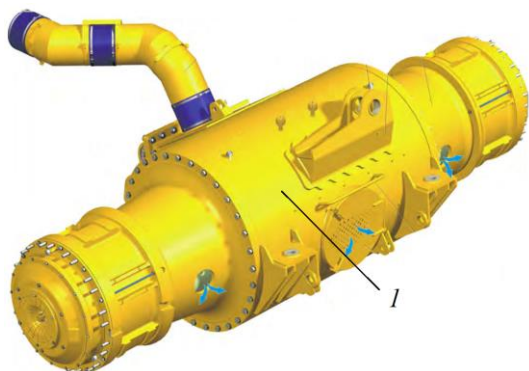


Рис. 7. Ведущий мост: 1 – балка (картер) ведущего моста

Fig. 7. Rear axle: 1 – beam (housing) rear axle

Таблица 1. Состав автономного карьерного самосвала

Table 1. The composition of the autonomous mining dump truck

	Системы, узлы и агрегаты автономного карьерного самосвала	
	Российского производства	Импортного производства
Вновь разрабатываемые	<ul style="list-style-type: none"> – грузовая платформа (кузов); – несущая система (рама); – балка передней оси; – балка (картер) ведущего моста 	
Вновь разрабатываемые на основе серийно изготовляемых компонентов и материалов	<ul style="list-style-type: none"> – система автономного управления; – ось передняя и ведущий мост; – подвеска; – электромотор-колесо; – система гидравлическая; – рулевое управление; – опрокидывающий механизм; – тормозные системы; – система пневматическая; – система пожаротушения; – низковольтное электрооборудование; – кабина 	<ul style="list-style-type: none"> – система автономного управления; – двигатель и его системы; – подвеска; – электромотор-колесо; – система гидравлическая; – рулевое управление; – опрокидывающий механизм; – тормозные системы; – система пожаротушения; – низковольтное электрооборудование; – колеса и шины
Серийно изготовляемые	– тяговый электропривод	– все системы, узлы и агрегаты

ние конструкции и высокотехнологичного производства АКС в России являются актуальными.

Исходя из вышесказанного, поставлена цель работы: разработать научные основы цифрового создания автономных карьерных самосвалов.

На рис. 3 показаны унифицированные и нестандартные основные системы, узлы и агрегаты АКС, а также выделены объекты исследований – вновь создаваемые [9-15]:

- грузовая платформа (кузов) (рис. 4);
- несущая система (рама) (рис. 5);
- балка передней оси (рис. 6);
- балка (картер) ведущего моста (рис. 7);

– система автономного управления.

Анализ конструкций грузовой платформы (кузова), несущей системы (рамы), балки передней оси и балки (картера) ведущего моста разных производителей показал, что схемные и конструктивные решения общей компоновки и объектов исследований отличаются между собой.

Применяемые в АКС системы, узлы и агрегаты изготавливаются серийно или вновь разрабатываются на основе компонентов и материалов Российского и/или импортного производства (табл. 1).

Из таблицы 1 следует, что большая часть систем, узлов и агрегатов АКС производится в РФ

