

УДК 629.113

**З.А. Кострова, А.В. Михеев, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров,
В.Е. Колотилин, М.Е. Бушуева, В.В. Беляков**

ЭВОЛЮЦИЯ КОЛЕСА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрена эволюция колеса - от первого деревянного катка до современных разработок - непневматических (безвоздушных) шин. Целью исследования эволюции колеса является систематизация имеющихся на сегодняшний день сведений о появлении первого колеса, этапах развития колеса; рассмотрение колеса как средства технического прогресса и как результата развития общества; составление условной классификации существующих видов колес.

Ключевые слова: колесо, эволюция колеса, первое автомобильное пневматическое колесо, Роберт Томсон, Дж. Данлоп, металлоупругие колеса, пружинящие колеса, гусматики, гранулированные колеса, радиальные и диагональные шины, сферическое колесо, нестандартные колеса, колеса марсоходов, моносферическое колесо-робот, квадратное колесо, эллипсоидное колесо, непневматические (безвоздушные) шины, классификация колес.

Колесо - одно из самых важных изобретений в области механики за всю историю человечества. Основным преимуществом колеса как механизма является возможность экономии работы при перемещении груза за счет замены силы трения скольжения, возникающей на границе двух взаимно перемещаемых тел, значительно меньшей по величине силой трения качения [1]. В общем количестве транспортно-технологических машин (ТТМ) парк колесной техники составляет более 70%. Колесный движитель является наиболее распространенной тягово-опорной системой, которая применяется на ТТМ [2].

Предшественником колеса можно считать деревянный каток, который подкладывался под перемещаемый груз. Самым ранним «колесом» считается находка в Румынии - её относят к последней четверти V тысячелетия до н. э. (рис. 1). Следующие упоминания о колесе встречаются в Древней Месопотамии в конце 4-го тысячелетия до н. э. Первые колеса для повозок делались сплошными, их отрезали от бревен или сшивали из нескольких досок и затем обрезают по кругу (дисковые колеса, рис. 2, а). Деревянные колеса быстро приходили в негодность. Уже в середине III тысячелетия до н. э. беговую дорожку деревянных колес оборащивали в кожу, а к 2000 г. до н. э. стали забивать в обод медные гвозди острием наружу - для лучшего сцепления с землей. Колеса еще сплошные, но уже не вырезанные из цельного ствола, а составные, сколоченные из трех частей. Примерно тогда же люди приручают лошадь, и повозки разделяются на быстрые конные двуколки - боевые колесницы и экипажи правителя и двухосные телеги с впряженным волом - для хозяйства.



Рис. 1. Одно из первых колес

Эволюция колеса напрямую связана с эволюцией дорог. Колесные повозки не могли двигаться по пересеченной местности. Сначала дороги прокладывали между поселениями и местами, где проводились работы - например, между полем и деревней. Впоследствии дороги стали соединять различные населенные пункты. Во II тысячелетии до н. э., конструкция колеса совершенствуется: на Южном Урале появляется колесо со спицами (рис. 2, б), в Малой Азии - со ступицей и гнутым ободом. Позднее, в I-м тысячелетии до н. э. кельты для увеличения прочности колёс своих колесниц стали применять металлический обод (рис. 2, в). На

этой стадии развитие колеса затормозилось на долгие годы, практически 3000 лет оно оставалось неизменным [3].

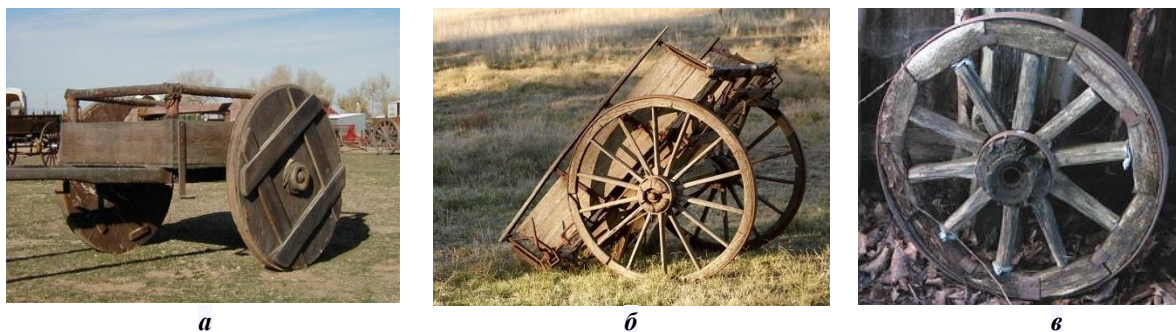


Рис. 2. Эволюция колеса в 4 - 1 тысячелетии до н.э.:

а - одно из первых колес для повозок;
б - колесо со спицами; *в* - колесо с металлическим ободом

