

## Научная статья

УДК 622.684

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-4-60-68

Попов Иван Петрович<sup>1,2</sup>, Бокарев Александр Игоревич<sup>1</sup>,  
Дубинкин Дмитрий Михайлович<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГТУ им. Н. Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»<sup>2</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

\* для корреспонденции: ddm.tm@kuzstu.ru

## АНАЛИЗ МЕТОДИК ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕСУЩИХ СИСТЕМ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

### Аннотация.

В условиях санкционных ограничений развитие отечественного производства карьерных самосвалов особо большой грузоподъемности становится стратегически важной задачей для обеспечения технологического суверенитета России и повышения конкурентоспособности отечественной техники. Авторы проводят комплексный анализ существующих подходов к разработке продукта. Особое внимание уделяется сравнительному анализу двух систем проектирования: отечественной системы разработки и постановки на производство и современной зарубежной системы «концептирование-разработка-индустриализация». Авторы отмечают, что российская система, преимущества которой заключаются в систематизированности и устоявшейся нормативной базе, может быть дополнена достоинствами зарубежных методик: гибкостью и глубокой интеграцией цифрового моделирования на всех этапах проектирования. Исследовано научное поле в области проектирования несущих систем карьерных самосвалов на предмет выявления системности. Основным результатом исследования является разработка новой методики проектирования несущих систем карьерных самосвалов, которая сочетает элементы российских нормативных требований (ГОСТ 15.301-2016) с передовыми зарубежными практиками. Предложенная методика включает этапы концептирования с учетом типа подвески и условий эксплуатации, динамического моделирования нагрузок, расчетов на прочность и усталостную долговечность. Авторами выявлено несколько нерешенных проблем в области проектирования рам карьерных самосвалов: отсутствие четких критериев выбора сечений элементов конструкции, нормативных показателей жесткости и надежных методов оценки усталостной прочности сварных соединений. Эти вопросы обозначены как перспективные направления для дальнейших исследований. Внедрение методики сократит сроки разработки, снизит затраты и повысит конкурентоспособность проектируемых российских карьерных самосвалов. Практическая значимость работы заключается в создании методологической основы для разработки конкурентоспособных отечественных карьерных самосвалов, что особенно актуально в условиях текущих санкционных ограничений и необходимости развития собственной техники для работы в горнодобывающей отрасли.



### Информация о статье

Поступила:

30 мая 2025 г.

Одобрена после  
рецензирования:

30 июня 2025 г.

Принята к печати:

01 августа 2025 г.

Опубликована:

28 августа 2025 г.

### Ключевые слова:

карьерный самосвал, несущая система, проектирование несущих систем, виртуальные испытания, методика проектирования

**Для цитирования:** Попов И.П., Бокарев А.И., Дубинкин Д.М. Анализ методик проектирования несущих систем карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 4 (180). С. 60-68. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-4-60-68, EDN: VFJYAQ

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 г. №075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» Комплексной научно-технической программы полного ин-

## Введение

На данный момент в России сохраняется высокий уровень добычи полезных ископаемых, извлекаемых открытым способом, при этом транспортировка на разрезах осуществляется большегрузными жесткорамными карьерными самосвалами иностранного производства. Для достижения технологического суверенитета в данной сфере необходимо развивать производство отечественной техники – опыт прошедших лет показал, что налаженные каналы поставки европейских и американских карьерных самосвалов и запчастей к ним могут быть нарушены за короткий срок. При этом одним из важнейших аспектов для выпуска конкурентоспособного продукта является система создания продукции (карьерной техники).

Целью данной работы является выявление системности в подходе к проектированию несущих систем карьерных самосвалов. Для реализации цели исследования авторами статьи ставится следующий план исследования, отражаемый в данной работе:

- отобразить особенности классического процесса разработки продукта отечественных и зарубежных компаний;
- выявить существующие подходы к проектированию несущих систем карьерных самосвалов;
- на основании выявленных подходов предложить методику проектирования несущих систем, основанную на принципах современных процессов разработки продукта.