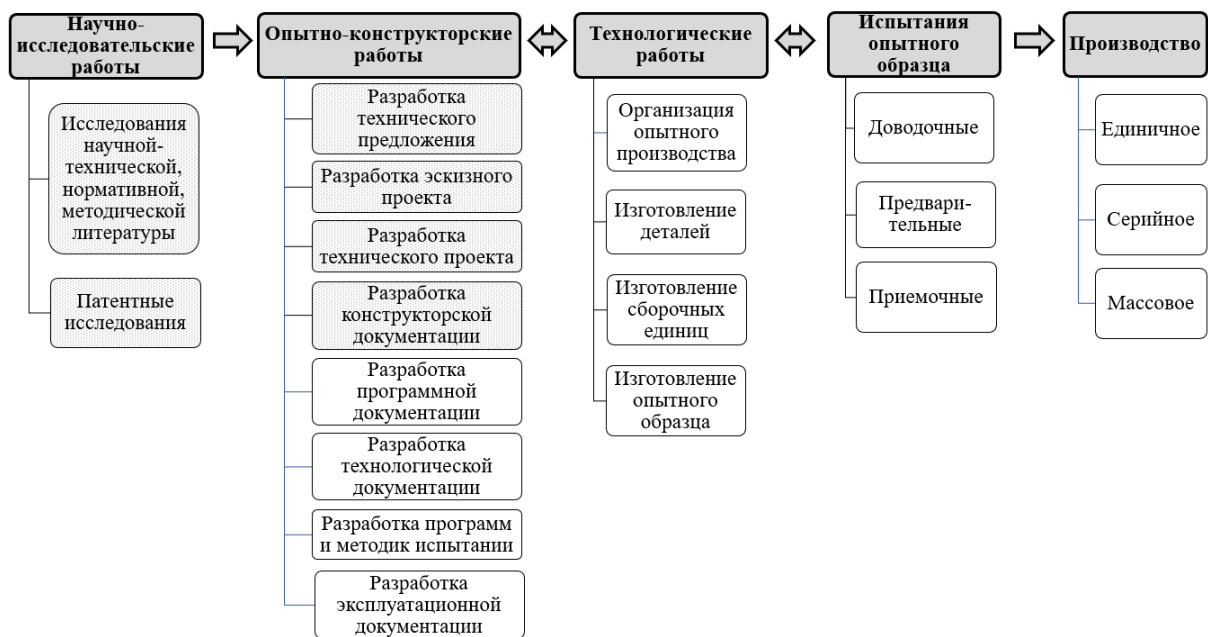


Рис. 8. Жизненный цикл создания опытного образца автономного карьерного самосвала
Fig. 8. The life cycle of creating a prototype autonomous mining dump truck



Рис. 9. Инструменты создания цифрового двойника автономного карьерного самосвала
Fig. 9. Autonomous mining dump truck digital twin tools

для создания АКС, однако двигатель и его системы, колеса и шины, а также компоненты системы автономного управления, системы гидравлической и низковольтного электрооборудования полностью и/или частично импортного производства. Последнее свидетельствует о необходимости развития производства компонентов и материалов в РФ.

КС комплектуется системой автономного управления, которая состоит из органов технического зрения, системы связи и навигации, блока управления агрегатов автомобиля, программного обеспечения и др. Система управления АКС рассмотрена в работах [16-21], поэтому далее не рассматривается.

Жизненный цикл создания опытного образца АКС (продукта) представлен на рис. 8. На этапах:

– НИР – обосновываются критерии, параметры и режимы работы, формируются конструктивные и технологические требования к объектам исследований и в целом АКС с учетом особенностей усло-

вий эксплуатации. Этап НИР является основой для разработки АКС на этапе ОКР.

– ОКР – выбираются схемные и конструктивные решения общей компоновки и объектов исследования, разрабатываются математические и электронные модели КС, производятся расчеты, оформляется конструкторская и программная документация. Также выполняются работы по разработке технологической и эксплуатационной документации, программ и методик испытаний и др. Для определения нагрузок на стадии эскизного и технического проектов необходимо создавать математические (имитационные) модели (цифровой двойник) КС в приложениях расчета динамики твердых тел [10]. Используемый подход позволяет автоматизировано получать нагрузки на все элементы КС в любой момент моделирования и импортировать их в приложения по проведению прочностных расчетов методом конечных элементов и проведения виртуальных испытаний на стадии эскизного и технического проектов.



Рис. 10. Методология цифрового создания карьерных самосвалов
 Fig. 10. Methodology of digital creation of quarry dump trucks

– Технологические работы направлены на организацию опытного производства и изготовление деталей, сборочных единиц и опытного образца. По результатам изготовления при необходимости корректируют документацию ОКР.

– Испытания (доводочные, предварительные и приемочные) опытного образца АКС проводят для проверки и подтверждения соответствия объекта испытаний техническим требованиям, а также для принятия решения о возможности производства и реализации объекта испытаний. По результатам испытаний при необходимости корректируют документацию ОКР.

– Производство – приступают к изготовлению АКС. Данный этап начинается только в случае успешного выполнения НИОКР.

На всех этапах жизненного цикла создания опытного образца АКС используются цифровые технологии с применением современного ПО (рис. 9).

При разработке АКС необходимо учитывать показатель производительности транспортной работы при перевозке горной массы в зависимости от собственной массы автосамосвала, т. е. с учетом наибольшего коэффициента снаряженной массы. Для КС важно минимизировать снаряженную массу конструкции при достаточном уровне ее жесткости и прочности. Это требование существенно влияет на объем перевозок горной массы и себестоимость перевозки 1 т. км груза, и, в конечном итоге, на технико-экономическую эффективность работ по разработке полезных ископаемых. Поэтому на этапе ОКР определение нагрузок, действующих на объекты исследований и другие элементы автосамосвала, необходимо для создания надежного КС.

