



Научная статья

УДК 622.23:681.518.5

DOI: 10.26730/2618-7434-2022-3-25-40

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ КАРЬЕРНОГО АВТОСАМОСВАЛА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ ДО 240 ТОНН

Арутюнян Г.А.<sup>1</sup>, Карташов А.Б.<sup>1</sup>, Газизуллин Р.Л.<sup>1</sup>, Киселев П.И.<sup>1</sup>, Зайцев Л.А.<sup>1</sup>,  
Тарасюк И.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

<sup>2</sup> Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева



### Информация о статье

Поступила:

28 августа 2022 г.

Рецензирование:

22 сентября 2022 г.

Принята к печати:

30 сентября 2022 г.

### Ключевые слова:

подвеска, оценка  
технологичности подвесок,  
эксплуатационные  
характеристики подвесок,  
анализ конструкции подвесок,  
карьерный автосамосвал

### Аннотация.

В статье определяется рациональный тип передней подвески для перспективных разработок в области карьерных автосамосвалов грузоподъемностью от 200 до 240 т. По результатам обзора аналогов проведена оценка актуальных разработок в области конструкции передних подвесок. Выполнен анализ всех конструкций подвесок, применяемых на актуальных моделях карьерных автосамосвалов ведущих мировых производителей. Установлены количественные показатели качества рассматриваемых конструкций подвески с последующей рейтинговой оценкой каждой конструкции. Для анализа типов подвески по эксплуатационным характеристикам применен метод многокритериального анализа. В результате многокритериального анализа были отобраны три наиболее перспективные для последующей проработки схемы подвески. Для этих конструкций были составлены компьютерные модели с целью оценки диапазонов изменения кинематических параметров подвески, проведена оценка рациональности компоновки и технологичности узлов подвески. Результаты анализа говорят о том, что для карьерного автосамосвала грузоподъемностью от 200 до 240 тонн наиболее полно соответствует требованиям независимая передняя подвеска типа Макферсон на продольном рычаге.

**Для цитирования:** Арутюнян Г.А., Карташов А.Б., Газизуллин Р.Л., Киселев П.И., Зайцев Л.А., Тарасюк И.А. Выбор рационального типа передней подвески карьерного автосамосвала грузоподъемностью до 240 тонн // Техника и технология горного дела. 2022. № 3(18). С. 25-40. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-3-25-40

### Введение

Анализ объемов добычи полезных ископаемых говорит о том, что среднегодовой прирост потребления всех видов полезных ископаемых в мире увеличивается в среднем на 0.6-1.5% [1]. Увеличение объемов добычи невозможно без использования высокоэффективной карьерной техники: в составе полных затрат по добыче и переработке полезных ископаемых, затраты на транспорт являются одной из наиболее существенных составляющих, достигая 40% от себестоимости добычи открытым способом. С целью минимизации этой составляющей, горнодобывающие компании заинтересованы в приобретении высокоэффективной техники, эксплуатационные свойства которой наилучшим образом подходят для эксплуатации в определенном карьере.



Наиболее распространенным для добычи на разрезах способом транспортирования является автомобильный (рис. 1). Транспортировку при данном способе осуществляет карьерный самосвал (КС) [2-5]. Обладая рядом несомненных преимуществ, транспортировка полезных ископаемых автомобильным способом имеет весомый недостаток: высокая стоимость перевозки в сравнении, например, с конвейерной перевозкой. С целью снижения расходов при добыче полезных ископаемых ввиду распространенности автосамосвалов, исследования и создание актуального по совокупности потребительских качеств КС являются в ближайшем будущем актуальными.

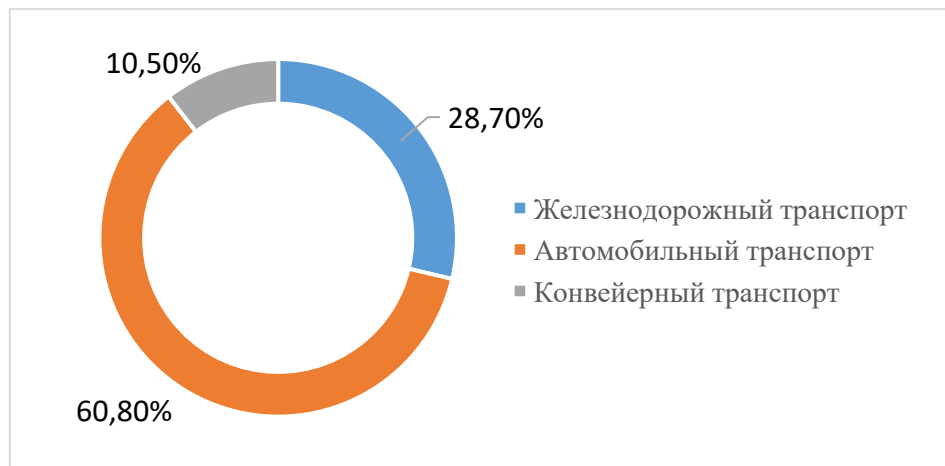


Рис. 1. Основные виды транспорта полезных ископаемых  
Fig. 1. The main types of transport of minerals

В период эксплуатации на КС воздействует множество нагрузок, начиная с ударов о кузов горной массы при погрузке, заканчивая движением карьерного самосвала по неровной дороге, при котором ударные нагрузки на кузов приходят со стороны колес [6-9]. Рациональный выбор конструкции передней подвески позволяет улучшить все эксплуатационные показатели самосвала: снизить себестоимость перевозок, повысить скорость движения автосамосвала и улучшить безопасность движения в карьере. Рациональная компоновка узлов автосамосвала, в том числе подвески, позволяет уменьшить размеры карьерной техники, снизить снаряженную массу, улучшить управляемость и энергоэффективность автосамосвала [10-12].

С целью определения наиболее рациональной компоновки на основании опыта зарубежных производителей проводится сравнительный анализ конструкций передней подвески КС грузоподъемностью от 200 до 240 тонн.

### Применяемые конструкции передних подвесок карьерных самосвалов

На современных карьерных автосамосвалах заданной грузоподъемности применяются следующие типы передней подвески:

- зависимая, балка;
- независимая, Макферсон;
- независимая, телескопическая;
- независимая, на продольном рычаге;
- независимая, на двойных поперечных рычагах.

Передняя подвеска автомобилей БелАЗ 7530 представляет собой зависимую балку. Конструкция подвески (Рисунок 2) состоит из балки передней оси 2, к которой крепятся пневмогидравлические упругие элементы (ПГУ) 7, продольный рычаг и поперечная тяга 6. Продольный рычаг крепится к раме при помощи центрального шарнира 3 [13].

Благодаря такой конструкции ПГУ подвески воспринимают только вертикальные нагрузки, штанга – поперечные, а шарнир рычага – частично вертикальные, поперечные и продольные. Узлы рулевой системы при такой компоновке возможно разместить на узлах подвески, что



значительно снижает габариты узлов ходовой части. Однако данный тип подвески обладает существенным недостатком – большими габаритами и массой узлов подвески, жесткой кинематической связью колес одной оси. В результате происходит снижение скоростей движения карьерного самосвала по неровной опорной поверхности.

