

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЕСНОГО ДВИЖИТЕЛЯ НА ОПОРНО-СЦЕПНУЮ ПРОХОДИМОСТЬ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Р.О. Максимов

romychmaximov@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

### Аннотация

*Выполнен сравнительный анализ основных типов колесных движителей, применяемых на транспортных средствах высокой проходимости. Проанализированы четыре наиболее распространенные типы колесных движителей: тороидных шин регулируемого давления, широкопрофильных шин, арочных шин и пневмокатков. Сравнение обосновано известными геометрическими и конструктивными характеристиками данных движителей. Указаны основные эксплуатационные свойства и характеристики шин, представлены их основные достоинства и недостатки. Приведены рекомендации по использованию конкретных видов пневматических шин на транспортных средствах с указанием опорных поверхностей, на которых применение этих шин максимально эффективно. Создана сводная таблица, содержащая основные сведения о конструкции указанных видов колесных движителей.*

### Ключевые слова

*Колесный движитель, транспортное средство, анализ, тороидная шина регулируемого давления, широкопрофильная шина, арочная шина, пневмокаток, опорная поверхность, проходимость*

Поступила в редакцию 02.10.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

**Введение.** В настоящее время проектирование транспортного средства является комплексной задачей, для решения которой используется огромное количество данных, средств, расчетов, методов и т. д. Выбор движителя составляет одну из базовых задач при конструировании транспортного средства, поскольку от этого выбора зависит большинство эксплуатационных свойств транспортного средства.

В настоящее время, самый распространенный движитель — это обычное колесо. Он используется на большинстве транспортных средств — начиная с обычных дорожных легковых автомобилей и заканчивая тяжелой военной техникой большой грузоподъемности и высокой проходимости.

Выбор типа и основных характеристик движителя, прежде всего, зависит от района эксплуатации проектируемого транспортного средства [1]. Для наиболее рационального выбора конструктивных характеристик колесного движителя важно знать преимущества, недостатки и особенности работы колесных движителей на разных опорных поверхностях. Для последующих рекомендаций по выбору параметров колесных движителей систематизированы сведения, которые представлены в настоящей работе.

**Обзор колесных движителей.** Колесо — вращающийся и передающий нагрузку движитель, закрепленный на оси и позволяющий поставленному на него телу катиться по поверхности, а не скользить по ней [[2]. Колесо состоит из ступицы, обода с диском, пневматической шины и распорного кольца (для средних и тяжелых автомобилей). Одним из самых важных элементов колеса является пневматическая шина, именно она определяет его основные свойства и характеристики. По способу герметизации внутренней полости различают камерные и бескамерные шины, по способности работать с переменным давлением — шины с регулируемым и нерегулируемым давлением. Очень важна и характеристика формы шины.

Рассмотрим классификацию пневматических шин различной формы, применяемых на транспортных средствах высокой проходимости [3].



**Рис. 1.** Тороидная шина регулируемого давления

Наиболее массово распространены обычные шины тороидной формы (рис. 1), используемые на легковых и грузовых автомобилях, которые большую часть времени эксплуатируются по недеформируемым опорным поверхностям. Средний эксплуатационный пробег тороидных шин составляет 40–80 тыс. км [4].

Для повышения эксплуатационных свойств такого типа шин на бездорожье применяются специальные системы регулирования внутреннего давления в шине, позволяющие водителю снижать давление в шине для преодоления труднопроходимых участков опорных поверхностей: уменьшается сопротивление движению и улучшаются сцепные свойства шины. Такие системы также позволяют некоторое время продолжать движение транспортного средства при наличии прокола в шине, если мощности компрессора хватает для компенсации утечек воздуха в поврежденной шине.

К преимуществам шин тороидной формы можно отнести их доступность, простоту эксплуатации и ремонта, экономичность, небольшую массу и достаточно длительное время эксплуатации (по сравнению с другими видами движителей), а также возможность использования и на твердых поверхностях, и на неувлажненных связных грунтах и уплотненном снегу.

Основным недостатком тороидной шины является невозможность их использования на поверхностях с мягким, особенно увлажненным, покрытием. Применение обычных шин даже с регулируемым давлением, практически невозможно на несвязных грунтах. При движении по мягким грунтам с большой влажностью давление колеса на опорную поверхность сильно увеличивается и пятна контакта не хватает для дальнейшего движения.

Колеса разрезают грунт, образуя глубокую колею, и просто проваливаются в него. Как правило, такие шины обладают протекторами с высокими и разнесенными грунтозацепами, поэтому при движении по дорогам с твердым покрытием эти шины шумнее обычных дорожных шин, а также более интенсивно изнашиваются [5].