Определить нагрузки можно, выбрав один из методов (рис. 9): аналитический метод; экспериментальный метод; цифровой метод.

Аналитический метод заключается в составлении списка режимов эксплуатации, в которых будут определяться нагрузки на основе доступной литературы и анализа опыта применения аналогичных автомобилей. Затем для каждого режима определяются внешние силовые факторы, действующие на автомобиль, и с помощью аналитических зависимостей рассчитываются нагрузки, действующие на несущую систему. Преимуществом такого подхода является возможность его применения для новых автомобилей на стадии проектирования, а также отсутствие необходимости проведения натурных испытаний и использования измерительного оборудования. К недостаткам относятся:

- ограниченность количества режимов нагружения, для которых могут быть записаны аналитические зависимости и определены внешние силовые факторы;
- затруднено описание динамических режимов нагружения;
- требуется введение допущений и упрощений, приводящих к снижению точности метода.

Экспериментальный метод заключается в установке тензометрического оборудования и непосредственной записи нагрузок, воспринимаемых системами, узлами и агрегатами АКС во время эксплуатации [30-31]. Затем на основе полученных величин вычисляются с помощью аналитических зависимостей нагрузки. Преимущество такого подхода в учете всех нагрузок, которые возникают в процессе эксплуатации, а также в высокой точности. Недостатки этого метода:



Технические характеристики

Наименование параметра	Показатели параметров
Колесная формула	4x2
Нагрузки по осям, не более, %	50+50
Полная масса, не более, т	170
Грузоподъемность, не менее, т	90
Длина, не более, мм	14000
Ширина, не более, мм	7000
Высота, не более, мм	7000
База, не более, мм	6000
Максимальная скорость, не менее, км/ч	40
Запас хода, не менее, км	50
Используемый типоразмер шины, не менее	27.00R49
Тип используемого топлива	Электрическая энергия
Объем самосвальной платформы, не менее, м³	37
Тип трансмиссии	Электромеханическая

Рис. 11. Автономный карьерный самосвал грузоподъемностью 90 т
Fig. 11. Autonomous mining dump truck with a lifting capacity of 90 tons



Технические характеристики

Наименование параметра	Показатели параметров
Колесная формула	4x2
Нагрузки по осям, не более, %	50+50
Полная масса, не более, т	235
Грузоподъемность, не менее, т	125
Длина, не более, мм	16000
Ширина, не более, мм	7000
Высота, не более, мм	7000
База, не более, мм	6000
Максимальная скорость, не менее, км/ч	40
Используемый типоразмер шины, не менее	33.00 R51
Тип используемого топлива	Газ
Объем самосвальной платформы, не менее, м³	46
Тип трансмиссии	Электромеханическая

Рис. 12. Автономный карьерный самосвал грузоподъемностью 125 т
Fig. 12. Autonomous mining dump truck with a lifting capacity of 125 tons

– применение метода ограничено случаями, когда уже существует опытный образец автомобиля или его близкий аналог, на котором могут быть проведены измерения;

– необходимость в монтаже измерительного оборудования и проведение натурных испытаний для сбора данных.

Преимущества двух описанных методов объединяет в себе третий цифровой метод, который заключается в определении нагрузок путем разработки математической модели (цифрового двойника) КС в среде моделирования и анализа динамики дисперсных и твердых тел с последующими расчетами на статическую прочность систем, узлов и агрегатов КС методом конечных элементов (рис. 9). Такой подход позволяет создать математическую модель разрабатываемого КС, учитывающую взаимодействие его составных частей и их массово-инерционные характеристики [10, 32-37]. Затем могут быть смоделированы различные режимы эксплуатации и получены силовые воздействия как на весь КС, так и на объекты исследований. Этот подход также требует предварительного составления списка нагрузочных режимов с учетом накопленного опыта эксплуатации КС. В отличие от ана-

литического метода требуется значительно меньше упрощений и допущений и сводятся к минимуму ограничения на число нагрузочных режимов. В отличие от экспериментального метода могут быть смоделированы нагрузки в экстремальных для автомобиля режимах, которые привели бы к полному отказу, повреждениям или разрушениям при натурных испытаниях. Это особенно актуально при создании КС, так как изготовление каждого образца сопряжено со значительной материалоемкостью и финансовыми затратами, а испытания на экстремальных режимах могут представлять повышенную трудоемкость и опасность.

Научные основы создания АКС для открытых горных работ решаются путем применения разработанной методологии цифрового создания КС, представленной на рис. 10.

