

Дубинкин Дмитрий Михайлович*, канд. техн. наук, доцент, Пашков Дмитрий Алексеевич, инженер, Ушаков Александр Евгеньевич, техник.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

*E-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

ОБОСНОВАНИЕ ТИПА ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ АВТОНОМНОГО КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ ДО 90 ТОНН



Информация о статье

Поступила:

13 сентября 2021 г.

Рецензирование:

30 сентября 2021 г.

Принята к печати:

03 октября 2021 г.

Ключевые слова:

автономный карьерный самосвал, добыча полезных ископаемых, карьерный автосамосвал, подвеска.

Аннотация.

В статье обосновывается тип передней подвески для роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т. Сделан вывод актуальности разработки карьерных самосвалов. Рассмотрен каждый тип передней подвески, применяемый на существующих карьерных самосвалах. Установлено, что наиболее популярным типом передней подвески является однорычажная поперечная. Для анализа типов подвески по эксплуатационным характеристикам применен метод многокритериального анализа – TOPSIS. Исходными данными для выбора типа передней подвески методом TOPSIS является матрица решений, включающая в себя оценки альтернатив по критериям, а также веса критериев. Альтернативами в данном случае являются типы передней подвески, а критериями служат эксплуатационные показатели. По методу TOPSIS были определены коэффициенты приближенности каждого варианта к идеальному, которые представлены графически на гистограмме. В результате анализа установлено, что наиболее полно соответствует эксплуатационным показателям независимая однорычажная поперечная (Макферсон) передняя подвеска, применяемая на большинстве карьерных самосвалов грузоподъемностью от 60 до 110 т.

Для цитирования: Дубинкин Д.М., Пашков Д.А., Ушаков А.Е. Обоснование типа передней подвески автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн // Горное оборудование и электромеханика – 2021. – № 5 (157). – С. 10-18 – DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-10-18

Введение

Согласно данным Министерства угольной промышленности Кузбасса, за август 2021 г. на угольных предприятиях Кузбасса добыто 20,5 млн тонн угля, в том числе: открытым способом – 14,4 млн тонн угля (в 2020 г. – 11,8 млн тонн); подземным способом – 6,1 млн тонн (в 2020 г. – 6,5 млн тонн) [1]. По сравнению с аналогичным периодом 2020 года общая добыча угля выросла на 12%. Стоит отметить, что добыча открытым способом (на разрезах) увеличилась на 22%, а подземным способом (на шахтах) уменьшилась на 6 %. При этом открытым способом добыто 70% угля.

Характерным для добычи на разрезах способом транспортирования является автомобильный. Транспортировку при данном способе осуществляет карьерный самосвал (КС) [2-9]. Данному виду транспорта присущи следующие преимущества: мобильность, возможность использования в различных горнотехнологических и климатических условиях и т. д. [10]. В то же время автомобильный транспорт является наиболее дорогостоящим [11]. Таким обра-

зом, исследования и создание конструкции и эксплуатации КС являются в ближайшем будущем актуальными.

В 2020 г. сформирована заявка для участия конкурсе по отбору организаций на право получения субсидий на реализацию комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства, проводимого в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», на тему «Создание высокотехнологичного производства семейства роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией на основе цифровых технологий». После подведения итогов конкурса проект вошел в число победителей, тем самым подтвердив актуальность исследования и создание новой конструкции карьерных самосвалов.

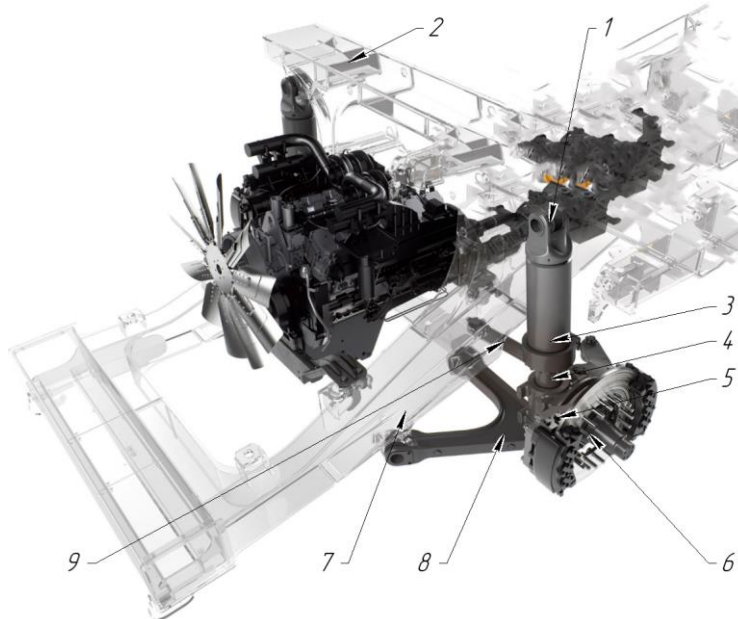


Рис. 1. Схема передней подвески VOLVO R100E:

1 – резиновая чашка; 2 – колесная арка; 3 – цилиндр с подшипником;
4 – амортизатор; 5 – поворотный кулак; 6 – ступица; 7 – рама; 8 – нижний рычаг; 9 – рулевая тяга.

