

## Современные независимые подвески с поперечными рычагами для полноприводных транспортных средств

© А.Н. Вержбицкий, М.М. Жилейкин, М.Г. Лахтюхов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Проведен поиск и анализ независимых подвесок транспортных средств высокой проходимости нового поколения с колесными движителями. Выявлены наиболее перспективные решения, способные обеспечить повышение технического уровня существующих и перспективных подвесок транспортных средств с колесными движителями.*

**Ключевые слова:** транспортное средство, высокая проходимость, независимая подвеска, поперечный рычаг, упругий элемент, полный ход колеса.

В последние два десятилетия появилось довольно большое количество моделей военных полноприводных транспортных средств с независимыми подвесками с поперечными рычагами. В настоящее время транспортные средства переживают очередной этап своего развития — ведущие мировые производители объявляют о разработках коммерческих грузовых автомобилей нового поколения, в подвесках которых использованы решения, близкие к независимым подвескам военных автомобилей среднего и тяжелых классов. Примерами могут служить подвески автомобиля Volvo FN16 и автобуса Raba (рис. 1).



**Рис. 1.** Независимая подвеска колес неведущих управляемых мостов автомобиля Volvo FN16 (а) и автобуса Raba (б)

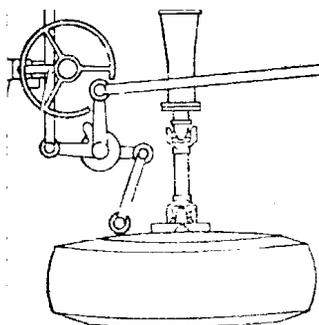
Динамические характеристики подвески оказывают решающее влияние на усталость и комфорт водителя, являются естественным ограничителем скоростного режима транспортного средства в усло-

виях разбитых дорог и на бездорожье. Увеличение ходов подвески (статического и особенно динамического) положительно сказывается на снижении интенсивности колебаний автомобиля: при увеличении динамического хода снижается вероятность пробоя подвески, а при повышении статического — снижается вероятность отрыва колес от дороги при прочих равных условиях. Ходы подвесок ограничены прежде всего конструктивно, а также рядом других факторов, таких как высота центра тяжести, жесткость подвески, поперечная устойчивость и др. Многие исследователи рекомендуют стремиться к достижению динамического хода колеса полноприводных автомобилей более 200 мм при полном ходе не менее 350–400 мм.

Полный ход зависимых подвесок управляемых ведущих мостов автомобилей как отечественного, так и зарубежного производства редко превышает 220–250 мм, что и вызывает ограничение средних скоростей движения в условиях неровных дорог и бездорожья. Учитывая, что в условиях бездорожья и разбитых дорог чаще всего используют полноприводные автомобили, вполне объяснимо стремление ведущих производителей к развитию подвесок, обеспечивающих большой ход.

Отечественные подвески транспортных средств предыдущего поколения выполняли с торсионными упругими элементами. Поперечный угол наклона шкворня переменный и в статическом положении подвески находится в пределах  $6,0^\circ \dots 7,5^\circ$ . Полный ход подвесок этих машин приблизительно 170–240 мм. Продольный угол наклона шкворня и его продольное смещение не приводятся. Сход колес относительно небольшой и для различных моделей составляет 2,0–7,0 мм, причем для машин с большим развалом значение схода больше.

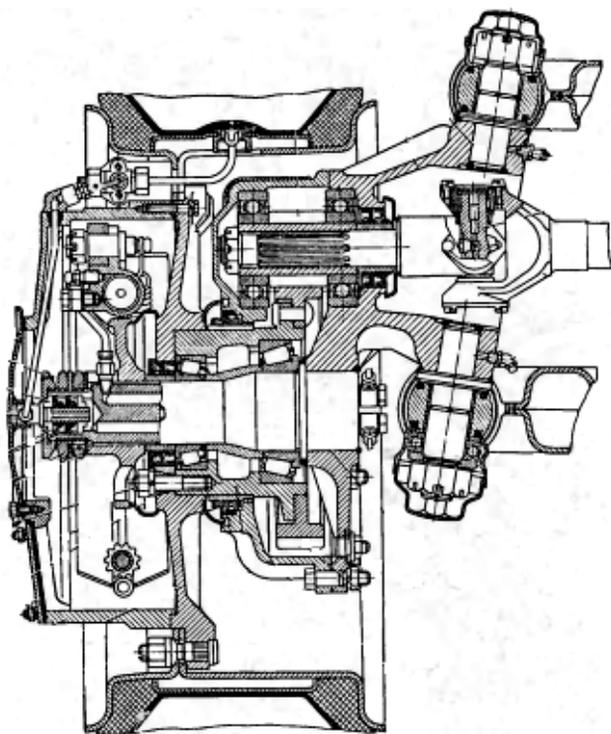
Для привода колес управляемого моста известно применение четырех схем.