Актуальность данного исследования подтверждается практическим отсутствием исследований этой темы в научном поле РФ и необходимостью ее совершенствования в интересах развития отечественных горной промышленности и автомобильной отрасли.

Приведенное в статье исследование выполняется в рамках большой работы по созданию методики проектирования несущих систем карьерных самосвалов, практическая значимость которой заключается в сокращении времени и ресурсов на этапе разработки.

## Описание классического процесса разработки продукта

Важным аспектом для эффективной разработки и выпуска конкурентоспособного продукта является система его создания. Успешность технических решений, экономическая составляющая, соответствие характеристик продукта требованиям потребителя должны учитываться системой разработки для достижения требуемого результата. В связи с этим целесообразно рассмотреть мировой опыт создания технических изделий.

В настоящее время создание новой продукции на большинстве отечественных предприятий машиностроения сформировано на основе системы разработки и постановки на производство (СРПП), сформированной еще в XX веке (Рис. 1). На основании технического задания, сформированного заказчиком (или самим производством), ведется разработка эскизного и технического проектов изделия; далее по результатам изготовления и испытания макетов разрабатывается рабочая конструкторская документация на изготовление опытного образца; по результатам предварительных и приемочных испытаний конструкторская документация дорабатывается, изделие (продукт) уходит в производство.

Для отечественной системы на основе СРПП достоинствами являются:

- наличие нормативных документов, регулирующих процесс разработки и производства продукции – эффективность работы повышается;





Рис. 2. Схема зарубежной системы  
Fig. 2. The scheme of the foreign system

- наличие систематизированного подхода к разработке и постановке на производство, обеспечивающего требуемый уровень качества продукции;
- возможность адаптации системы к различным отраслям промышленности и типам продукции благодаря наличию гибких инструментов и методик.

Из недостатков отечественной системы можно выделить следующие:

- недостаточная интеграция цифрового проектирования на всех этапах системы;
- практически отсутствует процесс балансировки параметров: свойства-качество-стоимость-время;
- растянутые сроки на реализацию продукта (5–10 вместо 3–4 лет);
- несоответствующий текущей конкурентной среде уровень внимания к качеству продукта.

Зарубежные современные подходы к созданию промышленной продукции основаны на схеме «концептирование-разработка-индустриализация» (Рис. 2) [1]. На стадии «концептирование» происходит описание параметров проекта, анализ конкурентов, изучение трендов и потребностей потребителей, а также оптимизация концепции с точки зрения свойств продукта; итогом этапа концептирования является создание цифрового макета продукта и старт его проверок. На этапе «разработка» продукт проходит несколько циклов переработки и доводки до достижения оптимальных экономических, технологических, конструктивных и других параметров. По результатам корректировки и устранения всех недостатков проект переходит к следующему этапу – «индустриализация». На этом этапе происходит выпуск опытных образцов, их испытание и окончательная доработка для перехода к серийному или массовому производству.

Преимущества зарубежной современной системы постановки на производство:

- широкое использование цифровых технологий, что сокращает сроки реализации проекта и затраты;

- оптимизация параметров продукта за счет анализа и балансировки качества, стоимости, сроков и свойств;

- гибкость подхода, позволяющая быстро реагировать на изменения рынка;

- повышение качества продукта вследствие его всесторонней проверки на этапе индустриализации.

Недостатки зарубежной системы:

- зависимость от квалификации персонала: требуются специалисты с глубокими знаниями в области цифрового проектирования, анализа данных и управления процессами;

- для поддержания конкурентоспособности система требует регулярного обновления методик и технологий;

- такая система может быть менее эффективной для небольших проектов или в случае ограниченности ресурсов.