Fig. 1. VOLVO R100E front suspension scheme:

1 – rubber cup; 2 – wheel arch; 3 – cylinder with bearing;
4 – shock absorber; 5 – steering knuckle; 6 – hub; 7 – frame; 8 – lower lever; 9 – steering rod.

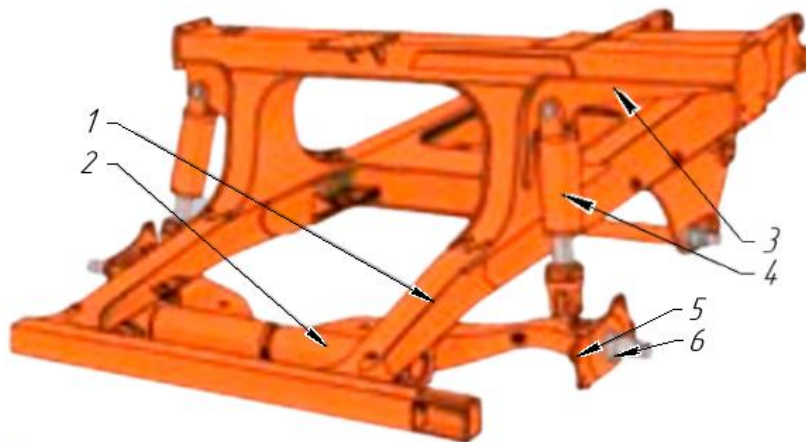


Рис. 2. Схема передней подвески Hitachi EH 1700:

1 – рама; 2 – продольный рычаг; 3 – верхняя балка; 4 – цилиндр подвески;
5 – шкворневой механизм; 6 – ступица.

Fig. 2. Hitachi EH 1700 front suspension scheme:

1 – frame; 2 – longitudinal arm; 3 – upper beam; 4 – suspension cylinder;
5 – pin mechanism; 6 – hub.

В период эксплуатации на КС воздействует множество нагрузок [12-20], одной из которых являются удары об кузов горной массы при погрузке, т.к. при разгрузке ковша экскаватора горная масса падает одновременно в кузов с большой высоты (от 2,5 м и более), а также движение карьерного самосвала по неровной дороге, при котором ударные нагрузки приходят со стороны колес. За гашение этих двух нагрузок отвечает одна система поддрессоривания (подвеска).

к поворотному шкворню 5 и опирается на закрепленные на раме 1 амортизаторные стойки, которые крепятся верхними кронштейнами к верхней балке 3, наполненные газом и сжимаемой жидкостью, и продольными рычагами 2. Продольные рычаги являются основными элементами, к которым крепятся остальные детали подвески. Продольные рычаги шарнирно крепятся к поперечной трубе, установленной в передней части рамы [22].

Такая схема подвески позволяет увеличить колею передних колес, что повышает плавность хода,

При реализации проекта для анализа конструкций рассматриваются КС грузоподъемностью от 60 до 110 тонн.

Типы передних подвесок карьерных самосвалов

В серийно выпускаемых КС подвеска представлена следующими типами: однорычажная поперечная (Макферсон), однорычажная шкворневая, шкворневая (раздвижная стойка), на продольных рычагах, на двойных продольных рычагах.

Передняя подвеска в моделях Komatsu HD785-7 и HD985-5, Veml BH100, SANY SRT95D и VOLVO R100E выполнена независимой однорычажной поперечной (Макферсон).

На примере VOLVO R100E (Рис.1) конструкция представляет собой прикрепленный при помощи резиновой чашки 1 к верхней части колесной арки 2 цилиндр с подшипником 3, в который упирается амортизатор 4, объединенный в один блок, поворотный кулак передней оси 5, кронштейны рамы 7, ступица 5, соединенная посредством шаровой опоры к нижнему рычагу 8 и рулевой тяги 9.

К особенностям можно добавить, что на подвесках такого типа при повороте колеса амортизатор также совершает поворот (необходим подшипник в конструкции). Система простая, но требует приложения больших усилий к рулю при повороте [21].

Примерами исполнения однорычажной продольной подвески являются самосвалы марок Hitachi EH 1700 и VOLVO R90C.

На примере Hitachi EH 1700 ступица 6 (Рис. 2) закрепляется

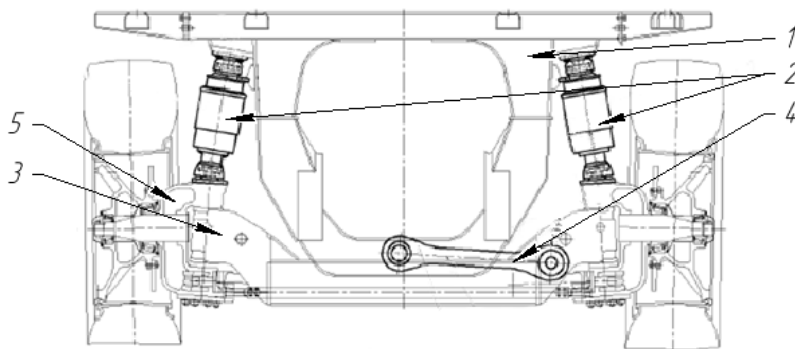


Рис. 3. Схема передней подвески БелАЗ 7557 (7558):

1 – рама; 2 – цилиндр передней подвески пневмогидравлический;
3 – балка передней оси; 4 – штанга передней подвески.