**Рис. 2.** Схема карданного привода ведущих управляемых колес БТР

Одна из наиболее простых схем, показанная на рис. 2 и 3, применена на ряде модификаций БТР-60ПБ и БТР-70 [1], а также на

БТР-80, где в приводе управляемых колес использованы карданы с двумя шарнирами неравных угловых скоростей. Недостаток в неравномерности вращения колес при их повороте компенсируется здесь простотой, унификацией с приводом неуправляемых колес и стоимостью.



**Рис. 3.** Колесно-ступичный узел ведущего управляемого колеса одной из модификаций БТР-70

Более сложная схема (рис. 4) представляет собой систему, состоящую из обычного кардана с подвижным шлицевым соединением и двумя карданными шарнирами Гука и карданного шарнира равных угловых скоростей [2]. Разделение функций карданных шарниров, связанных с работой подвески, от функций изменения углов при повороте колес повышает надежность и долговечность карданной передачи, обеспечивает равномерность вращения колес. Недостатками такой схемы являются сложность, большая масса и значительные габаритные размеры.

Достаточно широко распространена схема комбинирования в приводе колес синхронного шарнира, участвующего в повороте колес, с шарниром неравных угловых скоростей, обуславливающим неравномерность вращения колес при их вертикальных перемещениях (рис. 5) [3].