В России в настоящее время не существует единой системы проектирования карьерных самосвалов. Отечественные производства имеют большой опыт в разработке и проектировании отдельных узлов и агрегатов карьерных самосвалов. Продукция российских производителей комплектов тягового электропривода, двигателей внутреннего сгорания серийно применяется в конструкции карьерных самосвалов БЕЛАЗ, производители самосвальных платформ разрабатывают, изготавливают и реализуют продукт непосредственно по запросам добывающих предприятий. Однако опыт разработки и производства остальных узлов карьерных самосвалов у отечественных производителей незначителен или вовсе отсутствует.

Изучив источники, описывающие статистику отказов основных узлов и агрегатов карьерных самосвалов, эксплуатируемых на различных разрезах на территории РФ, можно сделать вывод, что в части эксплуатации и возникающих дефектов конструкций карьерных самосвалов собран большой объем данных. Исследования [2-4, 12-14] показывают, что металлоконструкции карьерных самосвалов зарубежного производства в процессе эксплуатации получают усталостные повреждения и в ре-

зультате вынуждены проходить ремонт до истощения заявленного ресурса. В данной работе авторы статьи сфокусированы на исследовании подходов к проектированию несущей системы карьерных самосвалов, так как несущая система (рама) карьерного самосвала, воспринимающая нагрузки от всех узлов, является одним из главных его компонентов [5, 6].

Современные реалии рынка карьерных самосвалов в России ставят отечественную добывающую промышленность в затруднительное положение. Одним из уязвимых мест разработки полезных ископаемых открытым способом в РФ является введение возможных санкций и эмбарго в отношении импорта карьерных самосвалов и комплектующих к ним. 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 [7]. При этом для получения конструкции, соответствующей всем предъявляемым к ней требованиям, необходимо осуществить системный подход к разработке в соответствии с существующими мировыми практиками. В связи с этим целесообразно исследовать и проанализировать подходы к проектированию несущих систем жесткорамных карьерных самосвалов.

#### Анализ существующих подходов к проектированию несущих систем

Труды российских ученых [8-10] последних двух десятилетий, объектом исследования которых является рама карьерного самосвала, направлены в первую очередь на увеличение ресурса и предупреждения развития дефектов рам самосвалов, которые находятся в эксплуатации. Это связано с отсутствием в РФ собственного производства карьерной техники в данный временной период и ориентацией на импорт таких транспортных машин.

Наибольший интерес представляет монография [11], обобщающая результаты научных исследований в области проектирования, производства, маркетинга и обслуживания карьерных самосвалов

конец 00-х годов. Описанная в книге система проектирования карьерного самосвала основывается на СТБ 972 «Разработка и постановка продукции на производство» и ГОСТ 15.000 «Система постановки продукции на производство» (Рис. 3).

Что касается проектирования рам, авторы монографии затрагивают вопросы конструкции, металлоемкости, расчетов на прочность и долговечность, технологические особенности изготовления, однако системность подхода не прослеживается. Стоит также отметить отсутствие упоминания широкого применения валидации продукта цифровыми методами, однако в настоящее время такие мероприятия внедрены в процесс проектирования, что подтверждается источниками [12-14], авторы которых причастны к разработке продукции БЕЛАЗ.

Иностранские публикации, объектом исследования которых являются рамы карьерных самосвалов, основной упор делают на совершенствование методов расчета на усталостную прочность с учетом нагрузок, получаемых в результате моделирования движения самосвала в программных комплексах динамики твердых тел, а также топологическую оптимизацию конструкции элементов рам [15-17].

#### Предложение методики проектирования несущих систем

Рассмотренные выше подходы к проектированию и расчету несущих систем карьерных самосвалов не дают единой картины методики проектирования. Авторами статьи предпринята попытка формирования собственной методики проектирования, которая системно учитывает все этапы от стадии старта проекта до этапа изготовления.

Под системностью в проектировании несущих систем транспортных средств предлагаем понимать подход, при котором несущая система рассматривается как целостная структура, состоящая из взаимосвязанных и взаимозависимых элементов, работающих совместно для обеспечения прочности, жесткости, долговечности и других эксплуатационных характеристик карьерного самосвала. Блок-схема методики проектирования несущих систем показана на Рис. 4.