Fig. 3. BelAZ 7557(7558) front suspension scheme:

1 – frame; 2 – front suspension cylinder pneumohydraulic; 3 – front axle beam;
4 – front suspension rod.

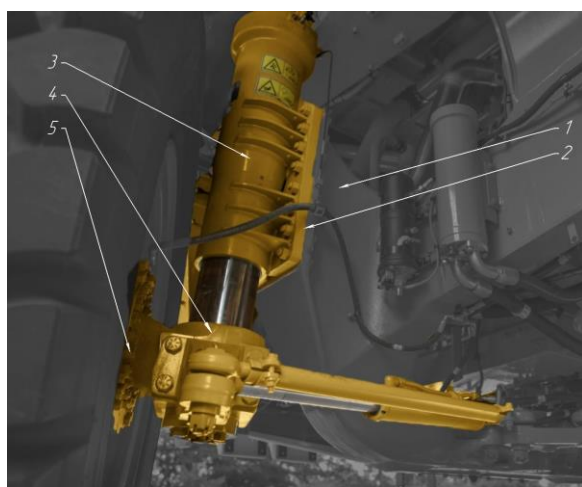


Рис. 4. Схема передней подвески Caterpillar 777D:

1 – рама; 2 – узел крепления рамы и цилиндра; 3 – цилиндр подвески;
4 – поворотная шкворня; 5 – ступица.

Fig. 4. Caterpillar 777D front suspension scheme:

1 – frame; 2 – frame and cylinder mounting assembly; 3 – suspension cylinder;
4 – swivel pin; 5 – stud.

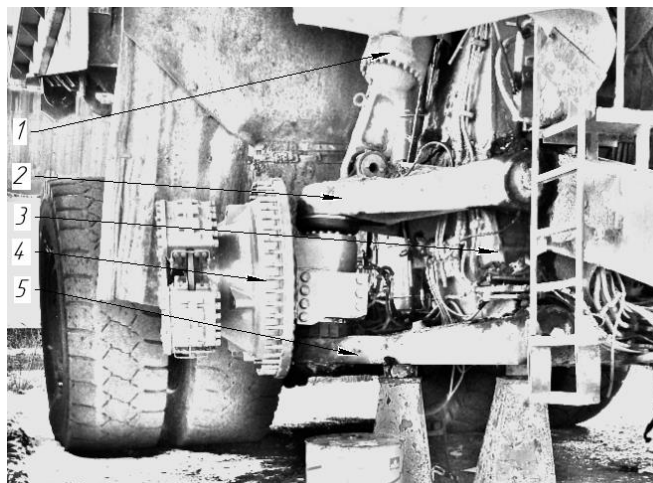


Рис. 5. Схема передней подвески Liebherr T236:

1 – цилиндр пневмогидравлический; 2 – верхний поперечный рычаг; 3 – рама;
4 – поворотная шкворень; 5 – нижний поперечный рычаг.

Fig. 5. Liebherr T236 front suspension scheme:

1 – pneumohydraulic cylinder; 2 – upper wishbone; 3 – frame; 4 – rotary pin; 5 – lower wishbone.

улучшает устойчивость и уменьшает радиус поворота. В передней части расстояние между балками больше, чем в задней, что обеспечивает высокую устойчивость на дороге.

Передняя подвеска карьерных самосвалов линейки БелАЗ-7557 и БелАЗ-7558 полностью зависимая однорычажная шкворневая, состоящая из двух пневмогидравлических цилиндров 1 (Рис.3), продольного рычага балки передней оси 3 с центральным шарниром и поперечной штанги 4. Балка передней оси 3 с продольным рычагом соединена с рамой 1 при помощи шарнира, поперечной штанги 4 и цилиндров подвески 2 [23, 24].

Благодаря такой конструкции цилиндры подвески воспринимают только вертикальные нагрузки, штанга – поперечные, а шарнир рычага – вертикальные, поперечные и продольные.

Передняя подвеска КС Terex TR100, Perlini 705, XCMG XDM91, а также Caterpillar серийного ряда 777 конструктивно схожа, поэтому рассмотрим конструкцию подвески на примере модели Caterpillar 777D. Она представляет из себя независимую прямую шкворневую подвеску с объединенной системой рулевого управления.

Таблица 1. Типы передних подвесок, используемые на карьерных самосвалах от 60 до 110 тонн.
Table 1. The types of front suspensions used on quarry dump trucks range from 60 to 110 tons.

Производитель	Модель	Грузоподъемность, т.	Класс	Тип подвески
Komatsu	HD785-7	91	Независимая	Однорычажная поперечная (Макферсон)
	HD985-5	105	Независимая	Однорычажная поперечная (Макферсон)
Hitachi	EH 1700	95,2	Независимая	Однорычажная продольная
XCMG	XDM91	91	Независимая	Прямая шкворневая
SANY	SRT95D	95	Независимая	Однорычажная поперечная (Макферсон)
Beml	BH100	91	Независимая	Однорычажная поперечная (Макферсон)
БелАЗ	7557	90	Зависимая	Однорычажная шкворневая
	7558	90	Зависимая	Однорычажная шкворневая
Terex	TR100	90,7	Независимая	Прямая шкворневая
Liebherr	T236	100	Независимая	Двухрычажная поперечная
Volvo	R100E	95	Независимая	Однорычажная поперечная (Макферсон)
	R90C	90,7	Независимая	Однорычажная продольная
Caterpillar	777	92,6	Независимая	Прямая шкворневая