Передняя подвеска карьерного самосвала SANY SET 230 независимая, выполнена по схеме Макферсон (рис. 3). Подвеска состоит из поперечного рычага 2, закрепленного на раме. К рычагу крепится ПГР 3, поворотный кулак 4, объединенный со ступицей 5 [14].

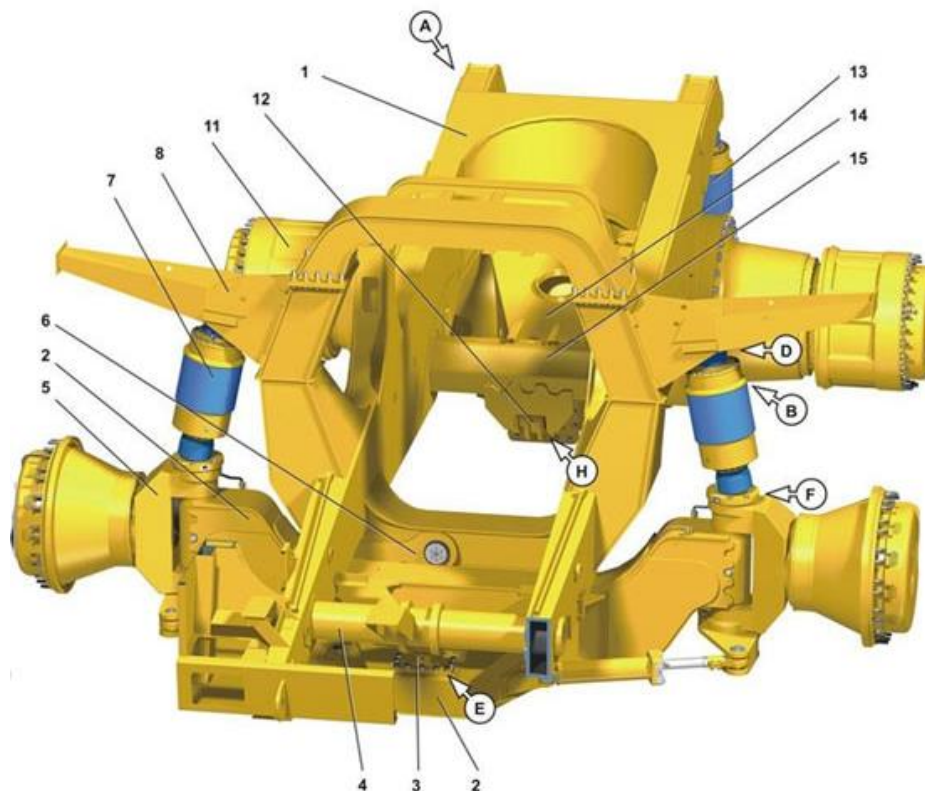


Рис. 2. Внешний вид подвески БелАЗ 7530. 1 – рама; 2 – балка передней оси; 3 – шарнир центральный передней подвески; 4 – поперечина рамы; 5 – кулак поворотный; 6 – штанга поперечная передней подвески; 7 – ПГР подвески передней; 8 – кронштейн верхний крепления переднего цилиндра подвески; 9 – упор; 10 – упор; 11 – ограничитель поворота; 12 – мост задний; 13 – шарнир центральный задней подвески; 14 – ПГР подвески задней; 15 – рычаг заднего моста

Fig. 2. Appearance of the BelAZ 7530 suspension. 1 – frame; 2 – front axle beam; 3 – central hinge of the front suspension; 4 – frame crossbar; 5 – rotary fist; 6 – cross bar of the front suspension; 7 – front suspension bracket; 8 – upper bracket for mounting the front suspension cylinder; 9 – stop; 10 – stop; 11 – turn limiter; 12 – rear axle; 13 – central hinge of the rear suspension; 14 – rear suspension PGR; 15 – rear axle lever

Такая подвеска обладает существенными преимуществами: передачей вертикального усилия от колеса сразу на шток ПГР, малым размером узлов, отсутствием жесткой кинематической связи между колесами одной оси, высокой маневренностью виду больших углов поворота управляемых колес. К недостаткам можно отнести изменения развала при ходах отбоя-сжатия, высокую нагруженность точек крепления рычага к раме и сферического подшипника.

На примере Komatsu 830E (рис. 4) будет рассмотрено устройство телескопической подвески. Азотно-масляные ПГР передней подвески 3 установлены креплениями 2 на раме 1 и служат в качестве поворотных шкворней механизма рулевого управления 4 и ступицей 5 [15]. При этом шток ПГР нагружен всеми продольными, поперечными силами, что существенно увеличивает



его размеры. Стоит отметить, что отказ от направляющих устройств (рычагов) позволяет достичь высокой маневренности машины за счет увеличения углов поворота управляемых колес. Углы развала сохраняют свои значения при ходах подвески.

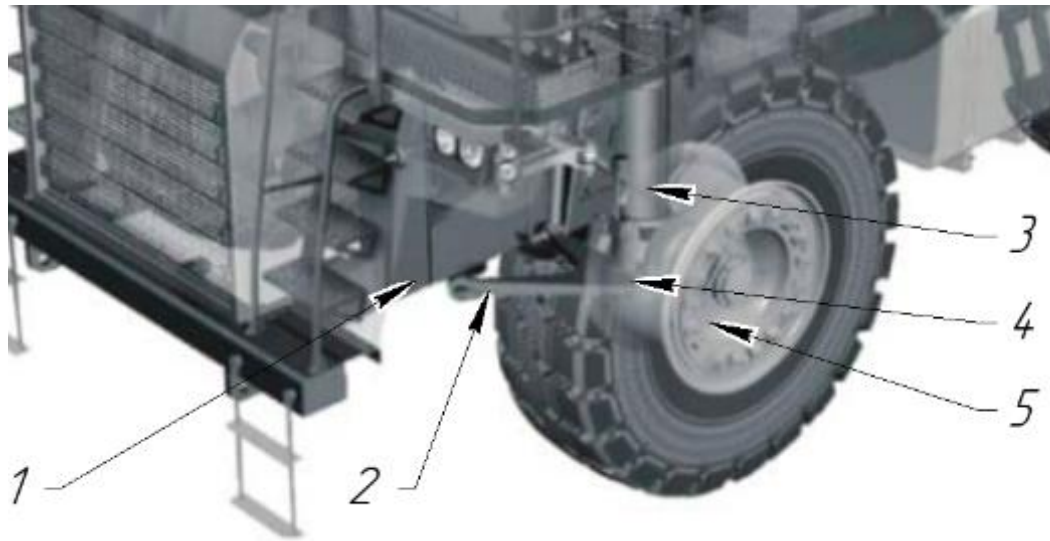


Рис. 3. Внешний вид подвески SANY SET230. 1 – рама; 2 – поперечный рычаг; 3 – пневмогидравлический упругий элемент передней подвески; 4 – поворотный шкворень; 5 – ступица

Fig. 3. Appearance of the SANY SET230 suspension. 1 – frame; 2 – wishbone; 3 – pneumohydraulic elastic element of the front suspension; 4 – swivel pin; 5 – hub