Особенность данной методики, опирающейся как на ГОСТ 15.301-2016, так и на элементы систе-

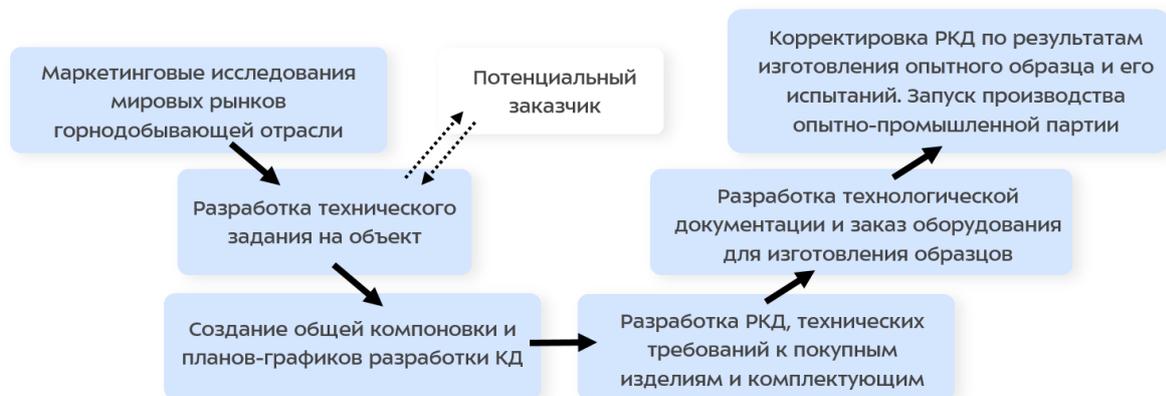


Рис. 3. Процесс проектирования карьерного самосвала  
Fig. 3. The design process of a mining dump truck