Огромный шаг в технико-технологической эволюции колеса произошел в XIX веке, когда появились первые пневматические шины. Первым изобретателем шины принято считать Роберта Томпсона (патент №10990 от 10 июня 1846 года) (рис. 3). Шина Томпсона состояла из камеры и наружного покрытия. Камера изготавливалась из нескольких слоев обычной парусины, пропитанной и покрытой каучуком или раствором гуттаперчи. Наружное покрытие шины делалось из кожи и крепилось с помощью заклепок. Томпсон оборудовал экипаж воздушными колесами и провел испытания, измеряя силу тяги экипажа. Испытания показали уменьшение силы тяги на 38 % на щебеночном покрытии и на 68 % на покрытии из дробленой гальки. Особо отмечались бесшумность, удобство езды и легкий ход кареты на новых колесах.

После смерти Томпсона в 1873 году, его изобретение было забыто. В 1888 году Джон Данлоп сделал сплошные деревянные колеса для детского велосипеда, с желобом на наружной поверхности, из старого резинового фартука склеил трубки, соединил их концы и надел на колеса. Сверху Данлоп покрыл каждую камеру полосой полотна, края которого прибил гвоздями к колесу. В камеры вклеил отрезки тонких резиновых трубок и накачал через них воздух. 23 июля 1888 г. Дж. Б. Данлопу был выдан патент № 10607 на изобретение [4]. Через

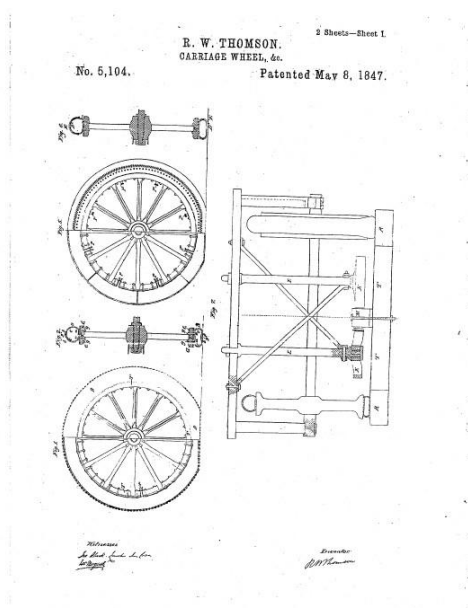


Рис. 3. Первое автомобильное пневматическое колесо (1846 г.)

два года Чальд Кингстон Уэлтчем отделил камеры от покрышки и для увеличения прочности и упругости шины предложил вставлять в ее края проволоочные кольца и сажать их на обод, с углублением к центру. Последнее открытие дало изобретению Данлопа путь к применению пневматических шин на автомобилях. Тогда же англичанин Бартлетт и француз Дидье изобрели вполне приемлемые способы монтажа и демонтажа шин. Всё это определило возможность применения пневматической шины на автомобиле. Первыми, кто стал использовать пневматические шины на автомобилях, были французы Андре и Эдуард Мишлен, которые уже имели достаточный опыт в производстве велосипедных шин. Шины первых автомобилей напоминали велосипедные - имели очень небольшую ширину и высоту профиля. Такие шины имели низкие показатели грузоподъемности, проходимости, управляемости, долговечности и комфортабельности,

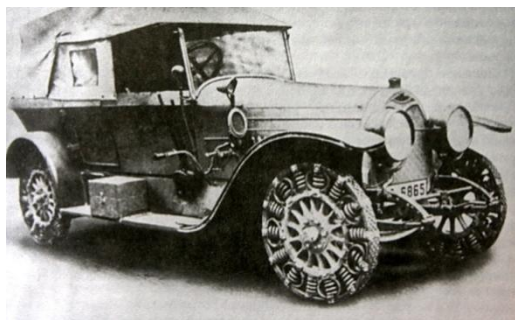


Рис. 4. Первый автомобиль с металлоупругими пружинящими колёсами (1865 г.)

для повышения плавности хода автомобиля. В патенте №152422 от 1902 года описана конструкция колеса с пружинящей ступицей. Одна из частей ступицы жёстко установлена на оси, а другая связана с деревянным ободом при помощи деревянных спиц. Части ступицы связаны между собой упругими элементами, которые обеспечивают уменьшение динамического воздействия неровностей дороги на транспортное средство. Колесо с пружинящими спицами по патенту №166065 от 2 декабря 1904 г. содержит обод, связанный со ступицей при помощи пружин и жестких металлических спиц. Спицы шарнирно закреплены на ступице и ободе колеса и предотвращают боковое и угловое перемещение ступицы относительно обода. В 1916 году немецкая компания Mercedes-Benz оснастила свой автомобиль металло-

были ненадёжны и не приспособлены к быстрому монтажу [5].

Еще одним шагом в эволюции КД явилось появление металлоупругих колёс. Первые металлоупругие колёса появились в 1865 г. (рис. 4).