Реализация методологии цифрового создания КС позволяет:

- выполнить анализ условий эксплуатации КС при транспортировании горной массы;
- составить список расчетных случаев (типовых нагрузочных режимов), а именно параметров и режимов эксплуатации КС;

- разработать схемные и конструктивные решения и математическую модель КС;
- произвести виртуальные испытания и получить нагрузки, действующие на объекты исследования КС в среде моделирования динамики дисперсных и твердых тел;
- разработать конечно-элементные модели систем, узлов и агрегатов КС;
- произвести расчеты на статическую прочность грузовой платформы (кузов), несущей системы (рамы), балки передней оси и балки (картер) ведущего моста КС;
- разработать электронные модели (цифровые двойники);
- разработать конструкторскую документацию на АКС;
- снизить сроки жизненного цикла создания опытного образца АКС по сравнению с традиционным подходом.

Разработанная методология апробирована при выполнении двух конкурсов по отбору организаций на право получения субсидий на реализацию комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства АКС в рамках Постановления Правительства № 218 (рис. 11, рис. 12).

Проекты по созданию линейки АКС грузоподъемностью до 240 т реализует КузГТУ с осени 2019 г. для горной промышленности РФ. Все Проекты являются ключевыми в приоритетном направлении исследований «Беспилотные технологии добычи и транспортировки полезных ископаемых» и «Роботизированные системы для проведения горных работ». Реализация Проектов инициировала становление Российской инженерной школы по созданию КС большой грузоподъемности. В настоящее время Промышленный партнер ПАО «КАМАЗ» ведет работу по изготовлению деталей и сборочных единиц АКС.

Заключение

В работе:

- проанализирован состав АКС и выделены основные объекты исследований: грузовая платформа (кузов); несущая система (рама); балка передней оси; балка (картер) ведущего моста;
- выявлено, что существует необходимость в создании или развитии производства компонентов и материалов в РФ для АКС, таких как двигатель и его системы, колеса и шины, а также компоненты системы автономного управления, системы гидравлической и низковольтного электрооборудования;
- рассмотрен жизненный цикл и инструменты создания цифрового двойника АКС, а также методы получения нагрузок, действующих на объекты исследований и другие элементы автосамосвала;
- разработана методология цифрового создания АКС, позволяющая на стадии моделирования определять нагрузки, действующие на объекты исследований и другие элементы КС без проведения натурных испытаний;
- установлено, что методология цифрового создания КС обеспечивает наилучшие технико-

экономические показатели работы КС при разработке полезных ископаемых;

– полученные результаты и рассмотренный подход могут быть применены при проектировании и создании другой продукции горного машиностроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Итоги работы угольной отрасли за декабрь 2021 года // электронное: официальный сайт. – URL: <https://mupk42.ru/ru/press-center/news/novosti-ministerstva/itogi-raboty-ugolnoy-otrasli-za-dekabr-2021-goda/>
2. Анистратов Ю. И., Анистратов К. Ю., Щадов М. И. Справочник по открытым горным работам. Москва : Горное дело, 2010. ISBN 978-5-904463-01-4. EDN OWBRMF.
3. Анистратов Ю. И. и др. Открытые горные работы – XXI век. Справочник. Том 1. Под ред. Анистратова К.Ю. М. : ООО «Система максимум», 2019. 640 с.: ил.
4. Анистратов Ю. И. и др. Открытые горные работы – XXI век. Справочник. Том 2. Под ред. Анистратова К.Ю. М. : ООО «Система максимум», 2019. 872 с.: ил.
5. Анистратов К. Ю. Анализ рынка карьерных экскаваторов и самосвалов в РФ и странах СНГ // Горная промышленность. 2012. № 2(102). С. 16-19. EDN PACHEV.
6. Дубинкин Д. М. Современное состояние техники и технологий в области автономного управления движением транспортных средств угольных карьеров // Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 6(146). С. 8-15. DOI 10.26730/1816-4528-2019-6-8-15. EDN LHSFRR.
7. Воронов А. Ю., Воронов Ю. Е. Современное состояние и перспективы развития роботизированных грузоперевозок на карьерах // Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 6(146). С. 16-24. DOI 10.26730/1816-4528-2019-6-16-24. EDN UKFIEE.
8. Насковец А. М., Пархомчик П. А., Егоров А. Н. [и др.] Современное развитие карьерного транспорта производства ОАО "БЕЛАЗ" // Актуальные вопросы машиноведения. 2018. Т. 7. С. 8-11. EDN YUIEPB.
9. Дубинкин Д. М. Обоснование необходимости создания тяжелых платформ для открытых горных работ // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 4(150). С. 59-64. DOI 10.26730/1816-4528-2020-4-59-64. EDN AYBIKN.
10. Дубинкин Д. М. [и др.] Разработка имитационной модели динамики карьерного автосамосвала для определения нагрузок, действующих на несущую систему и грузовую платформу при загрузке и разгрузке дисперсного груза // Горная промышленность. 2021. № 6. С. 117-126. DOI 10.30686/1609-9192-2021-6-117-126. EDN AFXCCN.
11. Дубинкин Д. М., Аксенов В. В., Тюленев М. А., Марков С. О. Влияние горнотехнических факторов на производительность беспилотных карьерных автосамосвалов // Техника и технология