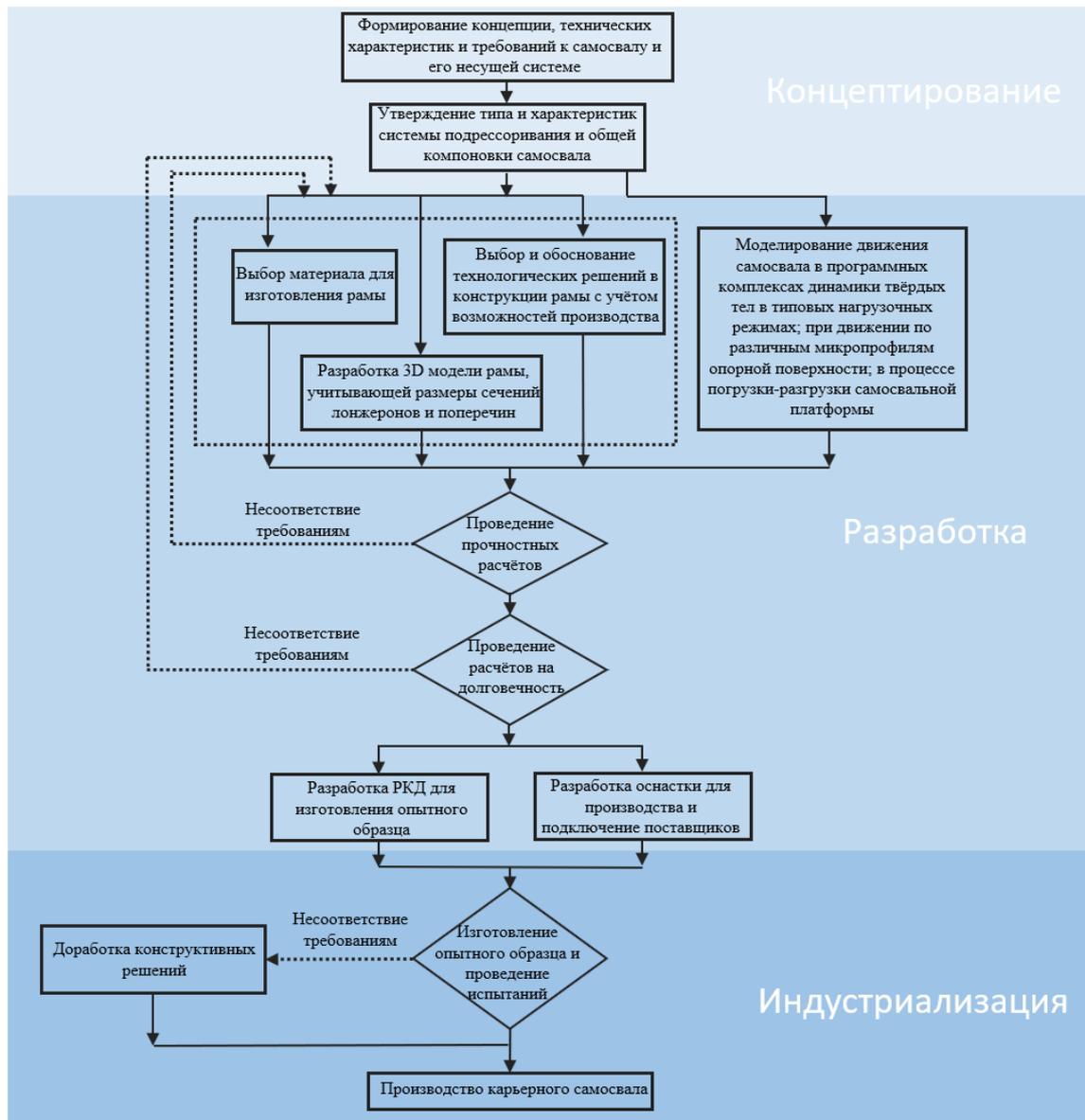


Рис. 4. Блок-схема методики проектирования несущих систем карьерных самосвалов  
 Fig. 4. Block diagram of the design methodology for bearing systems of mining dump trucks

индустриализация», заключается в проведении моделирования движения самосвала в программном комплексе динамики твердых тел в различных режимах эксплуатации, результаты которого применяются в расчетах на прочность и долговечность. Стоит отметить, что система поддресоривания, упоминаемая в методике на этапе концептирования, не относится непосредственно к несущей системе, однако конструкция рамы в значительной степени зависит от типа направляющего аппарата подвески.

По результатам анализа источников, упомянутых в тексте ранее, можно сделать вывод, что вопросы расчетов на прочность и долговечность достаточно полно исследованы, и на основании этих исследований предложены различные методы решения этих задач в контексте рам карьерных самосвалов.

Однако имеются пробелы, восполнение которых позволит улучшить предлагаемую методику, а именно:

- каким образом выбирать сечения лонжеронов и поперечин на этапе разработки 3D-модели;
- какой показатель является нормой при оценке жесткостной характеристики рамы, в значительной степени влияющей на усталостную прочность;
- каким способом оценивать усталостную прочность в зоне сварных соединений.

