

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

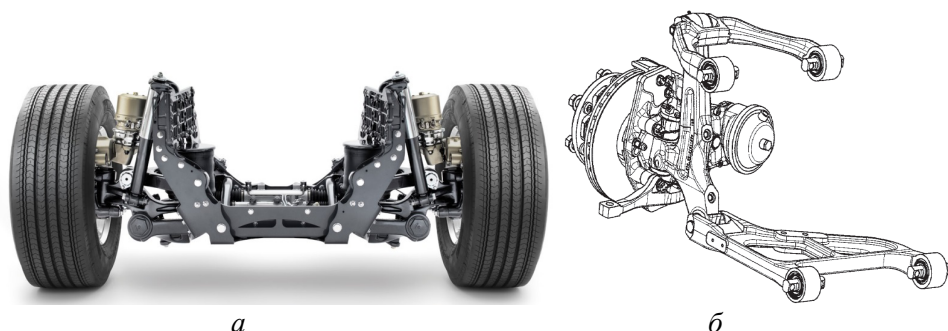
© А.Н. Вержбицкий, М.М. Жилейкин, М.Г. Лахтюхов

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)

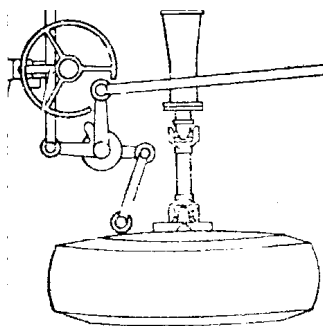
Динамические характеристики подвески оказывают решающее влияние на усталость и комфорт водителя, являются естественным ограничителем скоростного режима транспортного средства в усло-

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.

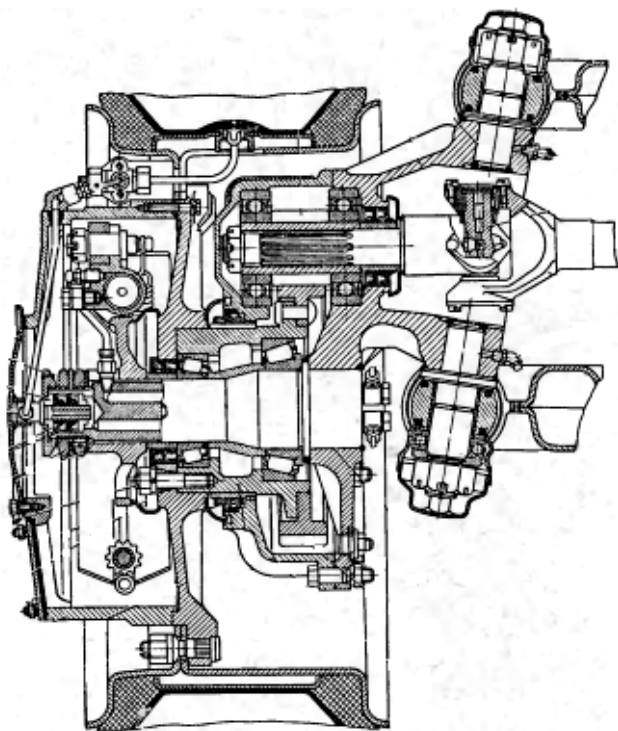
Для привода колес управляемого моста известно применение четырех схем.