Другим видом пневматических шин являются широкопрофильные шины. Они отличаются значительно меньшим отношением высоты профиля к его ширине (рис. 2), что позволяет добиваться большей устойчивости транспортного средства, улучшает его управляемость и уменьшает износ шины.

Увеличение ширины профиля шины способствует повышению грузоподъемности транспортного средства, снижению удельного давления на грунт, что служит решающим фактором при движении по бездорожью. У широкопрофильных шин при прочих равных условиях меньше потери мощности на качение, благодаря чему экономится топливо [4].

Широкопрофильные шины с регулируемым давлением и одной беговой дорожкой применяются на легковых автомобилях для повышения проходимости, а с постоянным давлением и двумя беговыми дорожками — на грузовых автомобилях обычной проходимости. Эти шины предназначены для замены обычных шин сдвоенных задних колес. Однако есть и недостатки применения широкопрофильных шин — это необходимость использования на одном автомобиле двух типов шин (обычных и широкопрофильных) и, соответственно, двух запасных колес (для переднего и заднего мостов) в тех случаях, когда они устанавливаются на сдвоенные задние колеса вместо обычных шин [6].

Следует упомянуть еще одну разновидность пневматических шин — арочную шину (рис. 3). Ширина профиля арочной шины в 2,5–3,5 раза больше, чем у тороидных шин, а ширина беговой дорожки практически равна ширине профиля. Особая форма профиля (форма арки) позволяет шине работать с очень низким давлением ( $0,5\text{--}1,5 \cdot 10^5$  Па), а также большими радиальными деформациями.

Такая форма шины обеспечивает большую площадь соприкосновения шины с дорожным покрытием, уменьшает удельное давление на грунт и обеспечивает максимальную силу тяги на легко деформирующихся грунтах. Как правило, арочные шины имеют сложный рисунок протектора с мощными расчлененными высокими грунтозацепами эвольвентной формы, почти на всю ширину профиля



Рис. 2. Широкопрофильная шина

шины для увеличения сцепления с грунтовой поверхностью [4], что обеспечивает их повышенную проходимость.



Рис. 3. Арочные шины

Недостаток арочных шин заключается в быстром износе, особенно при их использовании на дорогах с твердым покрытием, в невозможности движения транспортного средства на высокой скорости (максимальная скорость: 40–60 км/ч). К тому же стоимость арочных шин выше обычных [6].

Особенностью качения арочных шин по мягкому грунту является интенсивное уплотнение грунта в направлении к центру контакта шин с опорной поверхностью [5]. Вследствие этого значительно повышается проходимость автомобиля в условиях бездорожья: по размокшим грунтам, заснеженным дорогам и т. п. *Арочные шины* используют как сезонное средство повышения проходимости автомобилей, устанавливая их вместо обычных. Средний пробег арочных шин при эксплуатации в смешанных дорожных условиях составляет 40–45 тыс. км, а на дорогах с твердым покрытием 20–30 тыс. км.

Пневмокатак — эластичная шина бочкообразной формы (рис. 4). Главным преимуществом пневмокатака является его высокая эластичность, которая дает возможность работать при сверхнизких давлениях и обеспечивать очень большое пятно контакта с грунтом [4, 6, 7]. При этом существенно уменьшается удельное давление на поверхность, обеспечиваются большие радиальные прогибы, позволяющие передвигаться по очень сложным поверхностям. Пневмокатак обладает большой сопротивляемостью проколам, при проколе воздух из него выходит очень медленно вследствие незначительного

внутреннего давления. Протектор пневмокатка снабжен невысокими редко расположенными грунтозацепами, которые наряду со своим основным назначением повышают его прочность и обеспечивают сохранность (устойчивость) его формы.

Пневмокатки монтируют на ободьях специальной конструкции вследствие низкого давления в шинах при достаточно крупных размерах они имеют относительно малую грузоподъемность [7]. Значительная ширина и малая грузоподъемность пневмокатков ограничивают их применение для автомобилей. Кроме того, на ровных дорогах с твердым покрытием пневмокатки имеют относительно низкий срок службы. Они предназначены для транспортных средств, работающих в особо тяжелых условиях: по снежной целине, сыпучим пескам, заболоченной местности, в условиях самого тяжелого бездорожья [8].