#### Выводы

Развитие отечественного производства карьерных самосвалов критически важно для технологического суверенитета России в условиях санкционных ограничений. Устаревшие методы проектирования требуют модернизации с внедрением цифровых технологий и современных подходов к проектированию и расчету несущих систем. Предложенная методика позволит сократить сроки разработки и повысить надежность техники.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комков Н. С., Стригуненко В. В., Курмаев Р. Х. Система создания автотранспортной продукции // Известия МГТУ «МАМИ». 2024. Т. 18. № 3. С. 244–251.
2. Бокарев А. И., Дианов В. А., Карташов А. Б. [и др.] Статистика отказов высоконагруженных узлов карьерных самосвалов грузоподъемностью 220 тонн // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 4(164). С. 23–31.
3. Доронин С. В., Донцова Т. В. Оценка и регулирование свойств рам карьерных самосвалов с трещиноподобными дефектами // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2012. Т. 5. № 6. С. 703–714.
4. Паначев И. А., Кузнецов И. В. О трещинообразовании в металлоконструкциях большегрузных автосамосвалов при эксплуатации на разрезах Кузбасса // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2018. № 3(36). С. 14–21.
5. Попов И. П., Бокарев А. И., Дианов В. А., Зайцев Л. А. Анализ тенденции развития конструкций несущих систем карьерных самосвалов // ИИТМА – 2024: Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции, том 2, Кемерово, 21–23 ноября 2024 года. Кемерово : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», 2024. С. 36–50.
6. Дубинкин Д. М., Зеляева Е. А. Тенденции развития создания интеллектуальной собственности в области разработки несущих систем (рам) карьерных самосвалов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 5(159). С. 104–115.
7. Дубинкин Д. М., Пашков Д. А. Импортнезависимость производства беспилотных карьерных самосвалов // Уголь. 2023. № 4(1166). С. 42–48. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-42-48.
8. Зырянов И. В. Повышение эффективности систем карьерного автотранспорта в экстремальных условиях эксплуатации: специальность 05.05.06 «Горные машины»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Зырянов Игорь Владимирович. Санкт-Петербург, 2006. 40 с.
9. Астахова Т. В. Повышение долговечности рам карьерных автосамосвалов на основе исследования их напряженно-деформированного состояния: специальность 05.05.06 «Горные машины»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Астахова Татьяна Валентиновна. Кемерово, 2007. 19 с.
10. Артамонов П. В. Оценка долговечности несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов с использованием системы спутникового мониторинга GPS: специальность 05.05.06 «Горные машины»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Артамонов Павел Викторович. Кемерово, 2010. 124 с.
11. Мариев П. Л. [и др.] Карьерные самосвалы особо большой грузоподъемности. Проектирование, технологии, маркетинг. Минск : Интегралполиграф, 2008. 320 с.
12. Шляжко С. А., Лисовский Э. В., Шукюров А. О. [и др.] Сравнительная оценка усталостной долговечности вариантов конструкции рамы карьерного самосвала методами компьютерного моделирования // Актуальные вопросы машиноведения. 2021. Т. 10. С. 207–216.
13. Испеньков С. А., Ракицкий А. А. Моделирование динамической нагруженности рам карьерных самосвалов // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 10(129). С. 174–180.
14. Шмелев А. В., Лисовский Э. В., Шляжко С. А. [и др.] Расчетная оценка усталостной долговечности несущих конструкций карьерного самосвала на основе комплексного компьютерного моделирования процессов нагружения и накопления повреждений // Механика машин, механизмов и материалов. 2020. № 1(50). С. 33–44.
15. Liu J., Luo L., Xiao X., Zhang C., Zhang L. Multi-objectives topology optimization of frame in an electric mining dump truck based on fuzzy satisfaction variable weight coefficients method // Journal of Mechanical Science and Technology. 2022. 36 (6).
16. Mi Chengji, Liu Jidong, Xiao Xuewen, Liu Jinhua, Ming Rui, Li Wentai, Yao Qishui. Interval Multi-Objectives Optimization of Electric Wheel Dump Truck Frame Based on Blind Number Theory // Applied Sciences. 2019. 9. 4214.
17. Estanislau Dantas A., Correa de Faria M.T. Off-highway truck setup influence on vehicle dynamics and frame durability // Multibody System Dynamics. 2024.