горного дела. 2020. № 4(11). С. 42-69. DOI 10.26730/2618-7434-2020-4-42-69. EDN DKDGTТ.

12. Хорешок А. А., Дубинкин Д. М., Марков С. О., Тюленев М. А. Об изменении эффективности производительности экскаваторов при использовании карьерных самосвалов с различной вместимостью кузова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 6(148). С. 85-93. DOI 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93. EDN PWWML.

13. Дубинкин Д. М., Ялышев А. В. Анализ конструкций и обоснование применения грузовых платформ карьерных самосвалов грузоподъемностью 90 тонн // Техника и технология горного дела. 2021. № 3(14). С. 61-78. DOI 10.26730/2618-7434-2021-3-61-78. EDN JUBVVP.

14. Хазин М. Л. Роботизированные карьерные самосвалы // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. № 3(59). С. 123-130. DOI 10.21440/2307-2091-2020-3-123-130. EDN ZQXMTQ.

15. Хазин М. Л. Направления развития карьерного автотранспорта // Недропользование. 2021. Т. 21. № 3. С. 144-150. DOI 10.15593/2712-8008/2021.3.7. EDN ZNLGHA.

16. Дубинкин Д. М., Садовец В. Ю., Сыркин И. С., И. В. Разработка структуры системы управления беспилотным карьерным самосвалом // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 6(152). С. 25-30. DOI 10.26730/1816-4528-2020-6-25-30. EDN TFLNZS.

17. Чичерин И. В., Федосенков Б. А., Дубинкин Д. М. Мониторинг текущих траекторий перемещения автономных тяжёлых платформ по карьерным маршрутам горнорудных предприятий // Горная промышленность. 2021. № 5. С. 76-83. DOI 10.30686/1609-9192-2021-5-76-83. EDN PDQBUE.

18. Чичерин И. В., Федосенков Б. А., Сыркин И. С. [и др.] Аппарат вейвлет-преобразований в автоматизированной системе управления перемещением карьерных беспилотных транспортных средств // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2021. № 3. С. 106-114. DOI 10.21440/0536-1028-2021-3-106-114. EDN OJKMPG.

19. Chicherin I. [et al.] Using a wavelet medium for computer-aided controlling the movement of unmanned vehicles along quarry routes // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2021. No 2. P. 103-112. DOI 10.21440/0536-1028-2021-2-103-112. EDN LTANWT.

20. Chicherin I. V. [et al.] The wavelet transforms technique in the computer-aided system for controlling the quarry unmanned vehicles // E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 1921 октября 2021 года. Kemerovo: EDP Sciences, 2021. P. 03022. EDN AMWGAV.

21. Dubinkin D. [et al.] Assessment of the Need to Create Control Sytem of Unmanned Dump Truck // E3S Web of Conferences : 18, Ekaterinburg, 02-11 апреля 2020 года. Ekaterinburg, 2020. P. 03022. DOI 10.1051/e3sconf/202017703022. EDN IOPSWT.

22. Зырянов И. В., Маев С. П. Опыт эксплуатации карьерных самосвалов на Нюрбинском ГОКе // Горный журнал. 2006. № 2. С. 69-72. EDN KUGXEL.

23. Журавлев А. Г. Выбор рациональной грузоподъемности карьерных автосамосвалов для конкретных условий транспортирования // Транспорт Урала. 2014. № 4(43). С. 96-101. EDN TFCSHX.

24. Забелин В. В. [и др.] Параметры карьерных дорог // Горная промышленность. 2015. № 5(123). С. 43. EDN UXVAOV.

25. Рудь Ю. С., Радченко И. С. [и др.] Теория движения карьерных самосвалов по технологическим дорогам без специальных покрытий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. Т. 5. № 5(47). С. 32-38. EDN TLMSQD.