Рис. 4. Пневмокаток

Приведем основные параметры колесных движителей транспортных средств: наружный диаметр  $D$ ; высоту профиля  $H$ ; ширину профиля  $B$ ; ширину протектора  $h_{пр}$ ; посадочный диаметр  $d$ ; максимально допустимую нагрузку на движитель  $G_k$  (грузоподъемность); соответствующее этой нагрузке давление в шине  $p_0$ ; геометрическую форму; статистический прогиб шины  $f_{ш}$ ; жесткость шины  $C_{ш}$ ; отношение максимального и минимального значений удельного давления шины на грунт  $q_{max}/q_{min}$  (табл. 1, 2) [9].

Таблица 1

### Конструкционные параметры шин

Параметр	Тип шины			
	Тороидная	Широкопрофильная	Арочная	Пневмокаток
$H / B$	1	0,7	0,37	0,32
$D / B$	3	2,5	1,6	1,0
$B_F / B$	0,75	0,8	1,0	1,0
$h_{пр} / B$	0,1	0,12	0,3	0,2
$f_{ш}$	0,015	0,012	0,02	0,028
$C_{ш}$ , кН/м	400	500	330	160
$q_{max} / q_{min}$ , МПа	0,35/0,09	0,35/0,08	0,2/0,08	0,08/0,03

## Сравнение видов колесных движителей и рекомендации к их применению

Название колесного движителя	Основные преимущества	Основные недостатки	Опорные поверхности, на которых рекомендуется использовать данный тип шин	Транспортные средства, на которых используется данный тип шин
Тороидная шина регулируемого давления (см. рис. 1)	Широкое распространение; простота эксплуатации и ремонта; экономичность; небольшая масса; длительное время эксплуатации	Невозможность использования на размокших легко деформирующихся опорных поверхностях	Дороги с недеформируемым покрытием; неувлажненные связные грунты (черноземы, суглинки, подзолистые, луговые и лесные почвы); щебень; уплотненный снег	Легковые и грузовые автомобили повышенной проходимости, оснащенные системой регулирования давления воздуха в шинах
Широкопрофильная шина (см. рис. 2)	Устойчивость; улучшенная управляемость; высокая грузоподъемность; низкое удельное давление на грунт; экономия топлива	Необходимость использования на одном транспортном средстве двух типов шин	Дороги с недеформируемым покрытием; связные грунты со средней увлажненностью (чернозем, глины, песчаные, лесные и луговые почвы); пашня; неглубокая снежная целина	Легковые автомобили повышенной проходимости; внедорожники; грузовые автомобили (используются для замены движителей с двумя беговыми дорожками)
Арочная шина (см. рис. 3)	Низкое удельное давление на грунт; большие тяговые способности; сложная форма, обеспечивающая высокую степень деформации шины	Быстрый износ при использовании на дорогах с твердым покрытием; невозможность движения с высокими скоростями; высокая стоимость	Переувлажненные размокшие грунты; глубокий снег; заледевшие поверхности; несвязные песчаные грунты; переувлажненная глина	Внедорожники и грузовые автомобили высокой проходимости; вездеходы; транспортные средства, предназначенные для использования в зимних условиях или в переувлажненных местностях; сезонное средство повышения проходимости

Название колесного движителя	Основные преимущества	Основные недостатки	Опорные поверхности, на которых рекомендуется использовать данный тип шин	Транспортные средства, на которых используется данный тип шин
<p>Пневмокаток (см. рис. 4)</p>	<p>Высокая эластичность; возможность работать при сверхнизком давлении; большое пятно контакта с грунтом; низкое удельное давление на грунт; большие радиальные прогибы; сопротивляемость проколам</p>	<p>Малая грузоподъемность; невозможность использования на дорогах с твердым покрытием</p>	<p>Условия самого тяжелого бездорожья: снежная целина, заледевшие поверхности, сыпучие пески, заболоченная местность; переувлажненные почвы: глины, чернозем, лесная, луговая, болотная и тундровая почвы; поверхности самой сложной формы; размокшие пашни</p>	<p>Специальные транспортные средства высокой проходимости, предназначенные для использования в самых тяжелых условиях</p>

**Выводы.** В результате проведенного сравнительного анализа выявлены характеристики четырех типов пневматических колесных движителей. Составлена сводная таблица, наглядно отражающая конструктивные особенности рассмотренных шин. Систематизированы и представлены рекомендации по применению рассмотренных колесных движителей для транспортных средств и опорных поверхностей, которые можно использовать при проектировании колесных машин.