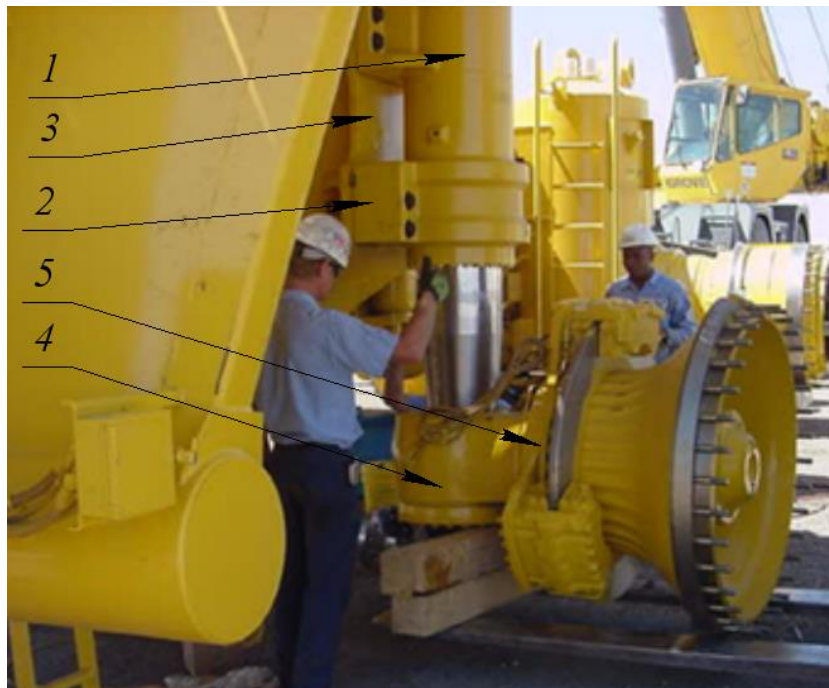


Рис. 4. Внешний вид подвески Komatsu 830E. 1 – рама; 2 – узел крепления рамы и цилиндра; 3 – ПГР передней подвески; 4 – поворотный кулак; 5 – ступица

Fig. 4. The appearance of the Komatsu 830E suspension. 1 – frame; 2 – frame and cylinder mounting assembly; 3 – front suspension PGR; 4 – steering knuckle; 5 – hub

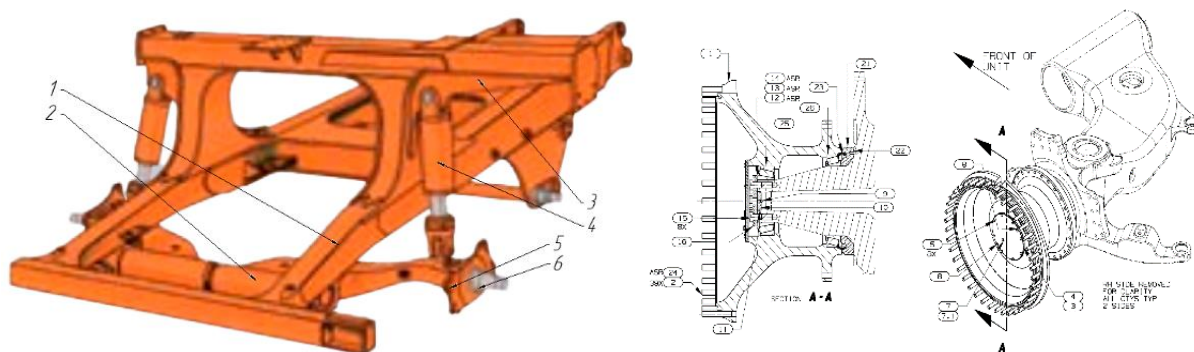


Рис. 5. Конструкция передней подвески Hitachi EH 4000. 1 – рама; 2 – продольный рычаг; 3 – верхняя балка; 4 – ПГР передней подвески; 5 – шкворневой механизм; 6 – ступица  
Fig. 5. The design of the front suspension of the Hitachi EH 4000. 1 – frame; 2 – longitudinal arm; 3 – upper beam; 4 – PGR front suspension; 5 – pin mechanism; 6 – hub

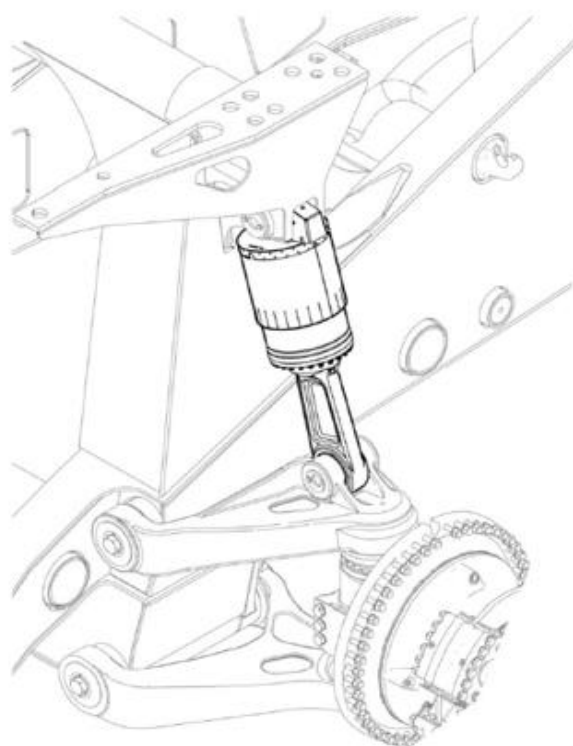


Рис. 6. Конструкция передней подвески Liebherr T264. 1 – рама; 2 – продольный рычаг; 3 – верхняя балка; 4 – ПГР передней подвески; 5 – шкворневой механизм; 6 – ступица  
Fig. 6. Liebherr T264 front suspension design. 1 – frame; 2 – longitudinal arm; 3 – upper beam; 4 – front suspension PGR; 5 – pin mechanism; 6 – hub

Среди недостатков: высокие нагрузки на шток ПГР, повышенный износ шкворневого узла, необходимость установки литых усилений рамы в местах крепления ПГР.

В подвеске на продольном рычаге автосамосвала Hitachi EH 4000 ступица 6 (рис. 5) закрепляется к поворотному шкворню 5 и опирается на закрепленные на раме 1 ПГР передней подвески, которые крепятся верхними кронштейнами к верхней балке 3, наполненные газом и сжимаемой жидкостью, и продольными рычагами 2 [16]. Продольные рычаги являются основными элементами, к которым крепятся узлы рулевого управления. Продольный рычаг шарнирно крепится к поперечной трубе, установленной в передней части рамы.



Применение продольного рычага позволяет сохранять постоянные значения развала при ходах сжатия и отбоя, упрощает конструкцию рамы КС за счет переноса компонентов рулевого управления на рычаги.

Однако имеют место следующие недостатки: большая зона ометания продольного рычага, малая несущая способность рычага при передаче боковых усилий (ограничена грузоподъемностью подшипника). Передача усилия колесо-шток ПГР происходит через рычаг, что требует увеличения его жесткости.