26. Яовлев В. Л. Требования к совершенствованию конструкций карьерных автосамосвалов // Механика машин, механизмов и материалов. 2012. № 3-4(20-21). С. 86-92. EDN QZPXEB.

27. Ососков Д. В., Ляхомский А. В. Моделирование работы карьерных электросамосвалов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2017. Т. 21. № 3(77). С. 72-78. EDN ZGPYZJ.

28. Ларин О. Н., Вусейкова О. Н. Оценка влияния горнотехнических факторов на эксплуатационные параметры карьерных автосамосвалов // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2011. № 7. С. 34-36. EDN OWWFAL.

29. Журавлев А. Г., Буднев А. Б. Влияние грузоподъемности автосамосвалов на себестоимость горных работ по мере углубки карьера // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2019. № 2. С. 20-31. DOI 10.21440/0536-1028-2019-2-20-31. EDN UKUUAЕ.

30. Зырянов И. В. [и др.] Оценка долговечности рам карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 90 и 136 т в АК "АЛРОСА" // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 1. С. 25-31. EDN PVJOAF.

31. Анистратов К. Ю. [и др.] Исследование закономерностей изменения показателей работы карьерных самосвалов в течение срока их эксплуатации // Горная промышленность. 2006. № 6(70). С. 30-34. EDN KWLVTЛ.

32. Шляжко С. А., Лисовский Э. В. [и др.] Сравнительная оценка усталостной долговечности вариантов конструкции рамы карьерного самосвала методами компьютерного моделирования // Актуальные вопросы машиноведения. 2021. Т. 10. С. 207-216. EDN TUVYHV.

33. Испеньков С. А., Ракицкий А. А. Моделирование динамической нагруженности рам карьерных самосвалов // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 10(129). С. 174-180. EDN PDRCCZ.

34. Паначев И. А., Кузнецов И. В. Анализ ресурса несущих элементов задних мостов карьерных самосвалов в процессе их эксплуатации при различных значениях руководящего уклона трассы // Вестник Инженерной школы Дальневосточного

федерального университета. 2019. № 3(40). С. 13-20. DOI 10.24866/2227-6858/2019-3-2. EDN JGPEYZ.

35. Барышников, Ю. Н. Применение математических моделей в расчетах несущей системы карьерных самосвалов / Ю. Н. Барышников // Естественные и технические науки. – 2015. – № 11(89). – С. 54-56. – EDN VHTKJD.

36. Барышников Ю. Н. Численное моделирование процесса разгрузки карьерного самосвала // Естественные и технические науки. 2015. № 11(89). С. 57-59. EDN VHTKJN.

37. Егоров А. Н. [и др.] Обеспечение поперечной устойчивости карьерных самосвалов сверх особо большой грузоподъемности // Актуальные вопросы машиноведения. 2015. Т. 4. С. 77-80. EDN YRHMQN.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Об авторе:

Дубинкин Дмитрий Михайлович, доцент кафедры металлорежущих станков и инструментов, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат технических наук, доцент, ddm.tm@kuzstu.ru

Заявленный вклад автора:

Дубинкин Д.М. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; сбор и анализ данных; выводы; написание текста.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50

Dmitriy M. Dubinkin, C. Sc. in Engineering, Associate Professor

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

E-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

JUSTIFICATION OF THE NEED TO CREATE HEAVY PLATFORMS FOR OPEN-PIT MINING



Article info

Received:

15 February 2022

Accepted for publication:

15 March 2022

Accepted:

15 May 2022

Keywords: autonomous dump truck, autonomous heavy platforms (trucks), unmanned vehicles, mining machine, mining, digital creation of mining dump trucks

Abstract.

In the absence of high-tech production and a constant increase in imports of quarry dump trucks, there is a need to develop scientific foundations for the creation of autonomous quarry dump trucks for open-pit mining. The article analyzes the composition of an automotive dump truck and highlights the main objects of research: cargo platform (body); load-bearing system (frame); front axle beam; drive axle beam (crankcase). It is revealed that there is a need to create or develop the production of components and materials in the Russian Federation for the AKS, such as the engine and its systems, wheels and tires, as well as components of the autonomous control system, hydraulic and low-voltage electrical equipment. The life cycle and tools for creating a digital twin of an autonomous mining dump truck, as well as methods for obtaining loads acting on research objects and other elements of a dump truck, are examined. A methodology has been developed for the digital creation of quarry dump trucks, providing the best technical and economic indicators, which is based on the use of digital technologies for modeling quarry dump trucks. Concrete examples show the results of the methodology of digital creation of quarry dump trucks. The scientific and practical results of the work are presented.