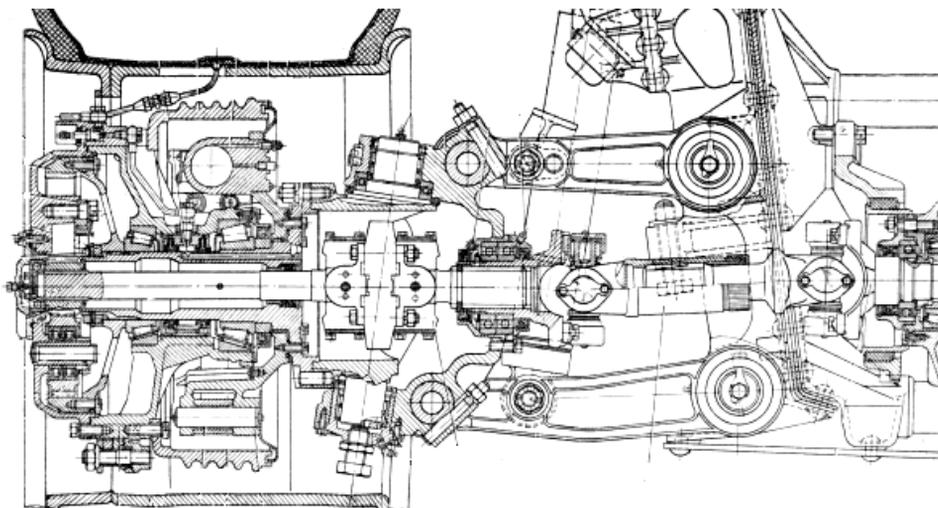


Рис. 4. Независимая подвеска и привод управляемых колес тягача МАЗ

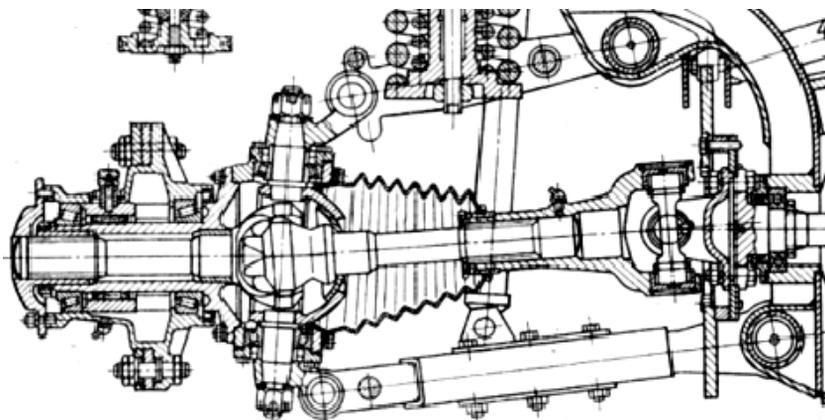
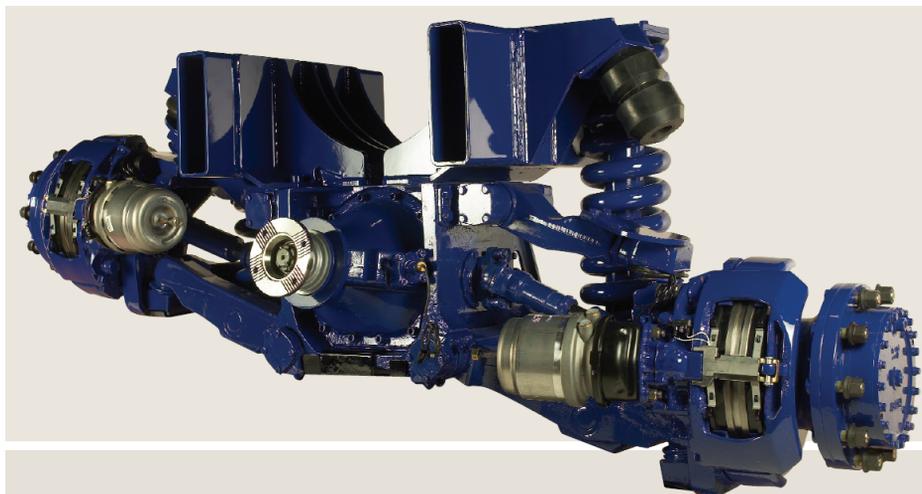


Рис. 5. Комбинированный привод, состоящий из шарниров равных угловых и неравных угловых скоростей с компенсацией изменения длины вала

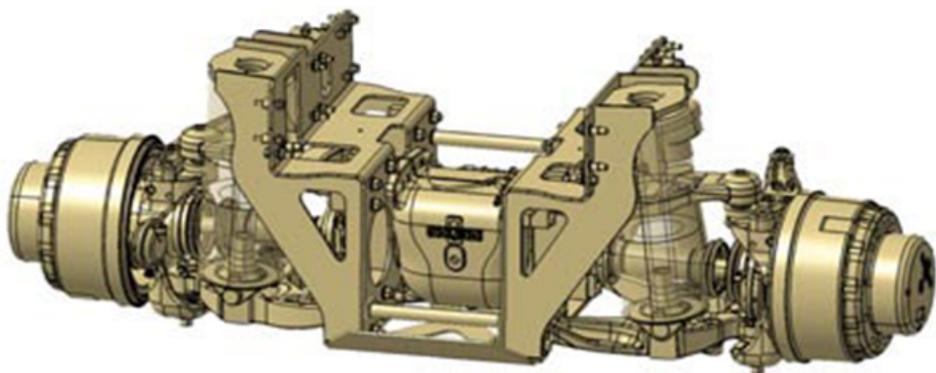
Недостаток этой схемы — неравномерность вращения колес при работе подвески — ограничивает ход подвески, но позволяет реализовать бóльшие углы поворота колес.

Схема подвески с поперечными рычагами и приводом управляемых колес карданным валом с двумя шарнирами равных угловых скоростей известна с 30-х годов прошлого века. В последние три десятилетия наблюдается устойчивая тенденция к созданию конструкций независимых подвесок с осевыми нагрузками более 5 т. Среди разработчиков следует упомянуть фирмы Timoney, Rockwell, Oshkosh, AxelTech, Meritor, Marmon Harrington, Hendrickson и ряд других, которые самостоятельно либо в кооперации создали независимые подвески, имеющие много схожих решений.

Основой конструкции моста является подрамник (рис. 6), устанавливаемый на раме либо на корпусе машины. В подрамнике размещена главная передача, к нему крепят опоры рычагов подвески. Подрамник воспринимает усилия пружин подвески. Иногда роль подрамника выполняет картер главной передачи.