**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

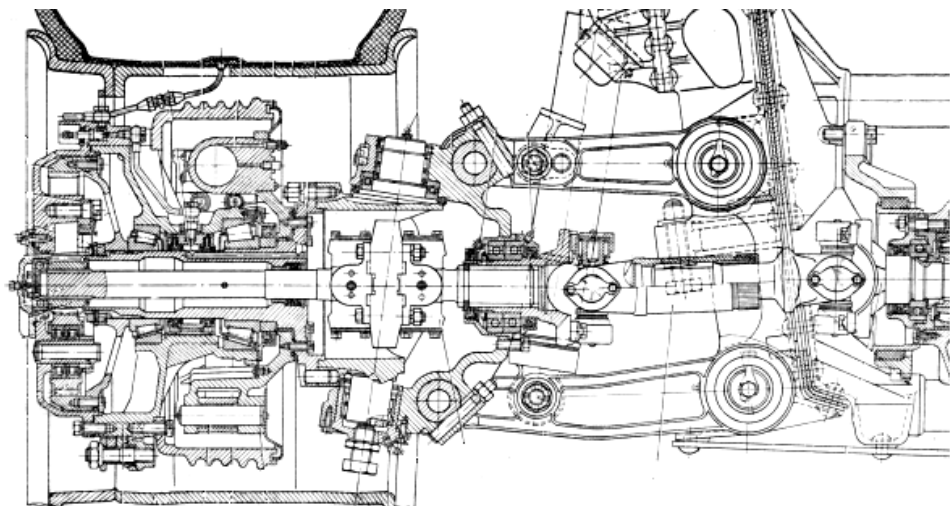
БТР-80, где в приводе управляемых колес использованы карданы с двумя шарнирами неравных угловых скоростей. Недостаток в неравномерности вращения колес при их повороте компенсируется здесь простотой, унификацией с приводом неуправляемых колес и стоимостью.



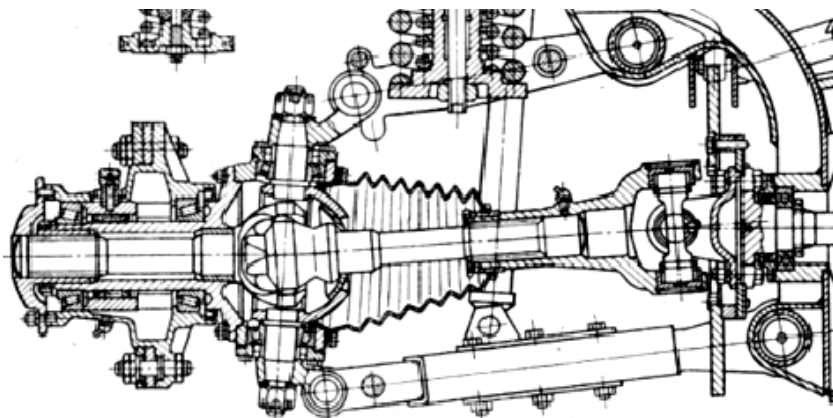
**Рис. 3.** Колесно-ступичный узел ведущего управляемого колеса одной из модификаций БТР-70

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

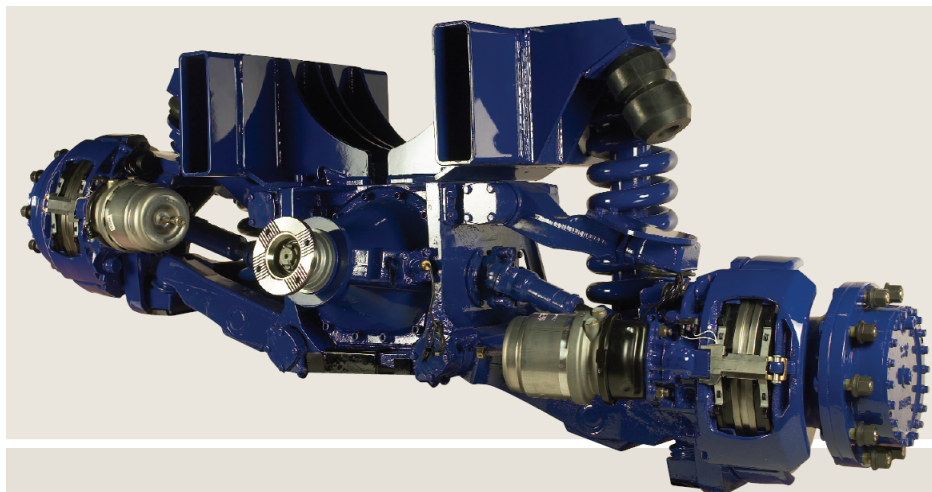


**Рис. 5.** Комбинированный привод, состоящий из шарниров равных угловых и неравных угловых скоростей с компенсацией изменения длины вала