© 2025 Автор. 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 авторах:

**Попов Иван Петрович** – ведущий конструктор, г. Москва, Российская Федерация, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»; аспирант, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева; e-mail: popovip@bmstu.ru

**Бокарев Александр Игоревич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, г. Москва, Российская Федерация, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»; e-mail: bokarev@bmstu.ru

Дубинкин Дмитрий Михайлович – кандидат технических наук, доцент, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева; ORCID 0000-0002-8193-9794; e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

*Заявленный вклад авторов:*

Попов Иван Петрович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Бокарев Александр Игоревич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Дубинкин Дмитрий Михайлович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-4-60-68

Ivan P. Popov<sup>1,2</sup>, Alexander I. Bokarev<sup>1</sup>, Dmitry M. Dubinkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN R&D

<sup>2</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

\* for correspondence: tehnoem74@list.ru

## ANALYSIS OF METHODS OF DESIGNING LOAD-BEARING SYSTEMS OF MINING DUMP TRUCKS

### **Abstract.**

*Under economic sanctions the development of heavy-duty mining dump trucks domestic production has become extremely important for ensuring Russia's technological sovereignty and increasing the marketability of home-made machines. The article provides a comprehensive analysis of existing approaches to product development. Special attention is paid to the comparative analysis of two different design methods, i.e. Russia's system of development and production and the foreign approach, which includes the creation of the future product concept, its development and further production. The main advantage of the Russian system consists in a well-organized proven legal framework. The authors emphasize that it could be enhanced by the advantages of foreign methods, in particular by making it more flexible and adding deeper digital integration at all stages of product design. The authors did a research on load-bearing systems of mining dump trucks design to identify the level of consistency. The main result of the research is the development of a new methodology for designing the load-bearing systems of dump trucks, which combines the elements of Russian regulatory requirements and advanced foreign practices. The proposed methodology includes a complex analysis of product designing stages, with suspension types and operation conditions taken into account, as well as multibody system dynamics modeling and durability and fatigue life calculations. The authors identified several issues of dump trucks load-bearing systems design need resolving: lack of precise selection criteria for cross-sections of mechanism elements, normative stiffness figures and reliable methods of assessing welded joints fatigue life indicators. Those issues are stressed as promising for future research. The implementation of the proposed methodology might shorten the development time, reduce costs and increase the marketability of the domestically produced dump mining trucks. Practical relevance of the research lies in establishing a methodological basis for the development of competitive home-made dump mining trucks, which is particularly important due to the imposed sanctions and the need to develop Russia's own mining industry machines.*



### **Article info**

Received:

30 May 2025

Accepted for publication:

30 June 2025

Accepted:

01 August 2025

Published:

28 August 2025

**Keywords:** dump truck, load-bearing system, design of load-bearing systems, virtual tests, design methodology

**For citation:** Popov I.P., Bokarev A.I., Dubinkin D.M. Analysis of methods of designing load-bearing systems of mining dump trucks. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2025; 4(180):60-68 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-4-60-68, EDN: VFJYAQ

#### **Acknowledgments**

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement dated 30.09.2022 №075-15-2022-1198 with the Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev's "Comprehensive scientific and technical program for a full innovation cycle "Development and implementation of a set of technologies in the fields of exploration and extraction of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to the life of the population" (CSTP "Clean coal – Green Kuzbass") approved by the decree of the Government of the Russian Federation dated May 11, 2022. No. 1144-r within the framework of the event "Development and creation of an unmanned shuttle-type mining dump truck with a lifting capacity of 220 tons" in terms of research and development work.