*а*



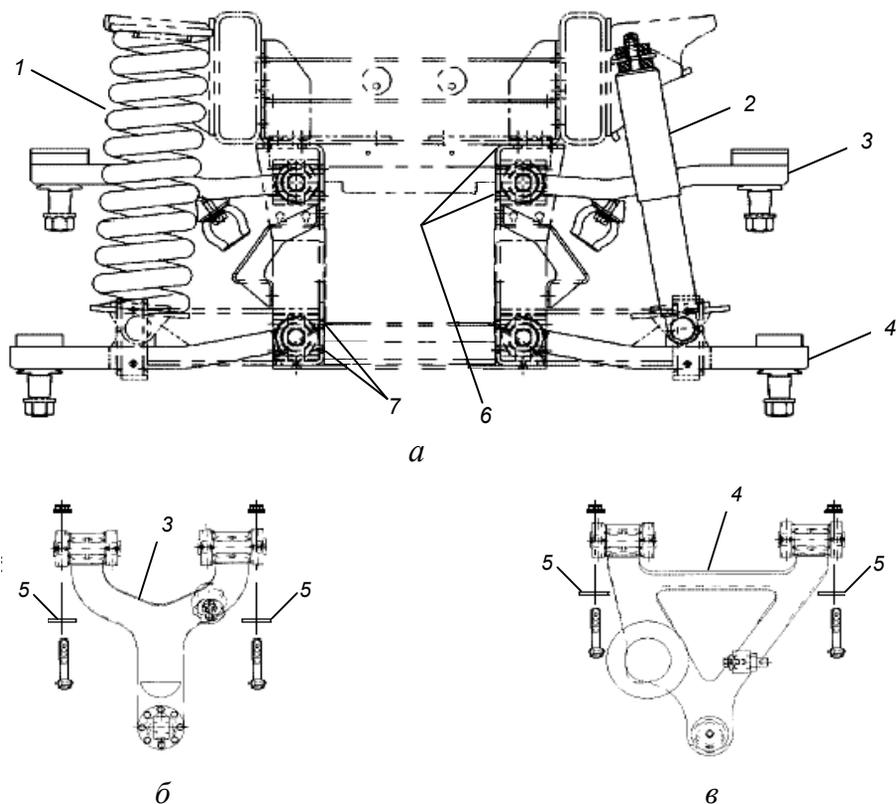
*б*

**Рис. 6.** Независимые подвески Timoney серии 87150 (*а*) и Oshkosh TAK-4 (*б*)

Использование подвесок с поперечным расположением рычагов позволило разработчикам решить проблему размещения шин повышенной размерности (больше 14.00R20) на управляемых мостах с шириной 2500–2550 мм, что в первую очередь оказалось востребованным на полноприводных транспортных средствах повышенной проходимости с нагрузкой на мост 10 т и более.

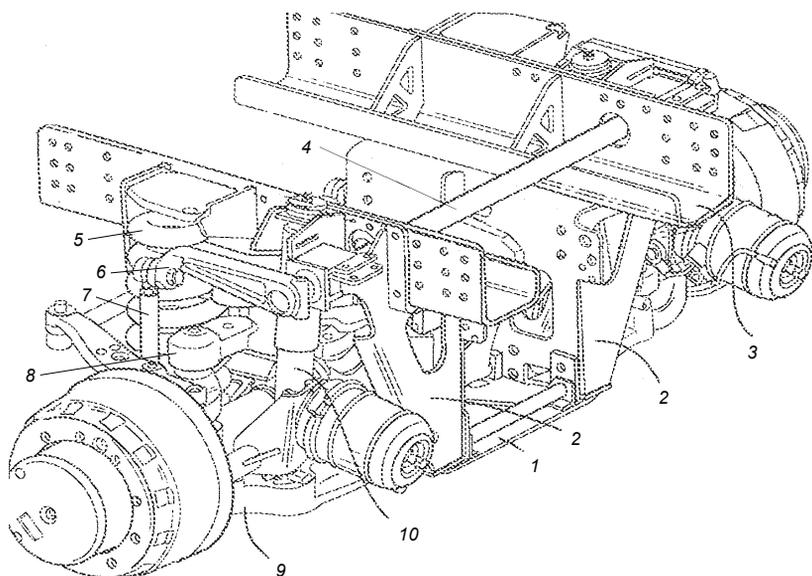
В основе унификации военных автомобилей семейства Oshkosh MTVR лежат мосты с единой шиной регулируемого давления