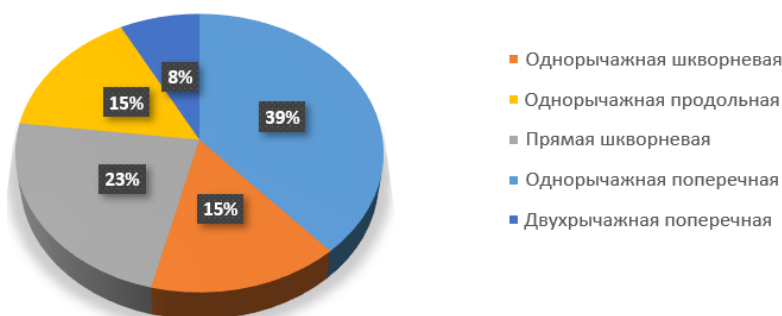


Рис. 6. Доли применяемых типов передней подвески на КС грузоподъемностью 60-110 тонн.
Fig. 6. The proportion of the types of front suspension used on CS with a load capacity of 60-110 tons.

Передние азотно-масляные цилиндры передней подвески 3 установлены креплениями 2 на раме 1 и служат в качестве поворотных шкворней механизма рулевого управления 4 и ступицей 5, что позволяет достичь высокой маневренности машины и снижает потребность в техническом обслуживании. Схождение передних колес регулируемое.

Такая конструкция проста и надежна, обеспечивает отличную плавность хода и защиту несущих конструкций самосвала.

Примером реализации конструкции независимой двухрычажной поперечной передней подвески является КС Liebherr T236.

Пневмогидравлический цилиндр 1 упирается в поперечные рычаги 2 и 5 (Рис. 5), которые расположены с обеих сторон, их внутренние втулки соединены с рамой 3, а внешние – с поворотным шкворнем 4. Сделано это для того, чтобы при сжатии сохранялся оптимальный развал колес (в отрицательную сторону).

Преимущество данной подвески в возможности выбора геометрии рычагов, что позволяет устанавливать развал колес, высоту продольного и поперечного центров крена и др. Такая подвеска крепится к

поперечине кузова или рамы как отдельный агрегат, благодаря чему может быть целиком демонтирована для замены или ремонта.

В таблице 1 представлены основные модели карьерных самосвалов грузоподъемностью от 60 до 110 тонн с указанием типа передней подвески.

По данным, представленным в таблице 1 и на рисунке 6, установлено, что на КС грузоподъемностью от 60 до 110 тонн наиболее популярным является тип передней подвески – однорычажная поперечная (Макферсон).

Однако самый популярный тип передней подвески еще не подтверждает обоснованность его выбора для автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн.

На основании исследований [25, 26] и в отзывах специалистов угольных предприятий, основанных на опыте эксплуатации карьерных самосвалов, отмечено, что основными эксплуатационными показателями передних подвесок карьерных самосвалов являются надежность узла, управляемость КС, устойчивость КС при движении, время замены (ремонта), стоимость элементов, ресурс элементов узла.

Таблица 2. Матрица решений.
Table 2. The matrix of solutions.

Альтернативы	Критерии оценки					
	Надежность узла	Управляемость КС	Устойчивость КС при движении	Время замены (ремонта)	Стоимость элементов	Ресурс элементов узла
	Вес критерия w_i					
	1,0	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9
Независимая однорычажная поперечная (Макферсон)	7	8	8	8	6	8
Независимая однорычажная продольная	6	6	6	6	5	8
Независимая прямая шкворневая	6	8	6	8	6	5
Зависимая однорычажная шкворневая	8	6	5	6	6	8
Независимая двухрычажная поперечная	6	8	7	4	4	6

При наличии нескольких типов передней подвески КС встает проблема выбора лучшего варианта. При такой постановке задачи процесс выбора сводится к применению методов многокритериального анализа принятия решения, в зарубежной литературе известных как MCDA – Multi-Criteria Decision Analysis [27-29].

В литературе [27] представлен алгоритм выбора метода MCDA, на основании которого наиболее подходящим методом для нашего анализа является TOPSIS.

Анализ типов передней подвески карьерных самосвалов по их эксплуатационным показателям

Исходными данными для выбора типа передней подвески методом TOPSIS является матрица решений (таблица 2), включающая в себя оценки альтернатив по критериям, а также веса критериев. Альтернативами в данном случае являются типы передней подвески, а критериями служат эксплуатационные показатели.

Оценки альтернатив по критериям, а также веса критериев были определены на совместном совещании специалистов угольных предприятий с ответственными исполнителями проекта «Создание высокотехнологичного производства семейства роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией на основе цифровых технологий».

Метод TOPSIS состоит из пяти шагов вычислений. Первым шагом является обработка эффективности вариантов по различным эксплуатационным

показателям. Эти характеристики должны быть нормализованы на втором этапе. Нормализованные показатели сравниваются с наилучшим результатом. Далее рассчитывается приближенность каждого показателя варианта с идеальным и антиидеальным показателем. И, наконец, определяется относительный коэффициент приближенности для каждого варианта.

1) Нормализация

Нормализация позволяет сравнивать различные меры единиц. В качестве метода нормализации используется метод идеальной нормализации.