В конце XIX века их ставили на английские мотоциклы «Квадрант», а в начале XX столетия - на некоторые модели автомобилей [6]. Конструкторами того времени было изобретено большое число пружин колёс, отличительной особенностью конструкции которых являлось наличие металлических упругих элементов, предназначенных в первую очередь

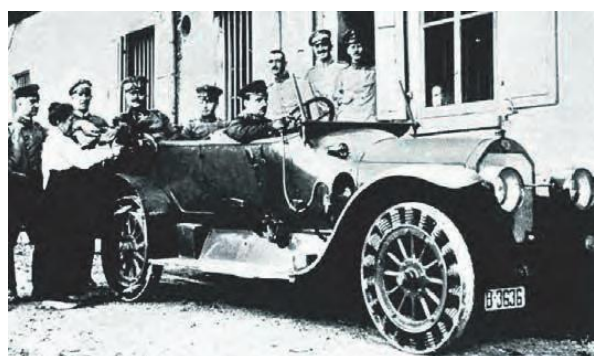


Рис. 5. Автомобиль с металлоупругими колёсами (1916 г.)



Рис. 6. Робот-вездеход Tri-Star IV (2011г.)

упругими колёсами собственной конструкции (рис. 5) [7].

Достоинствами металлоупругих колёс являются плавность хода, возможность работы в экстремальных условиях (низких и сверхнизких температур, в кислых средах, в условиях ионизирующих излучений). Недостатки: большая масса, повышенный шум при качении, меньшие демпфирующие свойства, требуется большое пространство для размещения упругих элементов при незначительном вертикальном перемещении ступицы относительно обода. Идея использования упругих элементов в конструкции колёсного движителя используется не только при проектировании наземного транспорта, но и при изготовлении космических аппаратов.

В 2011 году группой инженеров под руководством профессора Сигео Хиросе из Токийского технического института в рамках совместного проекта с Японским агентством аэрокосмических исследований разработан робот-вездеход Tri-Star IV (рис. 6), на который ус-

тановили колеса с металлическими упругими спицами. Данная конструкция колеса позволяет роботу перемещаться по горизонтальным и наклонным поверхностям с различного рода неровностями [7]. Применение металлоупругих колёс было обусловлено не только низкой надёжностью первых пневматических шин, но и нехваткой и дороговизной натурального каучука - единственного материала, из которого до 1932 г. получали резину. Эта проблема приобрела особую актуальность в Германии во время первой мировой войны. Поэтому на некоторых армейских автомобилях начали испытывать шины, не имеющие ни грамма резины. Они представляли собой стальные пружины, зажатые между двумя металлическими ободами: малым, внутренним, и большим, наружным. Понятно, что такие шины не боялись проколов, но в целом себя не оправдали и на броневиках применения не нашли.

Англичане для своих машин фирмы «Остин» придумали следующее. Каждый броневый автомобиль имел два комплекта колёс. В обычных условиях машина разезжала на пневматиках и могла быстро перебрасываться по дорогам с одного участка фронта на другой. Однако перед тем как вступать в соприкосновение с противником, машину «переобували» в другие колёса, так называемые боевые. Шины их были выполнены из сплошной резины и, кроме того, имели специальные выступы, улучшающие сцепление с грунтом. Неудобства такой системы были очевидны. Нужно было постоянно возить с собой четыре лишних колеса и тратить дорогое время на их замену. При этом скорость в бою была недостаточной.

Перед первой мировой войной А. Гуссом был разработан специальный наполнитель для шин броневых автомобилей, легкий и упругий, который после заливки в шину застывал и становился сухим, мелкопористым, словно пробка. Такие шины были пулестойкими и по имени изобретателя названы гусматиками. Броневые автомобили, обутое в гусматики, пошли в бой. Изготовители гарантировали пробег в 1000 верст, но фактически он нередко доходил до 3000 вест, что было по тем временам отличным показателем (рис. 7). В ходе войны эластичные наполнители шин применялись также на немецких и английских броневиках. Немецкий наполнитель был неплохой, а английская масса (рабберин) уступала гусматику в эластичности и долговечности [8].



Броневый автомобиль «Фиат-Омский» на шинах типа «гусматик» (1917-1923 гг.)