16.00R20XZL и рычажной подвеской ТАК-4 (рис. 7). Максимальная нагрузка на управляемые мосты базовых моделей 7257 кг (16 000 фунтов), на средние мосты 10 660 кг (23 500 фунтов), на задние — 11 570 кг (25 500 фунтов). Полный ход переднего колеса 406 мм, среднего и заднего колес 325 мм. Дорожный просвет 462 мм. Тормоза барабанные: Meritor RDA (410×180 мм) на переднем мосту, Eaton Extended Service S-Cam (419×178 мм) — на задних. Передаточное число главной передачи 1,687 (коническая пара), планетарного колесного редуктора 3,556. Погрузочная высота рамы 1156 мм. На передних мостах установлены стабилизаторы поперечной устойчивости (рис. 8). Поперечный угол наклона шкворней в статическом положении 6°...7°. Статический ход подвесок равен примерно половине полного хода. Размеры поперечного сечения лонжеронов рамы 248×76×9,7 мм. Материал лонжеронов SAE 1027.



**Рис. 7.** Схематичное изображение подвески Oshkosh TAK-4:

*a* — поперечный разрез; *б, в* — верхний и нижний рычаг соответственно; *1* — пружина; *2* — амортизатор; *3* — верхний рычаг подвески с шаровым шарниром шкворня; *4* — нижний рычаг с шаровым шарниром шкворня; *5* — болтовое крепление; *6, 7* — клеммовые опоры



**Рис. 8.** Установка подвески ТАК-4 на шасси транспортного средства: 1, 2, 3 — элементы подрамника; 4 — вал стабилизатора поперечной устойчивости; 5 — пружина; 6 — рычаг стабилизатора поперечной устойчивости; 7 — тяга рычага стабилизатора поперечной устойчивости; 8 — сферический шарнир; 9 — нижний рычаг подвески; 10 — амортизатор

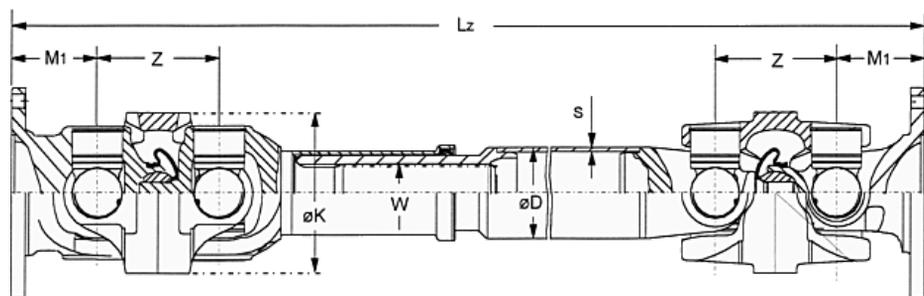
Параметры пружинной подвески ТАК-4 на машинах других классов: полный ход колеса до 434...508 мм (до 17,0...20,0 дюймов), максимальный угол поворота управляемых колес до  $35^\circ$ , поперечный угол наклона подвески около  $7^\circ$ , продольный угол наклона (по экспертной оценке) около  $0^\circ...2^\circ$ , угол развала (по экспертной оценке) около  $1^\circ...3^\circ$ , максимальный срок «жизненного цикла» (нормативный срок до списания) 22 года.

На большинстве транспортных средств применяют ограничители хода с резиновыми упругими элементами с достаточно большими предельными деформациями, что в свою очередь нелинейно изменяет жесткость подвески. По сравнению со схемами машин предыдущих поколений увеличение длины рычагов и карданной передачи позволяет увеличить ход подвески, а также уменьшить поперечное смещение пятна контакта шины и изменение угла развала при работе подвески. Компонировочное решение с компактным размещением упругих элементов позволяет реализовывать углы поворота управляемых колес до  $38^\circ$  по сравнению  $30^\circ...32^\circ$  на аналогах с другими схемами подвесок. При этом появляется возможность установки шин большей размерности.

Кинематика подвески на управляемых мостах должна быть согласована с кинематикой рулевого управления — вертикальные пе-

ремещения колеса не должны вызывать его виляния. Если колеса передней, а еще хуже — задней оси подруливают при прогибах подвески на неровностях и при кренах шасси, управляемость такой машины сомнительна. Согласие достигается выбором размещения в пространстве шарниров промежуточной поперечной тяги и ее длиной.