#### REFERENCES

1. Komkov N.S., Strigunenkov V.V., Kurmaev R.H. The system of creating motor transport products. *Izvestiya MGTU "MAMI"*. 2024; 18(3):244–251.
2. Bokarev A.I., Dianov V.A., Kartashov A.B. [et al.] Statistics of failures of highly loaded components of dump trucks with a lifting capacity of 220 tons. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2024; 4(164):23–31.
3. Doronin S.V., Dontsova T.V. Assessment and regulation of the properties of the frames of quarry trucks with crack-like defects. *Journal of the Siberian Federal University. Series: Machinery and technology*. 2012; 5(6):703–714.
4. Panachev I.A., Kuznetsov I.V. On cracking in metal structures of heavy-duty dump trucks during operation in the Kuzbass mines. *Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University*. 2018; 3(36):14–21.
5. Popov I.P., Bokarev A.I., Dianov V.A., Zaitsev L.A. Analysis of the trend in the development of structures of bearing systems of mining dump trucks. *IITMA – 2024: Proceedings of the VIII Scientific and Practical International Conference*. Vol. 2, Kemerovo, November 21-23, 2024. Kemerovo: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; 2024. Pp. 36–50.
6. Dubinkin D.M., Zelyaeva E.A. Trends in the development of intellectual property creation in the field of the development of bearing systems (frames) of mining dump trucks. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2023; 5(159):104–115.
7. Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Import dependence of production of unmanned mining dump trucks. *Coal*. 2023; 4(1166):42–48. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-42-48.
8. Zyryanov I.V. Improving the efficiency of quarry vehicle systems in extreme operating conditions: specialty 05.05.06 "Mining machines": abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Igor Vladimirovich Zyryanov. St. Petersburg, 2006. 40 p.
9. Astakhova T.V. Improving the durability of dump truck frames based on the study of their stress-strain state: specialty 05.05.06 "Mining machinery": abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Astakhova Tatiana Valentinovna. Kemerovo, 2007. 19 p.
10. Artamonov P.V. Evaluation of the durability of load-bearing metal structures of mining dump trucks using the GPS satellite monitoring system coordinates: specialty 05.05.06 "Mining machines": dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Artamonov Pavel Viktorovich. Kemerovo, 2010. 124 p. (in Russian)
11. Mariev P.L. [et al.]. Quarry dump trucks with particularly heavy lifting capacity. Design, technology, marketing. Minsk: Integralpolygraf; 2008. 320 p.
12. Shlyazhko S.A., Lisovsky E.V., Shukuyurov A.O. [et al.] Comparative evaluation of the fatigue life of the frame design options of a mining dump truck by computer modeling methods. *Actual issues of machine science*. 2021; 10:207–216.
13. Ispenkov S.A., Rakitsky A.A. Modeling the dynamic loading of the frames of mining dump trucks. *Bulletin of the Orenburg State University*. 2011; 10(129):174–180.
14. Shmelev A.V., Lisovsky E.V., Shlyazhko S.A. [et al.] Computational assessment of fatigue durability of bearing structures of a mining dump truck based on complex computer modeling of loading processes and damage accumulation. *Mechanics of machines, mechanisms and materials*. 2020; 1(50):33–44.
15. Liu J., Luo L., Xiao H., Zhang S., Zhang L. Multipurpose optimization of the frame topology of an electric mining dump truck based on the method of fuzzy weighting coefficients with variable satisfaction. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2022; 36(6).
16. Mi Chengji, Liu Jidong, Xiao Xuewen, Liu Jinhua, Ming Rui, Li Wentai, Yao Qishui. Interval multi-purpose optimization of the frame of a wheeled electric dump truck based on the theory of random numbers. *Applied Sciences*. 2019; 9. 4214.
17. Estanislav Dantas A., Correa de Faria M.T. The influence of SUV installation on vehicle dynamics and frame durability. *Dynamics of multi-body systems*. 2024.

© 2025 The Author. 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 author:*

**Ivan P. Popov** – The lead designer, Moscow, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN Research Centre; postgraduate student, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; e-mail: [popovip@bmstu.ru](mailto:popovip@bmstu.ru)

**Alexander I. Bokarev** – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Moscow, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN Research Centre; e-mail: [bokarev@bmstu.ru](mailto:bokarev@bmstu.ru).

**Dmitry M. Dubinkin** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; ORCID 0000-0002-8193-9794; e-mail: [ddm.tm@kuzstu.ru](mailto:ddm.tm@kuzstu.ru)

*Contribution of the authors:*

**Ivan P. Popov** – research problem statement, research conceptualisation, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

**Alexander I. Bokarev** – setting the research problem, conceptualisation of the study, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

**Dmitry M. Dubinkin** – statement of research problem, conceptualisation of the study, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

The claimed contribution of the authors:

*Authors have read and approved the final manuscript.*