Примером реализации конструкции независимой двухрычажной поперечной передней подвески является КС Liebherr T264. ПГР передней подвески упирается в поперечные А-образные рычаги (Рисунок 6), которые расположены с обеих сторон, их основания шарнирно соединены с рамой, а внешние стороны – с поворотным кулаком. Эта подвеска позволяет при сжатии сохранять оптимальные значения развала колес. Преимущество данной подвески в возможности выбора геометрии рычагов, что позволяет подбирать развал колес, положение продольного и поперечного центров крена и другие кинематические параметры. Основным недостатком – возросшие габариты подвески, большое число шарниров и общая сложность конструкции. Это приводит к уменьшению максимальных углов поворота управляемых колес (снижение маневренности), снижению ремонтпригодности [17].

В таблице 1 приведены сводные данные по применяемым типам подвески среди актуальных моделей карьерных самосвалов. Описанные ниже модели автосамосвалов составляют основу (более 85%) рынка в диапазоне грузоподъемности 200-240 тонн.

Табл. 1. Типы передних подвесок, используемые на карьерных самосвалах от 200 до 240 т  
Table 1. Types of front suspensions used on dump trucks from 200 to 240 tons

Производитель	Модель	Тип подвески	Вид подвески	Максимальная грузоподъемность, т
Комatsu (Япония)	830E	независимая	телескопическая	221
Hitachi (Япония)	EH4000	независимая	однорычажная, на продольном рычаге	220
	EH4500	независимая	однорычажная, на продольном рычаге	251
XCMG (Китай)	DE240	независимая	Макферсон	240
SANY (Китай)	SET230	независимая	Макферсон	230
NHL (Китай)	NTE240	независимая	Макферсон	240
БелАЗ (Беларусь)	7530	зависимая	продольный рычаг (балка)	240
Liebherr (Германия)	T262	независимая	на двойных поперечных рычагах	240
Caterpillar (США)	793D	независимая	телескопическая	218
	794AC	зависимая	продольный рычаг (балка)	261

С учетом объемов производства каждого типа самосвала на рисунке 7 представлена сегментация рынка карьерной техники по применяемым типам подвески.

Из анализа рынка карьерных автосамосвалов заданной грузоподъемности следуют выводы:

1. Наиболее широкое распространение получили: зависимые подвески (25%); подвески типа Макферсон (24%), подвески на продольных рычагах (22%).

2. Большая часть карьерных автосамосвалов с зависимой передней подвеской представляет собой модели разработки конца 1980-х – начала 1990-х годов.

3. На современных видах техники наблюдается отказ от телескопических подвесок (Caterpillar 793D, 1991 г. разработки) к в том числе зависимым подвескам (Caterpillar 794AC 2016



г.). Это возможно объяснить сложностью производства гидроцилиндров подвески, способных воспринимать все продольные и поперечные нагрузки во время движения [18].

4. Подвеска типа Макферсон преимущественно применяется на карьерных автосамосвалах сразу нескольких марок: SANY, NHL, XCMG китайского производства. Это обеспечивает большую долю данного типа подвески в общемировом рынке, однако объемы производства каждого из самосвалов не столь высоки. Стоит отметить, что европейские производители не применяют подвески типа Макферсон на самосвалах грузоподъемностью выше 130 тонн.

5. Двойной поперечный рычаг, будучи наиболее сложной с технической точки зрения конструкцией, получил распространение лишь на семействе карьерных автосамосвалов Liebherr.

Следует понимать, что самый популярный тип передней подвески еще не подтверждает обоснованность его выбора для автономного карьерного самосвала грузоподъемностью 200-240 тонн. Выбор должен быть основан на результатах анализа всех эксплуатационных характеристик.



Рис. 7. Сегментация мирового рынка карьерных автосамосвалов г/п. 200-240 тонн по типам применяемых подвесок (с учетом поправки на объемы производства)

Fig. 7. Segmentation of the world market of quarry dump trucks g/p. 200-240 tons by types of suspensions used (adjusted for production volumes)

Для дальнейшей проработки с применением компьютерного моделирования были выделены три наиболее перспективные схемы с точки зрения эксплуатационных характеристик:

1. Независимая подвеска на продольном рычаге (простота конструкции подвески и рамы, постоянное значение развала).

2. Независимая подвеска типа Макферсон на поперечном рычаге (малые размеры узлов подвески, легкость передачи усилия на шток ПГР).

3. Независимая телескопическая подвеска (минимальные размеры вследствие отсутствия рычагов подвески, как следствие – высокие показатели маневренности, постоянство углов развала, хорошая плавность хода).

Для дальнейшего анализа определим количественные показатели качества подвески карьерного автосамосвала, которые можно разбить на три группы: показатели безопасности, энергоэффективности и технологической рациональности [19].

Безопасность движения карьерного автосамосвала определяется следующими показателями:

– Применение рациональной геометрии позволяет повысить устойчивость карьерного самосвала при прохождении криволинейных участков пути;

– Увеличение ходов подвески позволяет повысить плавность хода и управляемость карьерного автосамосвала;



- Повышение ресурса деталей, подверженных износу в процессе эксплуатации (например, пар трения);
- Снижение нагрузок в узлах подвески и точках крепления подвески к раме снижает число отказов, позволяет снизить требования к устанавливаемым подшипниковым узлам.

Энергоэффективность ходовой части описывается следующими показателями:

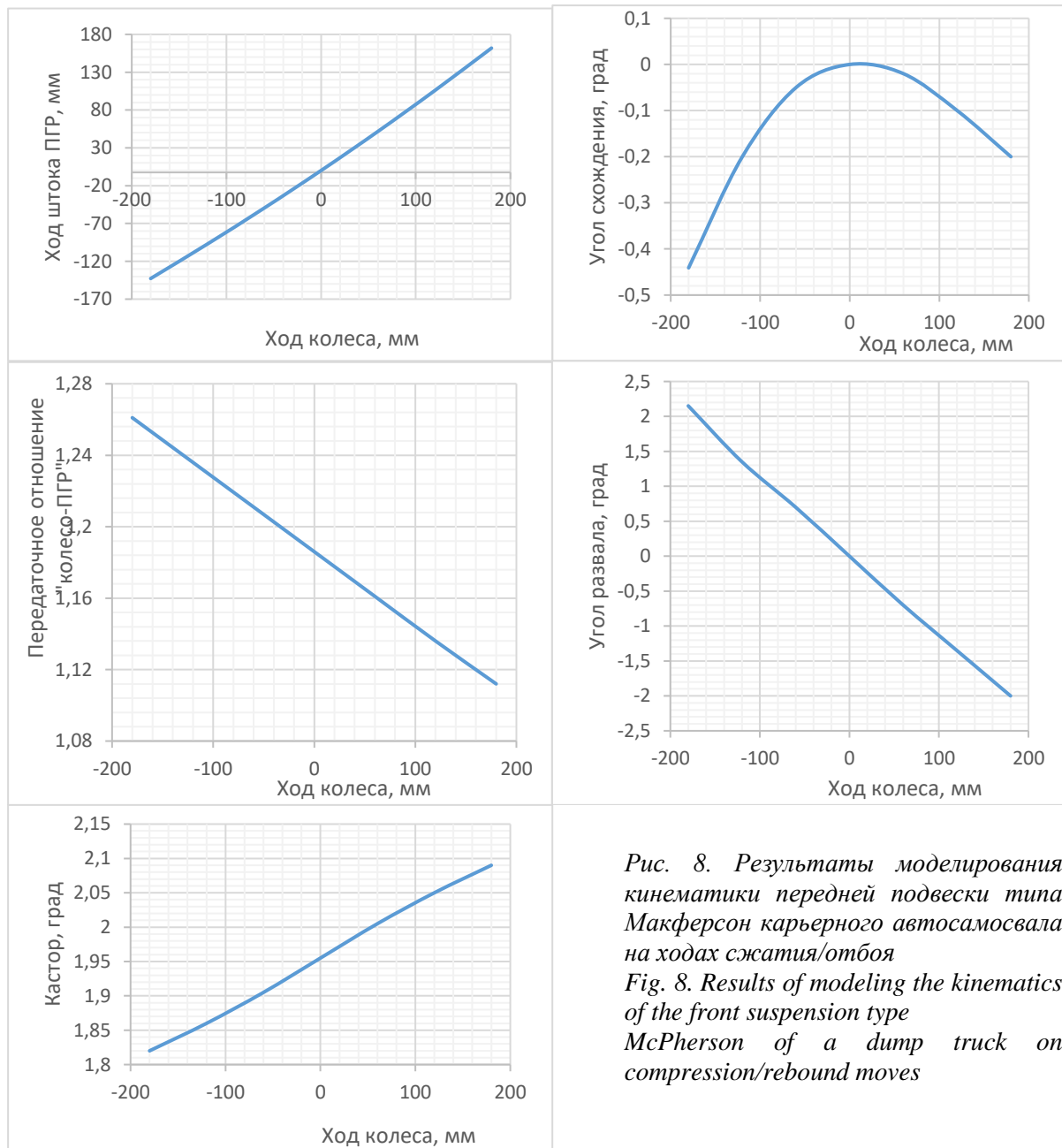


Рис. 8. Результаты моделирования кинематики передней подвески типа Макферсон карьерного автосамосвала на ходах сжатия/отбоя  
Fig. 8. Results of modeling the kinematics of the front suspension type McPherson of a dump truck on compression/rebound moves

- Увеличение углов поворота управляемых колес в совокупности соблюдением принципа Аккермана уменьшает потери энергии при повороте, повышает маневренность техники;
- Уменьшение диапазона изменения углов установки управляемых колес позволяет улучшить эксплуатационные условия шины (желательно сохранение установленного угла развала при прямом и обратном ходах подвески), повысить управляемость автосамосвала;
- Снижение неподрессоренной массы и габаритов деталей подвески позволяет улучшить компоновку автосамосвала, увеличить углы поворота колес, повысить плавность хода.

Технологичность подвески определяется двумя основными показателями:





- Простая конструкция рамы и узлов подвески: отсутствие сложных пространственных усилений, крупных литых деталей рамы;
- Легкость крепления рулевой системы.

Для оценки диапазонов изменения углов установки управляемых колес были созданы модели рассматриваемых схем в программном комплексе Lotus Suspension v6.02d (2021).

По результатам моделирования (рис. 8) можно говорить о следующих достоинствах каждой модели с точки зрения установочных параметров колес передней оси:

Подвеска на продольном рычаге позволяет сохранять значения развала при ходах подвески, а удаление нижних точек крепления амортизаторов к рычагу в данной схеме позволяет минимизировать крены. Хода подвески могут составлять до 180 мм в сжатие и в отбой, что обеспечивает хорошие показатели плавности хода. Центры крена расположены низко, что положительно сказывается на поведении автомобиля, оснащенного таким типом передней подвески. Ширина колеи при ходах остается постоянной.

Подвеска типа Макферсон обладает существенным недостатком: большим диапазоном изменения развала, что негативно сказывается на управляемости. Хода подвески сопоставимы с подвеской на продольном рычаге, что обеспечивает высокую плавность хода [20].

С точки зрения кинематических параметров телескопическая подвеска не является рациональным решением: высокие консольные силы, действующие на шток, требуют снижения его ходов, а колея передней оси изменяется при вертикальных перемещениях колеса.

На рисунке 9 представлены варианты компоновки каждого типа подвески на раме карьерного автосамосвала. Наиболее рациональным является вариант подвески на продольном рычаге. В конструкции рамы отсутствует усиленная поперечная дуга, необходимая для монтажа подвески с креплением поворотных шкворней на амортизаторных стойках. Гидроцилиндры рулевого управления возможно закрепить на рычагах, что облегчает конструкцию рамы.

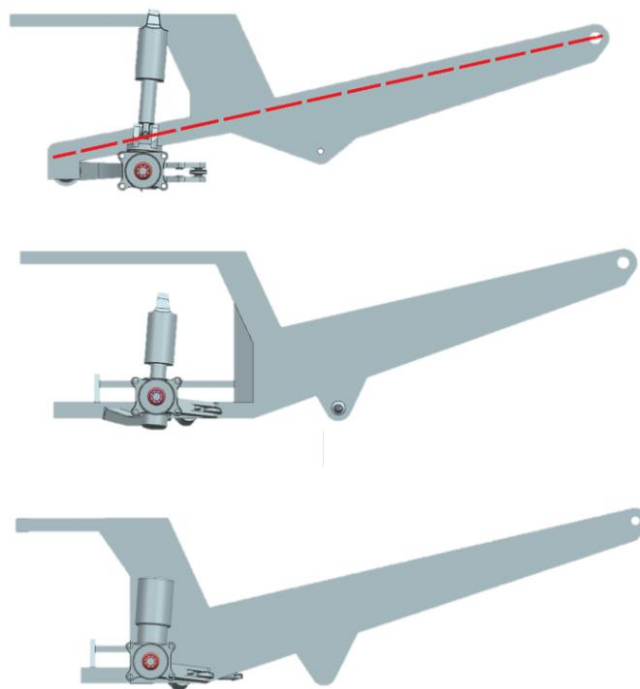
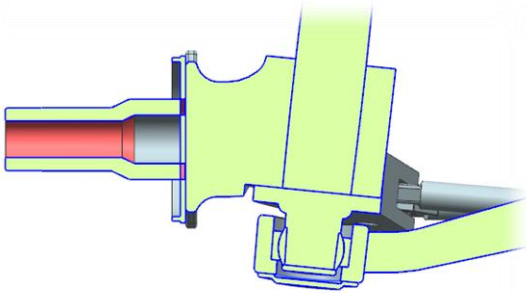
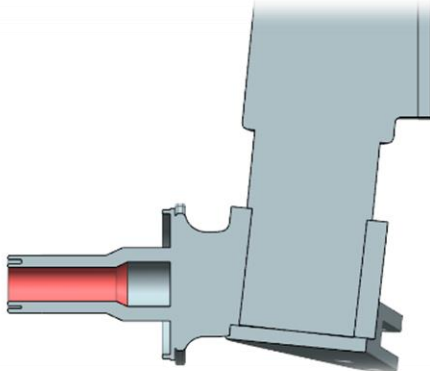
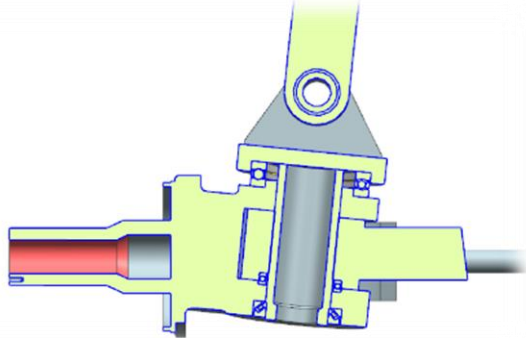