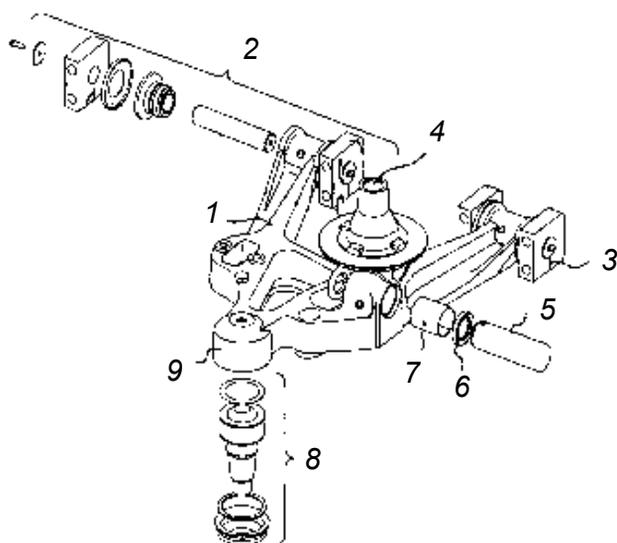
Кинематика подвески, прежде всего управляемых колес, должна быть согласована с кинематикой карданной передачи, т. е. сведены к минимуму изменения длины последней при вертикальных перемещениях колеса. В рассматриваемых подвесках применяют карданные передачи со сдвоенными центрируемыми карданными шарнирами (рис. 9). Максимальный угол складывания в сдвоенном шарнире подобного типа доходит до  $42^\circ$ . Фланцы и вилки карданных валов могут быть нескольких типов, в том числе с разъемными опорами подшипников крестовин.



**Рис. 9.** Карданный вал с двумя сдвоенными центрируемыми карданными шарнирами (Dana Spicer)

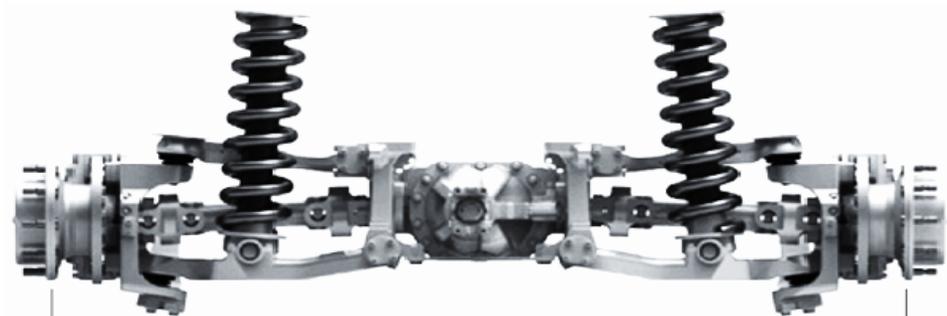
В большинстве машин с независимой подвеской и поперечными рычагами на неуправляемых колесах требования к согласованию кинематики и изменению длины карданной передачи менее жесткие. Там привод осуществляется обычной карданной передачей с двумя шарнирами неравных угловых скоростей.

Длинноходные подвески с цилиндрическими пружинами имеют недостаток — низкую устойчивость пружин к изгибным нагрузкам. Проблему решают применением качающихся опор и направляющих стержней (рис. 10, 11), причем иногда эту функцию выполняют амортизаторы. Цилиндрические пружины часто делают с переменным шагом, что обеспечивает переменную жесткость подвесок. На машинах легкой и средней серий дисковые тормоза расположены в колесно-ступичном модуле, а на машинах тяжелой серии — на выходных валах центрального редуктора, картер которого является основой подрамника. Верхние рычаги всегда короче нижних, а на управляемых колесах используют приводные валы с двумя двойными центрируемыми карданными шарнирами равных угловых скоростей.