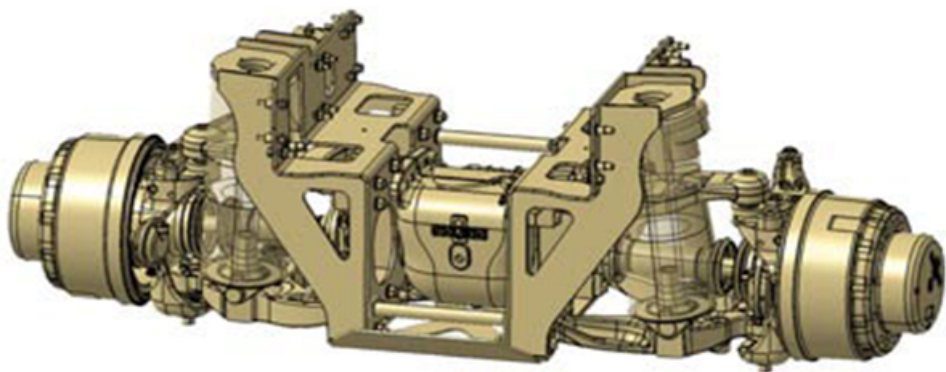
Недостаток этой схемы — неравномерность вращения колес при работе подвески — ограничивает ход подвески, но позволяет реализовать бóльшие углы поворота колес.