Рис. 9. Компоновка подвески на продольном рычаге (сверху), Макферсон (посередине), телескопической (снизу) на раме проектируемого автосамосвала  
Fig. 9. The layout of the suspension on the longitudinal arm (top), MacPherson (middle), telescopic (bottom) on the frame of the projected dump truck



Таблица 2. Оценка наиболее перспективных схем подвески, используемых на карьерных самосвалах от 200 до 240 тонн

Table 2. Evaluation of the most promising suspension schemes used on quarry dump trucks from 200 to 240 tons

Конструкция подвески	Недостатки	Внешний вид узла
Макферсон	Высоконагруженный узел ШС; Сложность крепления рычагов к раме; Необходимость применения ШС в точках крепления рычага к раме.	
Телескопическая	Нагрузка ПГР высокими изгибными моментами; Рост размеров ПГР; Консольное закрепление ПГР, высокие нагрузки в местах крепления ПГР к раме; Отсутствие опыта разработки ПГР, воспринимающих все продольные и поперечные силы в процессе движения.	
На продольном рычаге	Большой габарит поворотного кулака; Большая зона ометания передней подвески; Возросшая неподрессоренная масса; Большое число подшипниковых узлов в поворотном кулаке.	

Подвеска типа Макферсон требует разнесения высоконагруженных частей рамы в разные плоскости (плоскость грузовой платформы и плоскость подвески). Затруднена компоновка гидроцилиндров рулевого управления на раме в пространстве, ограниченном двигателем и плоскостью расположения рычагов.

Применение прямой телескопической подвески требует применения цельнолитого усиления в области рамы, на котором консольно закрепляются ПГР.

С точки зрения размещения элементов рулевого управления, данный тип подвески требует крепления гидроцилиндров рулевого управления на раме.

Таким образом, с точки зрения кинематических параметров и размещения элементов рулевого управления, наиболее предпочтительным является тип подвески на продольном рычаге.



Главный недостаток предлагаемой компоновки – высокие габариты поворотного кулака в сочетании с большим количеством подшипниковых узлов и пар трения. В таблице 2 приведены краткие сведения о конструкции кулаков каждой рассматриваемой конструкции.

По результатам таблицы 2 можно сделать вывод: наиболее рациональным будет применение компоновки Макферсон на продольном рычаге. Применение подвески, в которой поперечный рычаг заменен на продольный, позволяет объединить преимущества двух перспективных подвесок. На рисунке 10 представлен внешний вид твердотельной модели предлагаемой подвески.

Предлагаемая схема подвески обладает следующими достоинствами:

- малый размер поворотного кулака за счет применения сферического подшипника;
- компактное расположение гидроцилиндров рулевого управления на продольных рычагах;
- простота передачи усилий с колеса на ПГР, рычаг разгружен от вертикальных сил;
- простая конструкция рамы;
- сохранение всех кинематических преимуществ подвески на продольном рычаге.

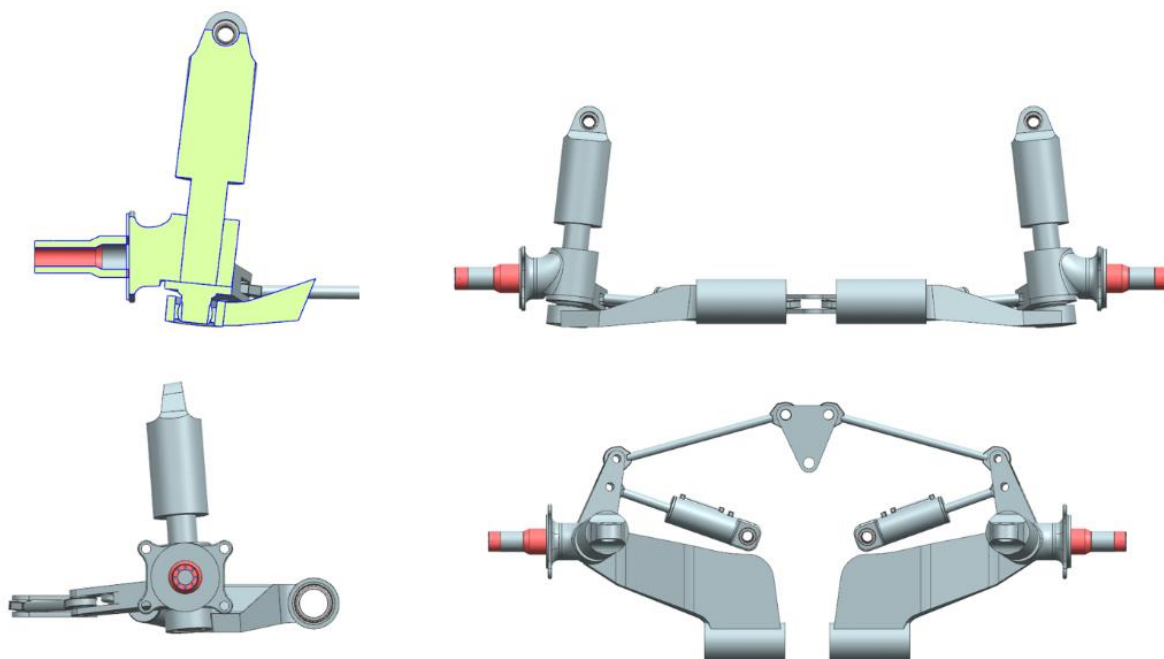


Рис. 10. Компоновка предлагаемой подвески Макферсон на продольном рычаге

Fig. 10. Layout of the proposed MacPherson suspension on the longitudinal arm

Стоит отметить, что данная схема не лишена недостатков:

- большая зона ометания рычагов передней подвески;
- возросшая неподрессоренная масса в сравнении с подвеской на поперечном рычаге.

### Выводы

В результате анализа существующих конструкций передней подвески карьерных самосвалов грузоподъемностью от 200-240 тонн по критериям безопасности, энергоэффективности и технологической рациональности была предложена кинематическая схема Макферсон на продольном рычаге для карьерных автосамосвалов заданной грузоподъемности. Предлагаемый тип передней подвески позволяет объединить преимущества двух типов подвески: независимой подвески на продольном рычаге (Hitachi) и независимой подвески типа Макферсон, применяемой на самосвалах SANY, NHL, XCMG.