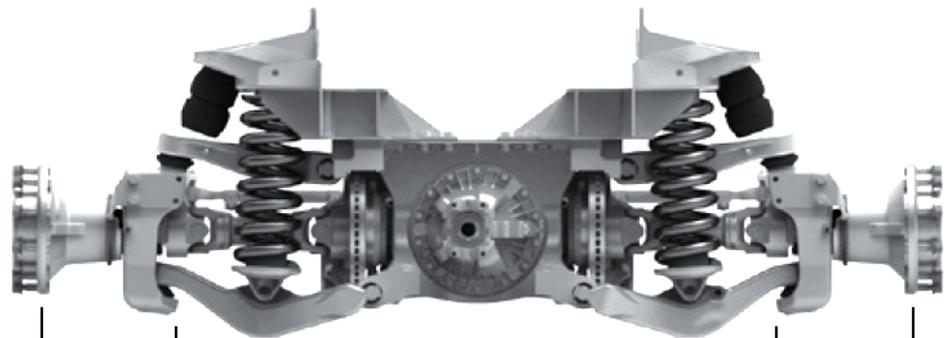


**Рис. 10.** Нижний рычаг подвески TAK-4:

1 — нижний рычаг подвески; 2 — опора; 3 — кронштейн опоры с клеммовым зажимом; 4–7 — качающаяся опора (4) пружины с пальцем (5), втулкой (7) и уплотнением (6); 8, 9 — шкворневая опора (9) со сферическим пальцем (8)



*a*



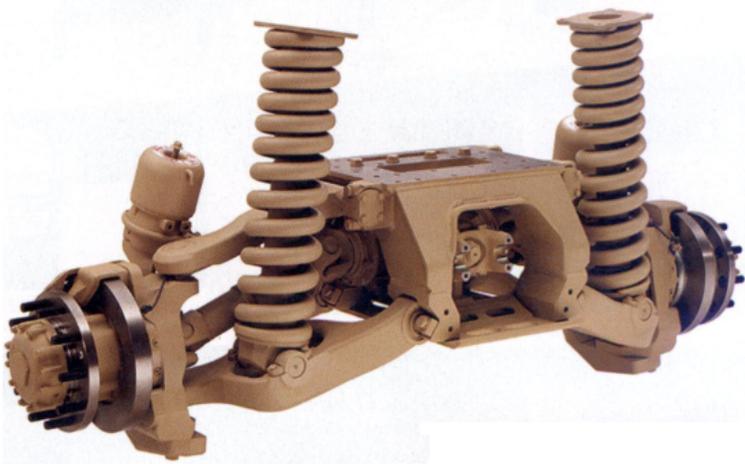
*б*

**Рис. 11.** Независимые подвески AxleTech серии 4000 (*a*) и 5000 (*б*)

Конструкция подвески ТАК-4, распространившаяся на машины фирмы Oshkosh разных классов, в том числе на неполноприводные (пожарные), имеет множество общих решений:

- подрамник, позволяющий скомплектовать передний разрезной мост со съемными шарнирами качания рычагов как единый агрегат и принимающий на себя значительную часть нагрузок;
- одна или две цилиндрических пружины сжатия с установочными элементами на каждое колесо;
- поперечные рычаги с двумя одинаковыми шарнирами качания и одним шкворневым сферическим пальцем на каждом шарнире;
- поворотный кулак с цапфой, планетарным колесным редуктором, тормозом и ступицей;
- карданные передачи управляемых мостов с двойными центрируемыми карданными шарнирами равных угловых скоростей, допускающие суммарный предельный угол до  $42^\circ$ ;
- стабилизаторы поперечной устойчивости, по крайней мере, на управляемых мостах;
- карданные передачи привода неуправляемых мостов с обычными шарнирами неравных угловых скоростей с увеличенными за счет удлиненных вилок углами качания.

Фирма Meritor производит подвески серий 30, 40 (рис. 12) и 50 с максимальной нагрузкой на ось 6500...13 200 кг, которые обеспечивают полный ход колес соответственно от 535 мм до 460 мм (на мостах тяжелых серий) и угол поворота управляемых колес до  $38^\circ$ . Согласно данным фирмы, эти показатели являются лучшими в своем классе.



**Рис. 12.** Типичная длинноходная подвеска управляемого моста фирмы Meritor с цилиндрическими пружинами с переменным шагом навивки, поперечными рычагами и колесным коническим редуктором с передаточным числом, равным 2,0

В конструкциях мостов с независимыми подвесками и нагрузками на ось более 5000 кг применяют карданные передачи двух типов с четким функциональным разделением:

- на неуправляемых мостах обычные карданные передачи с удлиненными вилками, допускающими большие углы складывания в плоскости работы подвески;

- на управляемых мостах передачи со сдвоенными шарнирами, имеющие центрирование и обеспечивающие как поворот управляемых колес, так и одновременное перемещение колес при работе подвески.