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*



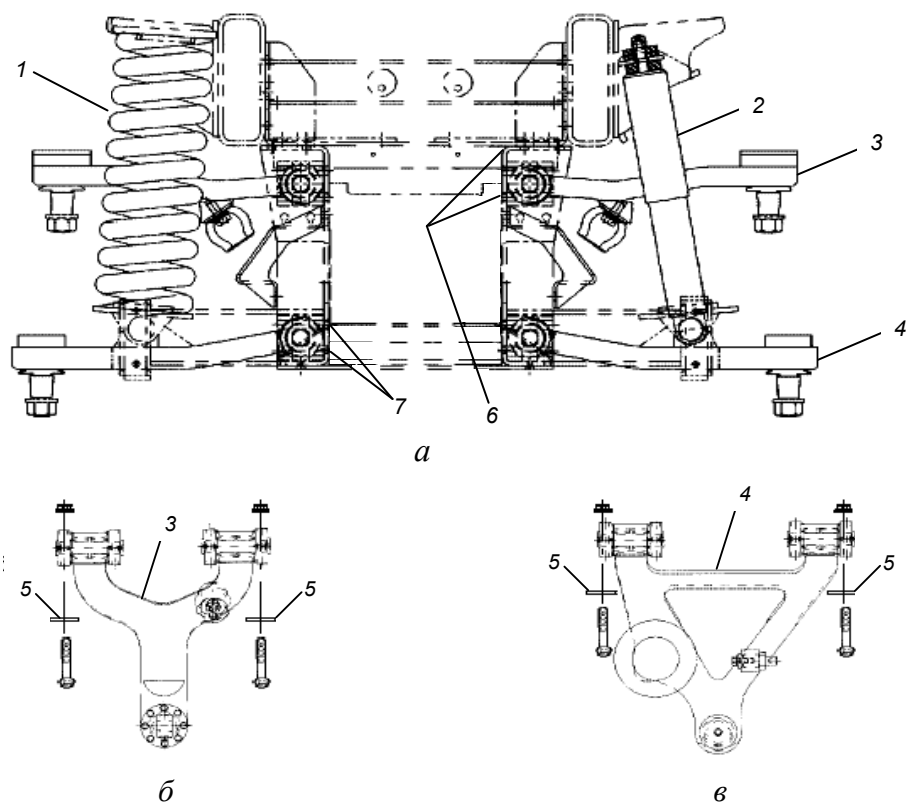
*б*

**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.

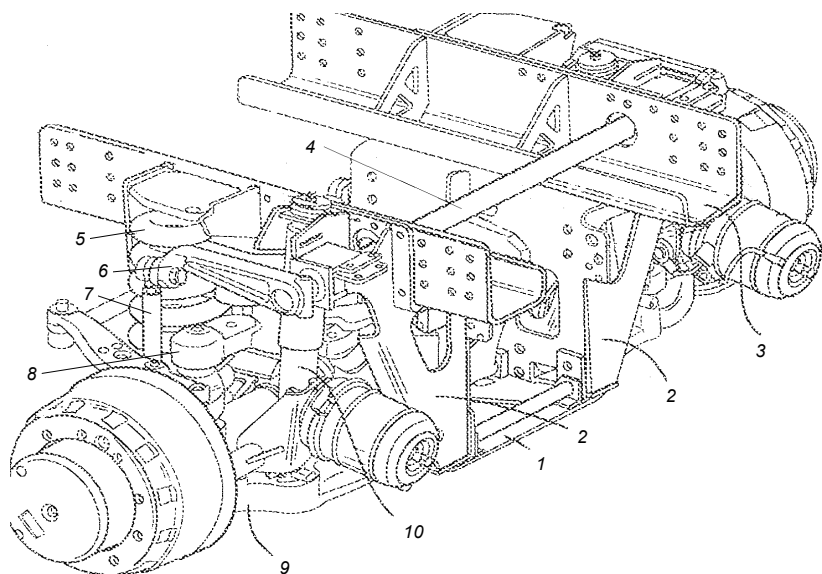
В основе унификации военных автомобилей семейства Oshkosh MTVR лежат мосты с единой шиной регулируемого давления

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  $6^{\circ}\dots7^{\circ}$ . 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:

*а* — 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

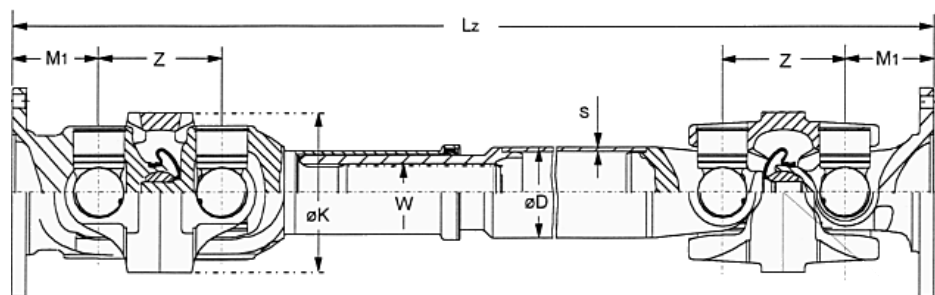
Параметры пружинной подвески ТАК-4 на машинах других классов: полный ход колеса до 434...508 мм (до 17,0...20,0 дюймов), максимальный угол поворота управляемых колес до  $35^\circ$ , поперечный угол наклона подвески около  $7^\circ$ , продольный угол наклона (по экспертной оценке) около  $0^\circ...2^\circ$ , 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.

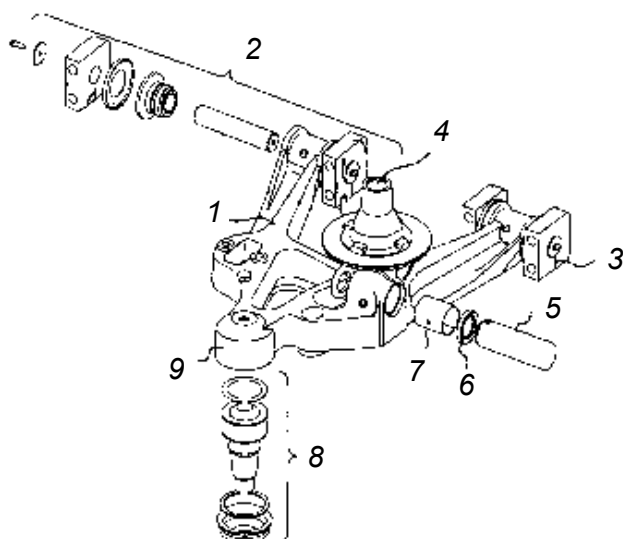


**Рис. 9.** Карданный вал с двумя сдвоенными центрируемыми карданными шарнирами (Dana Spicer)

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.