## Литература

- [1] Агейкин Я.С., Чичекин И.В. Проблема повышения эффективности транспортных средств для районов со слаборазвитой дорожной сетью. *Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника*, 2010, № 3, с. 15–16.
- [2] ГОСТ Р 52390-2005. *Транспортные средства. Колеса дисковые. Технические требования и методы испытаний*. Москва, Стандартинформ, 2006, 24 с.
- [3] Кушвид Р.П., Чичекин И.В. *Шасси автомобиля. Конструкция и элементы расчета*. Москва, Изд-во МГИУ, 2014, 555 с.
- [4] Гринченко И.В., Розов Р.А., Лазарев В.В., Вольский С.Г. *Колесные автомобили высокой проходимости*. Москва, Машиностроение, 1967, 240 с.
- [5] Агейкин Я.С. *Вездеходные колесные и комбинированные движители*. Москва, Машиностроение, 1972, 184 с.
- [6] Котович С.В. *Движители специальных транспортных средств. Часть I*. Москва, МАДИ (ГТУ), 2008, 161 с.
- [7] Бочаров Н.Ф., Гусев В.И., Семенов В.М., Соловьев В.И., Филюшкин А.В. *Транспортные средства на высокоэластичных движителях*. Москва, Машиностроение, 1974, 208 с.
- [8] Платонов В.Ф. *Полноприводные автомобили*. Москва, Машиностроение, 1989, 312 с.
- [9] Агейкин Я.С., Вольская Н.С., Чичекин И.В. *Пройодимость автомобиля*. Москва, Изд-во МГИУ, 2010, 275 с.

**Максимов Роман Олегович** — студент кафедры «Колесные машины», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — И.В. Чичекин, канд. техн. наук, доцент кафедры «Колесные машины», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.



## ANALYSIS OF INFLUENCE OF WHEEL MOVER STRUCTURAL CHARACTERISTICS ON SUPPORT-COUPPLING FLOTATION ABILITY OF VEHICLE

R.O. Maksimov

romychmaximov@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

*The article gives a comparative analysis of the main types of wheel movers used on vehicles of high flotation ability. We analyzed the most common types of wheel movers such as toroid tires of adjustable pressure, high flotation tires, arch tires and pneumocytes. The comparison is justified by well known geometrical and structural characteristics of these movers. The paper identifies the main operational properties and characteristics of tires, describes the main advantages and disadvantages of each one. As a result, we give recommendations on using specific types of pneumatic tires on vehicles and indicate supporting surfaces on which the usage of these tires is the most effective. We provide a summary table providing basic information on the design of the types of wheel movers under consideration.*

### Keywords

*Wheel mover, vehicle, analysis, toroid tire of adjustable pressure, high flotation tire, arch tire, pneumocytes, supporting surface, flotation ability*

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

---

### References

- [1] Ageykin Ya.S., Chichekin I.V. The problems of increasing efficiency of transport for districts with a badly developed highway system. *Gruzovik: transportnyy kompleks, spetstekhnika* [Truck: Transportation Complex and Special Technique], 2010, no. 3, pp. 15–16.
- [2] GOST R 52390-2005. Transportnye sredstva. Kolesa diskovye. Tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy [State standard R 52390-2005. Road vehicles. Disc wheels. Technical requirements and test methods]. Moscow, Standartinform publ., 2006, 24 p.
- [3] Kushvid R.P., Chichekin I.V. Shassi avtomobilya. Konstruktsiya i elementy rascheta [Car frame. Construction and calculation elements]. Moscow, MGIU publ., 2014, 555 p.
- [4] Grinchenko I.V., Rozov R.A., Lazarev V.V., Vol'skiy S.G. Kolesnye avtomobili vysokoy prokhodimosti [Go-anywhere wheeled vehicles]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1967, 240 p.
- [5] Ageykin Ya.S. Vezdekhodnye kolesnye i kombinirovannye dvizhiteli [Off-highway wheeled and composite running gears]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1972, 184 p.
- [6] Kotovich S.V. Dvizhiteli spetsial'nykh transportnykh sredstv. Chast' I. [Running gears of special transport vehicles. P. 1]. Moscow, MADI (GTU) publ., 2008, 161 p.
- [7] Bocharov N.F., Gusev V.I., Semenov V.M., Solov'yev V.I., Filyushkin A.V. Transportnye sredstva na vysokoelelastichnykh dvizhitelyakh [Transport vehicles with highly elastic running gears]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1974, 208 p.
- [8] Platonov V.F. Polnoprivodnye avtomobili [Four-wheel drive vehicles]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1989, 312 p.
- [9] Ageykin Ya.S., Vol'skaya N.S., Chichekin I.V. Prokhodimost' avtomobilya [Vehicle flotation]. Moscow, MGIU publ., 2010, 275 p.

**Maksimov R.O.** — student, Department of Wheeled Vehicles, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — I.V. Chichekin, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Wheeled Vehicles, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.