В качестве упругих элементов чаще используют цилиндрические пружины с переменным шагом навивки. Находят применение пневматические и пневмогидравлические подвески, в том числе в комбинации с пружинными элементами.

Номенклатура автомобильной техники с независимой подвеской постоянно расширяется. Так, появился новый тип военных автомобилей MRAP с полной массой от 12 (4×4) до 29 т (6×6) и усиленной противоминной защитой, а также внедорожные самосвалы 6×6 с шарнирной рамой и независимой подвеской колес переднего моста.

Номинальную скорость полноприводных машин нового поколения с независимой подвеской выбирают равной или несколько большей 104...105 км/ч, причем она необязательно обеспечивается мощностью двигателя. Шин с размерностью 14,00R20; 1220×500×533; 16,00R20 со скоростями более 88...96 км/ч серийно не производят. Максимальная длительная скорость шин этих размерностей ограничена 85...90 км/ч.

Основные параметры независимых подвесок даны в таблице. Все приведенные подвески могут иметь встроенную систему регулирования давления воздуха в шинах, систему антиблокировки тормозов, карданные передачи с двумя сдвоенными центрируемыми шарнирами на управляемых мостах.

*Работа выполнена в соответствии с договором № 9905/17/07-к-12 от 19 ноября 2012 г. между МГТУ им. Н.Э. Баумана и ОАО «КАМАЗ» на выполнение составной части научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по теме «Создание системы привода ведущих колес транспортных систем с независимой подвеской с осевой нагрузкой до 10 тонн».*

### Основные параметры независимых подвесок с поперечными рычагами

Фирма, модель подвески	Номинальная нагрузка на мост, кг	Размерность шин	Масса моста, кг	Полный ход подвески, мм	Передаточное число колесного редуктора	Суммарное передаточное число моста	Число упругих элементов на мосту	Максимальный угол поворота колеса, град.
Oshkosh, ТАК-4	7250...8620	16.00R20	Н.д.	406	3,556	5,999	1+1	До 35
	10 670...11 570	16.00R20	Н.д.	325	3,556	5,999	1+1	–
AxeITech, 3000	3500...5500	Н.д.	600	400	3,55/4,00	5,64–17,78	1+1	Н.д.
AxeITech, 4000	6000...10 000	Н.д.	975	400	3,55/4,28/4,63	3,9–28,0	1+1	Н.д.
AxeITech, 5000	7300...12 500	16.00R20	1200	400	3,55/4,0/4,63/5,6	4,8–2,8	2+2	35
Hendrickson, Maxx Pro Dash	11 340	16.00R20	Н.д.	400	4,63	6,582	2+2	35
Hendrickson, Maxx Pro Dash	12 475	16.00R20	Н.д.	400	4,63	6,582	2+2	–

Примечание. Н.д. — нет данных.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Медведков В.И., Комаров Ю.Н., Лобзин А.Ф. *Устройство бронетранспортеров БТР-60ПБ, БТР-70 и автомобилей ЗИЛ-130, ЗИЛ-131*. Москва, ДОСААФ, 1984, 384 с.
- [2] *Техническое описание и инструкция по эксплуатации колесного тягача МАЗ-538*. Москва, Воениздат, 1973.
- [3] Яскевич З. *Ведущие мосты*. Москва, Машиностроение, 1985, 600 с.

Статья поступила в редакцию 11.10.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Вержбицкий А.Н., Жилейкин М.М., Лахтюхов М.Г. Современные независимые подвески с поперечными рычагами для полноприводных транспортных средств. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/transport/944.html>

**Вержбицкий Александр Николаевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ в области проектирования колесных и гусеничных машин. e-mail: [aver@bmstu.ru](mailto:aver@bmstu.ru)

**Жилейкин Михаил Михайлович** — д-р техн. наук, доцент кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 36 научных работ в области математического моделирования систем колесных машин. e-mail: [jileykin\\_m@mail.ru](mailto:jileykin_m@mail.ru)

**Лахтюхов Михаил Георгиевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 7 научных работ в области динамического нагружения колесных машин. e-mail: [motor@bmstu.ru](mailto:motor@bmstu.ru)