Для метода идеальной нормализации требуется деление каждого показателя на наибольший в каждом столбце:

$$r_{ai} = \frac{x_{ai}}{u_{ai}}, \quad (1)$$

где $u_{ai} = \max(x_{ai})$ для $a = 1, \dots, n$.

2) Далее рассчитываются весовые коэффициенты по выражению (2) путем умножения r_{ai} на их соответствующие веса w_i .

$$v_{ai} = r_{ai} \cdot w_i. \quad (2)$$

3) Весовые коэффициенты будут использоваться для сравнения каждого показателя с наибольшим и наименьшим коэффициентом.

4) Вычисляется приближенность каждого показателя к наибольшему и наименьшему коэффициенту по выражениям (3) и (4).

$$d_a^+ = \sqrt{\sum_i (v_i^+ - v_{ai})^2} \quad a = 1, \dots, m, \quad (3)$$

$$d_a^- = \sqrt{\sum_i (v_i^- - v_{ai})^2} \quad a = 1, \dots, m. \quad (4)$$

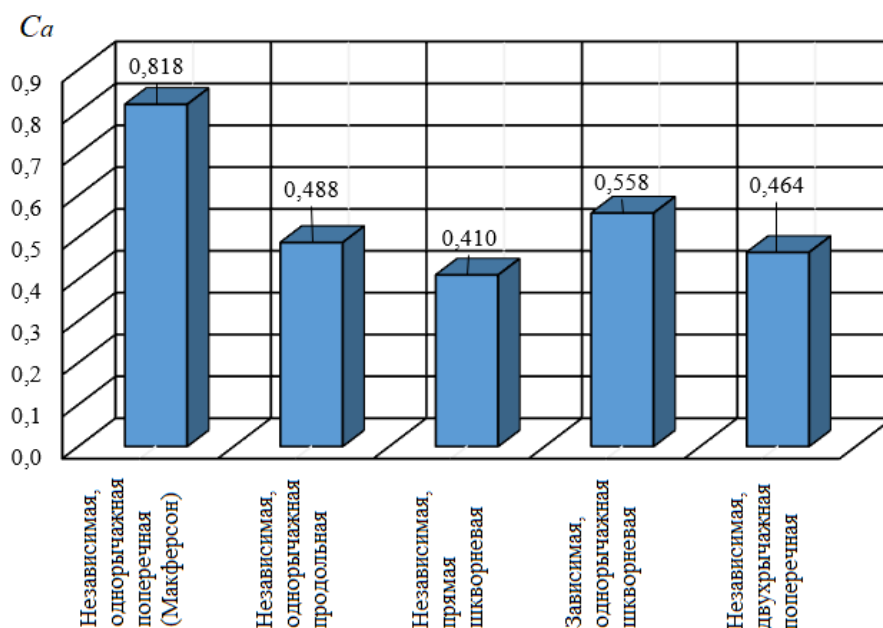


Рис. 7. Коэффициенты приближенности каждого варианта к идеальному.
Fig. 7. The coefficients of approximation of each option to the ideal.

5) Расчет относительного коэффициента приближенности каждого варианта к наибольшему коэффициенту. Производится по выражению (5).

$$C_a = \frac{d_a^-}{d_a^+ + d_a^-} \quad (5)$$

Далее выбирается вариант с коэффициентом приближенности, близким к наибольшему значению, остальные варианты исключаются.

По методу, описанному выше, были определены коэффициенты приближенности каждого варианта к идеальному, которые представлены на рисунке 7.

По результатам анализа методом TOPSIS установлено, что наиболее полно соответствует эксплуатационным показателям независимая однорычажная поперечная (Макферсон) передняя подвеска, применяемая на большинстве карьерных самосвалах грузоподъемностью от 60 до 110 т.

Таким образом, независимая однорычажная поперечная (Макферсон) передняя подвеска является предпочтительной при разработке новых конструктивных решений автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн.

Выводы

В результате анализа типов передних подвесок в существующих карьерных самосвалах по эксплуатационным показателям установлено, что независимая однорычажная поперечная (Макферсон) передняя подвеска является предпочтительной при разработке новых конструктивных решений автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн.

В качестве упругого и демпфирующего элементов передней подвески типа Макферсон применяются пневмогидравлические рессоры. Применение подвески типа Макферсон позволит обеспечить на автономном карьерном самосвале грузоподъемностью до 90 тонн относительно высокие характери-

стики плавности хода, устойчивости и управляемости (в сравнении с подвеской, применяемой на самосвалах Terex и Caterpillar) в совокупности с простой конструкцией (в сравнении с подвеской на двух поперечных рычагах, применяемой на самосвалах Liebherr).

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2020-031 от 14.12.2020 г. 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Итоги работы угольной отрасли за август 2021 года // электронное: официальный сайт. – URL: <https://mupk42.ru/ru/press-center/news/novosti-ministerstva/itogi-raboty-ugolnoy-otrasli-za-avgust-2021-goda/>
2. Разработка структуры системы управления беспилотным карьерным самосвалом / Д. М. Дубинкин, В. Ю. Садовец, И. С. Сыркин, И. В. Чичерин // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 6(152). – С. 25-30. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-6-25-30.
3. Дубинкин Д.М., Аксенов В.В., Тюленев М.А., Марков С.О. Влияние горнотехнических фак-

торов на производительность беспилотных карьерных автосамосвалов // Техника и технология горного дела. – 2020. – № 4 (11). – С. 42-69.