For citation: Dubinkin D.M. Justification of the need to create heavy platforms for open-pit mining. Mining

Acknowledgment:

The work is financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement № 075-11-2020-031 dated 14.12.2020 with PJSC KAMAZ on the integrated project "Development of high-tech production of the family of robotized dump trucks with payload capacity up to 90 t with electromechanical transmission based on digital technology", with participation of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University in terms of research, development and technological works.

The work is financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement dated 07.04.2022 № 075-11-2022-016 with PJSC KAMAZ on the integrated project "Development of high-tech production of autonomous mining dump trucks with a lifting capacity of 240 tons with a domestic traction drive for operation in an open-source digital mining system", with participation of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University in terms of research, development and technological works.

REFERENCES

1. The results of the work of the coal industry for December 2021 // electronic: official website. – URL: <https://mupk42.ru/ru/press-center/news/novosti-ministerstva/itogi-raboty-ugolnoy-otrasli-za-dekabr-2021-goda/>
2. Anistratov Yu.I. [et al.] Handbook of open-pit mining. Moscow: Mining; 2010. ISBN 978-5-904463-01-4.
3. Anistratov Yu.I. [et al.] Open-pit mining – XXI century. Guide. Vol. 1. M.: LLC "System maximum"; 2019. 640 p.: ill.
4. Anistratov Yu.I. [et al.] Open-pit mining – XXI century. Guide. Vol. 2. M.: LLC "System maximum"; 2019. 872 p.: ill.
5. Anistratov K.Yu. Analysis of the market of quarry excavators and dump trucks in the Russian Federation and CIS countries. *Mining Industry*. 2012; 2(102):16-19.
6. Dubinkin D.M. The current state of technology and technologies in the field of autonomous control of the movement of vehicles of coal pits. *Mining equipment and electromechanics*. 2019; 6(146):8-15. DOI 10.26730/1816-4528-2019-6-8-15.
7. Voronov A.Yu., Voronov Yu.E. The current state and prospects of development of robotic cargo carts at quarries. *Mining equipment and electromechanics*. 2019; 6(146):16-24. DOI 10.26730/1816-4528-2019-6-16-24.
8. Naskovets A.M., Parkhomchik P.A., Egorov A.N. [et al.] Modern development of quarry transport produced by JSC "BELAZ". *Actual issues of machine science*. 2018; 7:8-11.
9. Dubinkin D. M. Substantiation of the need to create heavy platforms for open-pit mining operations. *Mining equipment and electromechanics*. 2020; 4(150):59-64. DOI 10.26730/1816-4528-2020-4-59-64.
10. Dubinkin D. M. [et al.] Development of a simulation model of the dynamics of a quarry dump truck for determining the loads acting on the load-bearing system and the cargo platform when loading and unloading a person's cargo. *Mining industry*. 2021; 6:117-126. DOI 10.30686/1609-9192-2021-6-117-126.
11. Dubinkin D. M. [et al.] The influence of mining factors on the productivity of unmanned quarry vehicles. *Technique and technology of mining*. 2020; 4(11):42-69. DOI 10.26730/2618-7434-2020-4-42-69.
12. Horeshok A. A. [et al.] On the change in the effective productivity of excavators when using quarry dump trucks with different body capacity. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2021; 6(148):85-93. DOI 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93.
13. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V. Analysis of structures and justification of the use of cargo platforms of quarry dump trucks with a lifting capacity of 90 tons. *Technique and technology of mining*. 2021; 3(14):61-78. DOI 10.26730/2618-7434-2021-3-61-78.
14. Khazin M.L. Robotic mining dump trucks. *Izvestiya Ural State Mining University*. 2020; 3(59):123-130. DOI 10.21440/2307-2091-2020-3-123-130.
15. Khazin M.L. Directions of development of career vehicles. *Nedropolzovanie*. 2021; 21(3):144-150. DOI 10.15593/2712-8008/2021.3.7.
16. Dubinkin D.M. [et al.] Development of the structure of the control system of an unmanned mining dump truck. *Mining equipment and electromechanics*. 2020; 6(152):25-30. DOI 10.26730/1816-4528-2020-6-25-30.
17. Chicherin I.V. [et al.] Monitoring of current trajectories of movement of autonomous heavy platforms along quarry routes of mining enterprises. *Mining industry*. 2021; 5:76-83. DOI 10.30686/1609-9192-2021-5-76-83.
18. Chicherin I.V. [et al.] The apparatus of wavelet transformations in an automated control system for the movement of career unmanned vehicles. *Izvestia of Higher educational institutions. Mining Journal*. 2021; 3:106-114. DOI 10.21440/0536-1028-2021-3-106-114.
19. Chicherin I.V. [et al.] Using a wavelet medium for computer-aided controlling the movement of unmanned vehicles along quarry routes. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2021; 2:103-112. DOI 10.21440/0536-1028-2021-2-103-112.
20. Chicherin I.V. [et al.] The wavelet transforms technique in the computer-aided system for controlling the quarry unmanned vehicles. *E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium*. Kemerovo: EDP Sciences, 2021. P. 03022.
21. Dubinkin D.M. [et al.] Assessment of the Need to Create Control System of Unmanned Dump