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 инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

### Список литературы

1. Российский рынок карьерных самосвалов, Новоселов В. // электронное: официальный сайт. – URL: [https://www.zepelin.ru/upload/iblock/2b7/03\\_2013\\_samosvaly.pdf](https://www.zepelin.ru/upload/iblock/2b7/03_2013_samosvaly.pdf)
2. Дубинкин Д., Голофастова Н. Инженерные решения в повышении экологической безопасности карьерного транспорта. Экология и промышленность России. 2022;26(11):8-12. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-11-8-12>.
3. Опыт и перспективы применения гидравлических экскаваторов при отработке угленасыщенных зон на разрезах Кузбасса / Л. И. Кантович, О. И. Литвин, А. А. Хорешок, Е. А. Тюленева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 4. – С. 152-160. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-04-0-152-160. – EDN TUILFU.
4. Ensuring Energy Efficiency and Safety of the Cyclic Operation of the Mining Dump Truck / A. Kartashov, V. Kositsyn, G. Kotiev [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 174. – P. 03009. – DOI 10.1051/e3sconf/202017403009.
5. Evaluating the impact of excavator bucket capacity on the output of a haul truck in different variants of their positioning / V. V. Aksenov, D. M. Dubinkin, A. A. Khoreshok [et al.] // Journal of Physics: Conference Series: 3, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. Vol. 2052. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012001. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012001.
6. Дубинкин, Д. М. Основы цифрового создания автономных карьерных самосвалов / Д. М. Дубинкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – № 2(160). – С. 39-50. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50. – EDN ZUKXMF.
7. Дубинкин, Д. М. Перспективы высокотехнологичного производства карьерных самосвалов / Д. М. Дубинкин, Н. Н. Голофастова // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2022. – № 5. – С. 180-184.
8. Разработка имитационной модели динамики карьерного автосамосвала для определения нагрузок, действующих на несущую систему и грузовую платформу при загрузке и разгрузке дисперсного груза / Д. М. Дубинкин, И. В. Чичекин, Я. Ю. Левенков, Г. А. Арутюнян // Горная промышленность. – 2021. – № 6. – С. 117-126. – DOI 10.30686/1609-9192-2021-6-117-126.
9. 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 Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 6(142). – С. 87-97. – DOI 10.26730/1999-4125-2020-6-87-97.
10. Assessment of the Need to Create Control System of Unmanned Dump Truck / D. Dubinkin, V. Sadovets, I. Syrkin, I. Chicherin // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 177. – P. 03022. – DOI 10.1051/e3sconf/202017703022
11. Дубинкин, Д. М. Методика определения нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке грузовой платформы (кузова) карьерного самосвала / Д. М. Дубинкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – № 3(161). – С. 31-49. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.
12. Определение области энергоэффективного положения рабочего оборудования и эффективного радиуса черпания гидравлических экскаваторов на открытых горных работах / О. И. Литвин, С. О. Марков, А. А. Хорешок [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. – 2022. – № 4(120). – С. 38-44. – DOI 10.56195/20793332\_2022\_4\_38. – EDN GZKQIZ.
13. Подвески самосвалов БелАЗ // электронное: официальный сайт. – URL: <http://www.avtomash.ru/guravto/2006/20060115.htm>.



14. Карьерный самосвал SANYI SET 230 // электронное: официальный сайт. – URL: <https://www.sanygroup.com/productList/?cate=5&childid=35>

15. Карьерный самосвал Komatsu 830E // электронное: официальный сайт. – URL: <https://www.komatsu.ru/catalog/stroitel'naya-i-gornaya-tekhnika/samosvaly-s-zhestkoj-ramoj/7d3261d7-ec45-11e6-a66c-00505698277b/>

16. Карьерный самосвал Hitachi EH 4500 // электронное: официальный сайт. – URL: <http://www.miningportal.ru/uploads/catalog/92a983f72a3617b.pdf>

17. Карьерный самосвал LIEBHERR T264// электронное: официальный сайт. – URL: <https://www.liebherr.com/ru/rus/details/t264.html>

18. Карьерный самосвал Caterpillar 793D// электронное: официальный сайт. – URL: [https://www.cat.com/ru\\_RU/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/13894258.html](https://www.cat.com/ru_RU/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/13894258.html)

19. 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.

20. 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.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2022 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

### **Информация об авторах**

**Арутюнян Георгий Артурович**, канд. техн. наук, заместитель директора НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»  
e-mail: georgy.arut@bmstu.ru

**Карташов Александр Борисович**, канд. техн. наук, директор НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»  
e-mail: kartashov@bmstu.ru

**Газизуллин Руслан Ленарович**, ведущий конструктор НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»  
e-mail: rlgazizullin@bmstu.ru

**Киселев Павел Игоревич**, ведущий конструктор НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»  
e-mail: pkiselev@bmstu.ru

**Зайцев Леонид Александрович**, ведущий конструктор НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»  
e-mail: apzaitsev@bmstu.ru

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, стр. 1

**Тарасюк Ирина Андреевна**, инженер первой категории научного центра «Цифровые технологии»  
e-mail: homutovaia@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева  
Российская Федерация, Кемеровская область – Кузбасс, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28



## SELECTION OF A RATIONAL TYPE OF FRONT SUSPENSION FOR MINING DUMP TRUCKS WITH PAYLOAD CAPACITY UP TO 240 TONS

George A. Arutyunyan<sup>1</sup>, Alexander B. Kartashov<sup>1</sup>, Ruslan L. Gazizullin<sup>1</sup>, Pavel I. Kiselev<sup>1</sup>, Alexander P. Zaitsev<sup>1</sup>, Irina A. Tarasyuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bauman Moscow State Technical University

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



### Article info

Received:  
28 August 2022

Revised:  
22 September 2022

Accepted:  
30 September 2022

**Keywords:** suspension, evaluation of the manufacturability of suspensions, operational characteristics of suspensions, analysis of the suspension design, dump truck

### Abstract.

The article defines a rational type of front suspension for promising developments in the field of dump trucks with payload capacity from 200 to 240 tons. The current developments in the field of front suspension design are evaluated based on the results of analogues review. Analysis of all suspension designs, applied on the actual models of dump trucks by the leading world manufacturers has been made. Quantitative quality indicators of the considered suspension designs have been established with subsequent rating assessment of each design. The method of multi-criteria analysis has been applied to analyze suspension types by performance characteristics. As a result of the multicriteria analysis, three most promising suspension designs were selected for further elaboration. Computer models were made for these designs in order to estimate the range of variation of kinematic parameters of the suspension and to evaluate the rationality of the layout and manufacturability of the suspension units. The results of the analysis show that the independent front suspension of McPherson type on the longitudinal lever for dump truck with carrying capacity from 200 to 240 tons most fully meets the requirements.