4. Дубинкин, Д. М. Обоснование необходимости создания тяжелых платформ для открытых горных работ / Д. М. Дубинкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 4(150). – С. 59-64. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-4-59-64.

5. Дубинкин Д.М., Карташов А.Б., Арутюнян Г.А., Бузунов Н.В., Сорокин К.П., Ялышев А.В. Современное состояние техники и технологий в области карьерных самосвалов с накопителями энергии // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 6 (152). – С. 31-42.

6. Концепция управления беспилотными транспортными средствами в условиях открытых горных работ / И.В. Чичерин, Б.А. Федосенков, И.С. Сыркин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2020. – № 8. – С. 109-120. – DOI 10.21440/0536-1028-2020-8-109-120.

7. 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.

8. Разработка критериев обеспечения совместной работы источников энергии для создания новых карьерных самосвалов / Н.В. Бузунов, Р.Д. Пирожков, А.Б. Карташов, Д.М. Дубинкин // Вестник КузГТУ. – 2020. – №6. – С. 87-97.

9. Об интенсивности изменения производительности автономной тяжелой платформы / М.А. Тюленев, С.О. Марков, Д.М. Дубинкин, В.В. Аксенов // Вестник КузГТУ. – 2021. – №1. – С. 97-108. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-1-97-108

10. Хазин, М.Л. Роботизированные карьерные самосвалы // Известия Уральского государственного горного университета. – 2020. – № 3 (59). – С. 123-130.

11. Burmistrov K.V., Osintsev N.A., Shakhshakpaev A.N. Selection of Open-Pit Dump Trucks during Quarry Reconstruction // Procedia Engineering. 2017. Vol. 206. P. 1696-1702.

12. Метод определения энергоэффективного закона движения карьерного автосамосвала / А.Б. Карташов, Б.Б. Косицын, Г.О. Котиев [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 3(149). – С. 11-24. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-3-11-24.

13. Dubinkin, D. Justification of the Number and Type of Tire Size for a Dump Truck with a Lifting Capacity from 90 to 130 Tons / D. Dubinkin, A. Kulpin, D. Stenin // E3S Web of Conferences: 5, Kemerovo, 19–21 октября 2020 года. – Kemerovo, 2020. – P. 03015. – DOI 10.1051/e3sconf/202017403015.

14. Дубинкин Д.М., Садовец В.Ю., Котиев Г.О., Карташов А.Б. Исследование процесса транспортирования вскрышных пород и угля на разрезах // Техника и технология горного дела. – 2019. – № 4 (7). – С. 50-66.

15. Using a wavelet medium for computer-aided controlling the movement of unmanned vehicles along quarry routes / I. Chicherin, B. Fedosenkov, I. Syrkin [et

al.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – № 2. – P. 103-112. – DOI 10.21440/0536-1028-2021-2-103-112.

16. Оценка степени взаимовлияния вместимости ковша экскаватора и кузова автосамосвала / А.А. Хорешок, Д.М. Дубинкин, С.О. Марков, М.А. Тюленев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 3(145). – С. 104-112. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-3-104-112.

17. Дубинкин, Д.М. Обоснование конструктивного решения трансмиссии автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн / Д. М. Дубинкин, Д. А. Пашков, Н. А. Архицкий // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 3(155). – С. 12-19. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-3-12-19.

18. Мониторинг динамического состояния автономных тяжелых платформ на карьерных маршрутах горнорудных предприятий / С.Г. Костюк, И.В. Чичерин, Б.А. Федосенков, Д.М. Дубинкин // Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. – Т. 12. – № 4(46). – С. 600-608. – DOI 10.21177/1998-4502-2020-12-4-600-608.

19. Дубинкин, Д.М. Обоснование количества и типа размера шин для беспилотных карьерных самосвалов / Д.М. Дубинкин, А.Б. Карташов, Г.А. Арутюнян // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 3(149). – С. 25-33. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-3-25-33.

20. Кузин, Е.Г. Анализ отказов узлов карьерных самосвалов в условиях эксплуатации / Е.Г. Кузин, Е.Ю. Пудов, Д.М. Дубинкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 2(154). – С. 55-61. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-2-55-61.

21. Карьерные самосвалы Volvo // электронное: официальный сайт. – URL: https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/products/rigid-haulers/brochures/brochure_r100e_t2_ru_41_20055964_c.pdf?v=OYIAPw

22. Карьерный самосвал Hitachi EH 1700 // электронное: официальный сайт. – URL: <http://www.mining-portal.ru/uploads/catalog/92a983f72a3617b2.pdf>.

23. Подвески самосвалов БелАЗ // электронное: официальный сайт. – URL: <http://www.avtomash.ru/guravto/2006/20060115.htm>.

24. Карьерные самосвалы серии 7557 // электронное: официальный сайт. – URL: <https://belaz.by/products/products-belaz/dumpers/dump-trucks-with-hydrmechanical-transmission/dumpers-series-7557/>

25. Российский рынок карьерных самосвалов, Новоселов В. // электронное: официальный сайт. – URL: https://www.zepelin.ru/upload/iblock/2b7/03_2013_samosvaly.pdf

26. Обоснование параметров системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов, Ушаков Ю.Ю. // электронное: официальный сайт. – URL: <http://science.ursmu.ru/upload/doc/2016/10/24/obosno>

vanie_parametrov_sistemy_tekhnicheskogo_obslyujivaniya_i_remonta_karernyh_avtosamosvalov.pdf

27. Xiaoqian Sun. Multiple Criteria Decision Analysis Techniques in Aircraft Design and Evaluation Processes – Vom Promotion sausschuss der Technischen Universitat Hamburg-Harburgzur Erlangung des akademischen Grades, 2012. – 199 c.