Truck. *E3S Web of Conferences* : Ekaterinburg, 2020. P. 03022. DOI 10.1051/e3sconf/202017703022.

22. Zyryanov I.V., Mayev S.P. Experience of operation of quarry dump trucks at the Nyurbinsky GOK. *Mining Journal*. 2006; 2:69-72. EDN KUGXEL.

23. Zhuravlev A.G. The choice of rational loading capacity of quarry dump trucks for specific transportation conditions. *Transport of the Urals*. 2014; 4(43):96-101.

24. Zabelin V.V. [et al.] Parameters of quarry roads. *Mining industry*. 2015; 5(123):43.

25. Rud Yu. S. [et al.] Theory of movement of dump trucks on technological roads without special covers. *East European Journal of Advanced Technologies*. 2010; 5(47):32-38.

26. Yakovlev V. L. Requirements for improving the designs of dump trucks. *Mechanics of machines, mechanisms and materials*. 2012; 3-4(20-21):86-92.

27. Ososkov D.V., Lyakhomsky A.V. Modeling of the operation of quarry electric dump trucks. *Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University*. 2017; 3(77):72-78.

28. Larin O.N., Vuyeikova O.N. Assessment of the influence of mining factors on the operational parameters of dump trucks. *Transport: science, technology, management. Scientific Information Collection*. 2011; 7:34-36.

29. Zhuravlev A.G., Budnev A. B. The influence of the loading capacity of dump trucks on the cost of mining operations as the quarry deepens. *Izvestia of higher educational institutions. Mining Journal*. 2019; 2:20-31. DOI 10.21440/0536-1028-2019-2-20-31.

30. Zyryanov I.V. [et al.] Evaluation of the durability of the frames of quarry dump trucks with a lifting

capacity of 90 and 136 tons in AK "ALROSA". *Mining equipment and electromechanics*. 2013; 1:25-31.

31. Anistratov K.Yu. [et al.] Investigation of the regularities of changes in the performance of quarry dump trucks during their service life. *Mining Industry*. 2006; 6(70):30-34.

32. Shlyazhko S. A. [et al.] Comparative evaluation of the fatigue durability of the design variants of a dump truck frame by computer modeling methods. *Actual issues of machine science*. 2021; 10:207-216.

33. Ispenkov S.A., Rakitsky A. A. Modeling of dynamic loading of frames of quarry dump trucks. *Bulletin of the Orenburg State University*. 2011; 10(129):174-180.

34. Panachev I.A., Kuznetsov I.V. Resource analysis of the bearing elements of the rear axles of dump trucks in the process of their operation at different values of the guiding slope of the highway. *Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University*. 2019; 3(40):13-20. DOI 10.24866/2227-6858/2019-3-2.

35. Baryshnikov Yu.N. Application of mathematical models in calculations of the carrier system of dump trucks. *Natural and technical Sciences*. 2015; 11(89):54-56.

36. Baryshnikov Yu.N. Numerical modeling of the process of unloading a quarry dump truck. *Natural and technical Sciences*. 2015; 11(89):57-59.

37. Egorov A.N. [et al.] Ensuring the transverse stability of quarry dump trucks over a particularly large lifting capacity. *Current issues of machine science*. 2015; 4:77-80.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Dmitriy M. Dubinkin, Associate Professor of the Department of metal-cutting machines and Tools, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russian Federation, Kemerovo, Vesennyaya street, 28) C. Sc. in Engineering, Associate Professor, ddm.tm@kuzstu.ru

Contribution of the author:

Dmitriy M. Dubinkin - scientific management; conceptualisation of research; writing the text, data collection; drawing the conclusions; reviewing the relevant literature.

The author have read and approved the final manuscript.