---

**For citation** Arutyunyan G., Kartashov A., Gazizullin R., Kiselev P., Zaitsev L., Tarasyuk I. (2022) Selection of a rational type of front suspension for mining dump trucks with payload capacity up to 240 tons, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 3(18):25. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-3-25-40

---

### References

1. Rossiyskiy rynek kar'ernykh samosvalov, Novoselov V. // elektronnoe: ofitsial'nyy sayt. – URL: [https://www.zepelin.ru/upload/iblock/2b7/03\\_2013\\_s\\_amosvaly.pdf](https://www.zepelin.ru/upload/iblock/2b7/03_2013_s_amosvaly.pdf)
2. Dubinkin D., Golofastova N. Inzhenernye resheniya v povyshenii ekologicheskoy bezopasnosti kar'ernogo transporta. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2022;26(11):8-12. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-11-8-12>.
3. Opyt i perspektivy primeneniya gidravlicheskiykh ekskavatorov pri otrabotke uglenasyshchennykh zon na razrezakh Kuzbassa / L. I. Kantovich, O. I. Litvin, A. A. Khoreshok, E. A. Tyuleneva // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*. – 2019. – № 4. – S. 152-160. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-04-0-152-160. – EDN TUILFU.
4. Ensuring Energy Efficiency and Safety of the Cyclic Operation of the Mining Dump Truck / A. Kartashov, B. Kositsyn, G. Kotiev [et al.] // *E3S Web of Conferences*. – 2020. – Vol. 174. – P. 03009. – DOI 10.1051/e3sconf/202017403009.
5. Evaluating the impact of excavator bucket capacity on the output of a haul truck in different variants of their positioning / V. V. Aksenov, D. M. Dubinkin, A. A. Khoreshok [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series*: 3, Veliky Novgorod, 06–07 sentyabrya 2021 goda. Vol. 2052. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012001. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012001.
6. Dubinkin, D. M. Osnovy tsifrovogo sozdaniya avtonomnykh kar'ernykh samosvalov / D. M. Dubinkin // *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. – 2022. – № 2(160). – S. 39-50. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50. – EDN ZUKXMF.



7. Dubinkin, D. M. Perspektivy vysokotekhnologichnogo proizvodstva kar'ernykh samosvalov / D. M. Dubinkin, N. N. Golofastova // Konkurentosposobnost' v global'nom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii. – 2022. – № 5. – S. 180-184.
8. Razrabotka imitatsionnoy modeli dinamiki kar'ernogo avtosamosvala dlya opredeleniya nagruzok, deystvuyushchikh na nesushchuyu sistemu i gruzovuyu platformu pri zagruzke i razgruzke dispersnogo gruzha / D. M. Dubinkin, I. V. Chichekin, Ya. Yu. Levenkov, G. A. Arutyunyan // Gornaya promyshlennost'. – 2021. – № 6. – S. 117-126. – DOI 10.30686/1609-9192-2021-6-117-126.
9. Razrabotka kriteriev obespecheniya sovmestnoy raboty istochnikov energii dlya sozdaniya novykh kar'ernykh samosvalov / N. V. Buzunov, R. D. Pirozhkov, A. B. Kartashov, D. M. Dubinkin // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2020. – № 6(142). – S. 87-97. – DOI 10.26730/1999-4125-2020-6-87-97.
10. Assessment of the Need to Create Control Sytem of Unmanned Dump Truck / D. Dubinkin, V. Sadovets, I. Syrkin, I. Chicherin // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 177. – P. 03022. – DOI 10.1051/e3sconf/202017703022
11. Dubinkin, D. M. Metodika opredeleniya nagruzok, deystvuyushchikh pri pogruzke i razgruzke gruzovoy platformy (kuzova) kar'ernogo samosvala / D. M. Dubinkin // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. – 2022. – № 3(161). – S. 31-49. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.
12. Opredelenie oblasti energoeffektivnogo polozheniya rabocheho oborudovaniya i effektivnogo radiusa cherpaniya gidravlicheskiykh ekskavatorov na otkrytykh gornykh rabotakh / O. I. Litvin, S. O. Markov, A. A. Khoreshok [i dr.] // Marksheyderiya i nedropol'zovanie. – 2022. – № 4(120). – S. 38-44. – DOI 10.56195/20793332\_2022\_4\_38. – EDN GZKQIZ.
13. Podveski samosvalov BelAZ // elektronnoe: ofitsial'nyy sayt. – URL: <http://www.avtomash.ru/guravto/2006/20060115.htm>.
14. Kar'ernyy samosval SANYI SET 230 // elektronnoe: ofitsial'nyy sayt. – URL: <https://www.sanygroup.com/productList/?cate=5&childid=35>
15. Kar'ernyy samosval Komatsu 830E // elektronnoe: ofitsial'nyy sayt. – URL: <https://www.komatsu.ru/catalog/stroitel'naya-i-gornaya-tehnika/samosvaly-s-zhestkoy-ramoy/7d3261d7-ec45-11e6-a66c-00505698277b/>
16. Kar'ernyy samosval Hitachi EH 4500 // elektronnoe: ofitsial'nyy sayt. – URL: <http://www.miningportal.ru/uploads/catalog/92a983f72a3617b.pdf>
17. Kar'ernyy samosval LIEBHERR T264// elektronnoe: ofitsial'nyy sayt. – URL: <https://www.liebherr.com/ru/rus/details/t264.html>
18. Kar'ernyy samosval Caterpillar 793D// elektronnoe: ofitsial'nyy sayt. – URL: [https://www.cat.com/ru\\_RU/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/13894258.html](https://www.cat.com/ru_RU/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/13894258.html)
19. Razrabotka kriteriev obespecheniya sovmestnoy raboty istochnikov energii dlya sozdaniya novykh kar'ernykh samosvalov / N.V. Buzunov, R.D. Pirozhkov, A.B. Kartashov, D.M. Dubinkin // Vestnik KuzGTU. – 2020. – №6. – С. 87-97.
20. Dubinkin D.M., Pashkov D.A., Ushakov A.E. Obosnovanie tipa peredney podveski avtonomnogo kar'ernogo samosvala gruzopod"emnost'yu do 90 tonn // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika – 2021. – № 5 (157). – S. 10-18 – DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-10-18.

### Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2022 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### Information about the authors

**George A. Arutyunyan**, C. Sc. in Engineering, Deputy Director of REC "KAMAZ-BAUMAN"  
e-mail: georgy.arut@bmstu.ru

**Alexander B. Kartashov**, C. Sc. in Engineering, Director of REC "KAMAZ-BAUMAN"  
e-mail: kartashov@bmstu.ru

**Ruslan L. Gazizullin**, lead designer of REC "KAMAZ-BAUMAN"  
e-mail: rlgazizullin@bmstu.ru



**Pavel I. Kiselev**, lead designer of REC "KAMAZ-BAUMAN"  
e-mail: pkiselev@bmstu.ru

**Leonid A. Zaitsev**, lead designer of REC "KAMAZ-BAUMAN"  
e-mail: apzaitsev@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University  
105005, Russian Federation, Moscow, 2nd Baumanskaya street, 5

**Irina A. Tarasyuk**, engineer of the Research Center «Digital Technologies»  
e-mail: homutovaia@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University  
650000, Russian Federation, Kemerovo, 28 Vesennyaya St.