28. Hwang, C. L. Multiple attributes decision making methods and applications / C. L. Hwang, K. Yoon. Heidelberg, Berlin: Springer, 1981.

29. Ishizaka A., Nemery P. Multi-criteria decision analysis: methods and software. – John Wiley & Sons, 2013. – 296 c.

DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-10-18

Dmitry M. Dubinkin, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Dmitry A. Pashkov**, engineer, **Alexander E. Ushakov**, technic

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Russian Federation, Kemerovo, Vesennaya street, 28

e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

TYPE OF FRONT SUSPENSION JUSTIFICATION OF AN AUTONOMOUS MINING DUMP TRUCK WITH A LOAD CAPACITY OF UP TO 90 TONS



Article info

Received:

13 September 2021

Revised:

30 September 2021

Accepted:

03 October 2021

Keywords: autonomous mining dump truck, mining, mining dump truck, suspension

Abstract.

The article substantiates the type of front suspension for robotic mining dump trucks with a load capacity of up to 90 tons. The development relevance conclusion of quarry dump trucks is made. Each type of front suspension used on existing mining dump trucks is considered. It is established that the most popular type of front suspension is single-lever transverse. For the analysis of suspension types by performance characteristics, the method of multicriteria analysis – TOPSIS was used. The initial data for choosing the type of front suspension by the TOPSIS method is a decision matrix, which includes estimates of alternatives by criteria, as well as weights of criteria. The alternatives in this case are the types of front suspension, and the coefficients are performance indicators. According to the TOPSIS method, the coefficients of approximation of each variant to the ideal were determined, which are graphically represented on the histogram. As a result of the analysis, it was found that the independent, single-lever transverse (MacPherson) front suspension used on most dump trucks with a load capacity from 60 to 110 tons most fully corresponds to the operational indicators.

For citation Dubinkin D.M., Pashkov D.A., Ushakov A.E. Type of front suspension justification of an autonomous mining dump truck with a load capacity of up to 90 tons. Mining Equipment and Electromechanics, 2021, no.5 (157), pp. 10-18. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-10-18

REFERENCES

1. Itogi raboty ugol'noy otrasli za avgust 2021 goda // elektronnoye: ofitsial'nyy sayt. – URL: <https://mupk42.ru/ru/press-center/news/novosti-ministerstva/itogi-raboty-ugolnoy-otrasli-za-avgust-2021-goda/>

2. Razrabotka struktury sistemy upravleniya bespilotnym kar'yernym samosvalom / D.M. Dubinkin, V.Yu. Sadovets, I.S. Syrkin, I.V. Chicherin // Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika. – 2020. – № 6(152). – S. 25-30. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-6-25-30.

3. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Tyulenev M.A., Markov S.O. Vliyaniye gornotekhnicheskikh faktorov na proizvoditel'nost' bespilotnykh kar'yernykh avtosamosvalov // Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela. – 2020. – № 4 (11). – S. 42-69.

4. Dubinkin, D.M. Obosnovaniye neobkhodimosti sozdaniya tyazhelykh platform dlya otkrytykh gornykh rabot / D.M. Dubinkin // Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika. – 2020. – № 4(150). – S. 59-64. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-4-59-64.

5. Dubinkin D.M., Kartashov A.B., Arutyunyan G.A., Buzunov N.V., Sorokin K.P., Yalyshev A.V. Sovremen-noye sostoyaniye tekhniki i tekhnologiy v oblasti kar'yernykh samosvalov s nakopitelyami energii // Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika. – 2020. – № 6 (152). – S. 31-42.

6. Kontseptsiya upravleniya bespilotnymi transportnymi sredstvami v usloviyakh otkrytykh gornykh rabot / I.V. Chicherin, B.A. Fedosenkov, I.S. Syrkin [i dr.] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal. – 2020. – № 8. – S. 109-120. – DOI 10.21440/0536-1028-2020-8-109-120.

7. Dubinkin D.M. Sovremennoye sostoyaniye tekhniki i tekhnologiy v oblasti avtonomnogo upravleniya dvizheniyem transportnykh sredstv ugol'nykh kar'yerov // Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika – 2019. – № 6 (146). – S. 8-15.

8. Razrabotka kriteriyev obespecheniya sovместnoy raboty istochnikov energii dlya sozdaniya novykh kar'yernykh samosvalov / N.V. Buzunov, R.D. Pirozhkov, A.B. Kartashov, D.M. Dubinkin // Vestnik KuzGTU. – 2020. – №6. – С. 87-97.

9. Ob intensivnosti izmeneniya proizvoditel'nosti avtonomnoy tyazhelyoy platformy / M.A. Tyulenev, S.O. Markov, D.M. Dubinkin, V.V. Aksenov // Vestnik KuzGTU. – 2021. – №1. – С. 97-108. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-1-97-108

10. Khazin, M.L. Robotizirovannyye kar'yernyye samosvaly // Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. – 2020. – № 3 (59). – S. 123-130.