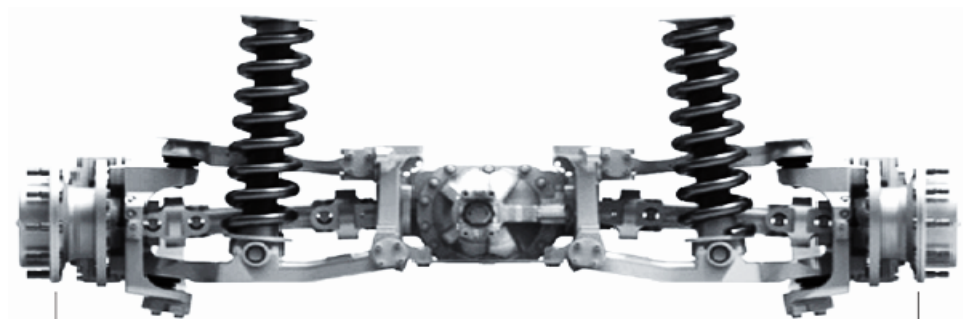
Длинноходные подвески с цилиндрическими пружинами имеют недостаток — низкую устойчивость пружин к изгибным нагрузкам. Проблему решают применением качающихся опор и направляющих стержней (рис. 10, 11), причем иногда эту функцию выполняют амортизаторы. Цилиндрические пружины часто делают с переменным шагом, 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.



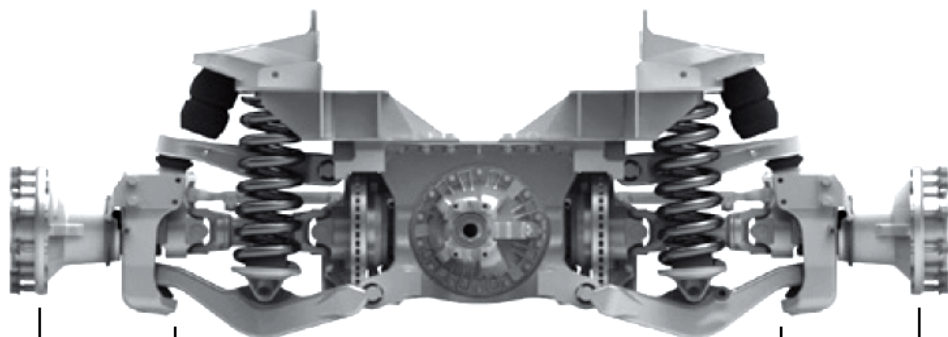


**Рис. 10.** Нижний рычаг подвески TAK-4:

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)



а



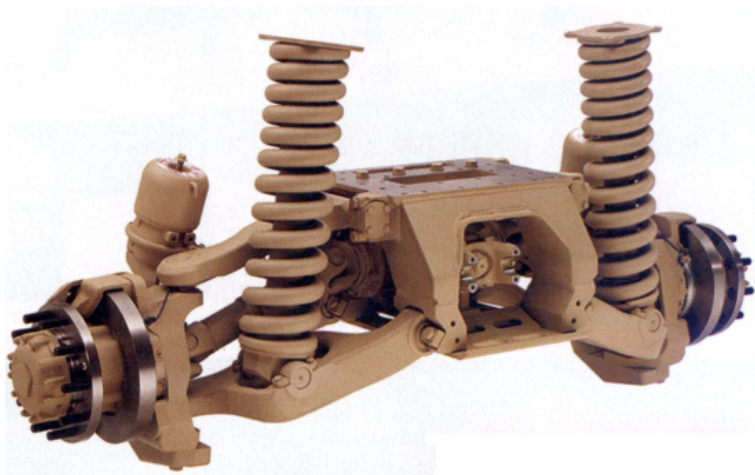
б

**Рис. 11.** Независимые подвески AxleTech серии 4000 (а) 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 удлинённых 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».*

Таблица

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                              | —                                        |
| AxelTech, 3000             | 3500...5500                      | Н.д.            | 600             | 400                     | 3,55/4,00                              | 5,64–17,78                         | 1+1                              | Н.д.                                     |
| AxelTech, 4000             | 6000...10 000                    | Н.д.            | 975             | 400                     | 3,55/4,28/4,63                         | 3,9–28,0                           | 1+1                              | Н.д.                                     |
| AxelTech, 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)