11. Burmistrov K.V., Osintsev N.A., Shakshakpaev A.N. Selection of Open-Pit Dump Trucks during Quarry Reconstruction // Procedia Engineering. 2017. Vol. 206. P. 1696-1702.

12. Metod opredeleniya energoeffektivnogo zakona dvizheniya kar'yernogo avtosamosvala / A.B. Kartashov, B.B. Kositsyn, G.O. Kotiyev [i dr.] // Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika. – 2020. – № 3(149). – S. 11-24. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-3-11-24.

13. Dubinkin, D. Justification of the Number and Type of Tire Size for a Dump Truck with a Lifting Capacity from 90 to 130 Tons / D. Dubinkin, A. Kulpin, D. Stenin // E3S Web of Conferences: 5, Kemerovo, 19-21 oktyabrya 2020 goda. – Kemerovo, 2020. – P. 03015. – DOI 10.1051/e3sconf/202017403015.

14. Dubinkin D.M., Sadovets V.Yu., Kotiyev G.O., Kartashov A.B. Issledovaniye protsessa transportirovaniya vskryshnykh porod i uglya na razrezakh // Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela. – 2019. – № 4 (7). – S. 50-66.

15. Using a wavelet medium for computer-aided controlling the movement of unmanned vehicles along quarry routes / I. Chicherin, B. Fedosenkov, I. Syrkin [et al.] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal. – 2021. – No 2. – P. 103-112. – DOI 10.21440/0536-1028-2021-2-103-112.

16. Otsenka stepeni vzaimovliyaniya vmestimosti kovsha ekskavatora i kuzova avtosamosvala / A.A. Khoreshok, D.M. Dubinkin, S.O. Markov, M.A. Tyulenev // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2021. – № 3(145). – S. 104-112. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-3-104-112.

17. Dubinkin, D.M. Obosnovaniye konstruktivnogo resheniya transmissii avtonomnogo kar'yernogo samo-svala gruzopod'yemnost'yu do 90 tonn / D.M. Dubinkin, D.A. Pashkov, N.A.

Arkhit'skiy // Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika. – 2021. – № 3(155). – S. 12-19. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-3-12-19.

18. Monitoring dinamicheskogo sostoyaniya avtonomnykh tyazhelykh platform na kar'yernykh marshrutakh gornorudnykh predpriyatiy / S.G. Kostyuk, I.V. Chicherin, B.A. Fedosenkov, D.M. Dubinkin // Ustoychivoye raz-vitiye gornykh territoriy. – 2020. – T. 12. – № 4(46). – S. 600-608. – DOI 10.21177/1998-4502-2020-12-4-600-608.

19. Dubinkin, D. M. Obosnovaniye kolichestva i tipa razmera shin dlya bespilotnykh kar'yernykh samosvalov / D. M. Dubinkin, A. B. Kartashov, G. A. Arutyunyan // Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika. – 2020. – № 3(149). – S. 25-33. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-3-25-33.

20. Kuzin, Ye.G. Analiz otkazov uzlov kar'yernykh samosvalov v usloviyakh ekspluatatsii / Ye.G. Kuzin, Ye. Yu. Pudov, D.M. Dubinkin // Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika. – 2021. – № 2(154). – S. 55-61. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-2-55-61.

21. Kar'yernyye samosvaly Volvo // elektronnoye: ofitsial'nyy sayt. – URL: https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/products/rigid-haulers/brochures/brochure_r100e_t2_ru_41_20055964_c.pdf?v=OYIAPw

22. Kar'yernyy samosval Hitachi EH 1700 // elektronnoye: ofitsial'nyy sayt. – URL: <http://www.mining-portal.ru/uploads/catalog/92a983f72a3617b2.pdf>.

23. Podveski samosvalov BelAZ // elektronnoye: ofitsial'nyy sayt. – URL: <http://www.avto-mash.ru/guravto/2006/20060115.htm>.

24. Kar'yernyye samosvaly serii 7557 // elektronnoye: ofitsial'nyy sayt. – URL: <https://belaz.by/products/products-belaz/dumpers/dump-trucks-with-hydraulic-transmission/dumpers-series-7557/>

25. Rossiyskiy rynek kar'yernykh samosvalov, Novoselov V. // elektronnoye: ofitsial'nyy sayt. – URL: https://www.zepelin.ru/upload/iblock/2b7/03_2013_samosvaly.pdf

26. Obosnovaniye parametrov sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta kar'yernykh avtosamosvalov, Ushakov YU. YU. // elektronnoye: ofitsial'nyy sayt. – URL: http://science.ursmu.ru/upload/doc/2016/10/24/obosnovanie_parametrov_sistemy_tekhnicheskogo_obs_luzhivaniya_i_remonta_karernyh_avtosamosvalov.pdf

27. Xiaoqian Sun. Multiple Criteria Decision Analysis Techniques in Aircraft Design and Evaluation Process-es – Vom Promotion sausschuss der Technischen Universitat Hamburg-Harburgzur Erlangung des akademischen Grades, 2012. – 199 s.

28. Hwang, C.L. Multiple attributes decision making methods and applications / C.L. Hwang, K. Yoon. Heidelberg, Berlin: Springer, 1981.

29. Ishizaka A., Nemery P. Multi-criteria decision analysis: methods and software. – John Wiley & Sons, 2013. – 296 s