45-мм противотанковая пушка образца 1942 года

Рис. 7. Шины типа «гусматик»

Преимуществом таких колёс на сегодняшний день являются устойчивость и сохранение работоспособности покрышек в случае механических повреждений (проколы, пулевые или осколочные воздействия), низкий коэффициент сопротивления качению, высокий срок эксплуатации (в 1,5-2 раза выше пневматических покрышек) и минимальные затраты на техническое обслуживание во время их эксплуатации. Но есть и недостатки: сниженный коэффициент упругости (что существенно ограничивает допустимые скорости передвижения транспортного средства и, как следствие, область применения шин), данные шины проигрывают пневматическим шинам по своим демпфирующим свойствам (демпфирующие свойства

гусматика составляют около 80%), специфика монтажа требует квалифицированной помощи специалистов (для монтажа шин гусматик необходимо специальное оборудование), низкая эластичность, что не дает возможности эксплуатировать их на более высоких скоростях (при длительном движении на высокой скорости данные покрышки быстро нагреваются, происходит резкий нагрев и выделение газов, что может спровоцировать самовозгорание или разрыв покрышки).

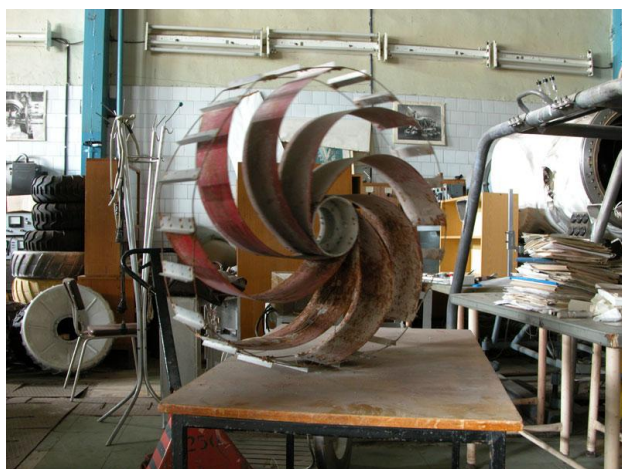
Потребовалось много лет постепенного совершенствования конструкции пневматической шины и способа ее изготовления, прежде чем она окончательно вытеснила литую резиновую. Стали применяться все более надежные и долговечные материалы, появился в шинах корд - особо прочный слой из упругих текстильных нитей. В середине 50-х годов появилась новая разработка в конструкции шин. Основной особенностью новой шины, предложенной фирмой «Мишлен», был жесткий пояс, состоящий из слоев металлокорда. Нити корда располагались радиально от борта до борта. Такие шины получили название радиальных [9]. Результатом испытания новой шины фирмы «Мишлен» явилось увеличение ходимости почти вдвое по сравнению со стандартными (при диагональном расположении нитей корда). Радиальные шины повышают безопасность эксплуатации автомобилей за счет улучшения устойчивости и управляемости при движении; повышенного сцепления на дорогах с сухим и мокрым покрытиями; уменьшения риска механических повреждений и проколов в зоне протектора.



Рис. 8. Колесо лунохода (1970 г.)



Рис. 9. Колесо для лунохода из упругой сетки (1970 г.)



Подрессоривание колеса с помощью металлических лент



Подрессоривание колеса с помощью цилиндрических пружин

Рис. 10. Пробные варианты колес для лунохода (1970 г.)

В середине XX века начинается освоение и исследование космоса, возникает потребность эксплуатации КД в новых условиях. Создание и запуск лунного самоходного аппарата стало важным этапом в изучении Луны. Идея создания лунохода родилась в 1965 г. в ОКБ-1 (ныне РКК «Энергия» им. С.П. Королева). Создание лунохода было поручено Машиностроительному заводу им. С.А. Лавочкина (ныне НПО им. С.А. Лавочкина) и ВНИИ-100 (ныне ОАО «ВНИИТрансмаш») [10]. Колесо планетохода должно одновременно сочетать в себе множество требований. Вот несколько вариантов колес, созданных во ВНИИТМ со времен лунохода и до наших дней. В одном из вариантов колеса состоят из трех титановых ободов, с закрепленной на них стальной сеткой с грунтозацепами из того же титана. На твердой поверхности опора происходит на средний обод, на мягком же грунте обод проникает глубоко и тогда работает сетка (рис. 8). Еще один вариант - здесь внешняя поверхность колеса сделана из упругой сетки, однако под сеткой размещены ленточные пружины, которые работают, когда при ударах сетка проминается. Профиль колеса мешает боковому сползанию. Грунтозацепы (в середине) работают главным образом при прогибании сетки на твердых грунтах (рис. 9). Еще два пробных варианта колес для лунохода - колесо подрессоривается, в одном случае, с помощью упругих металлических лент, в другом - с помощью цилиндрических пружин вдоль оси колеса (рис. 10) [11].

6 сентября 2012 года был опубликован патент US20120223497 A1 - гранулированные колеса - разработка ученых из канадского университета Макгилла. За основу была взята идея беспалого робота, который с легкостью захватывает любые предметы, не повреждая их. Разработка получила название iRing [12]. Колесо состоит из ступицы, гибкой ткани шины и заполнителя - металлических частиц. Ткань шины может быть выбрана из широкого диапазона материалов - хлопок, искусственные материалы (полиэфир), металлы.

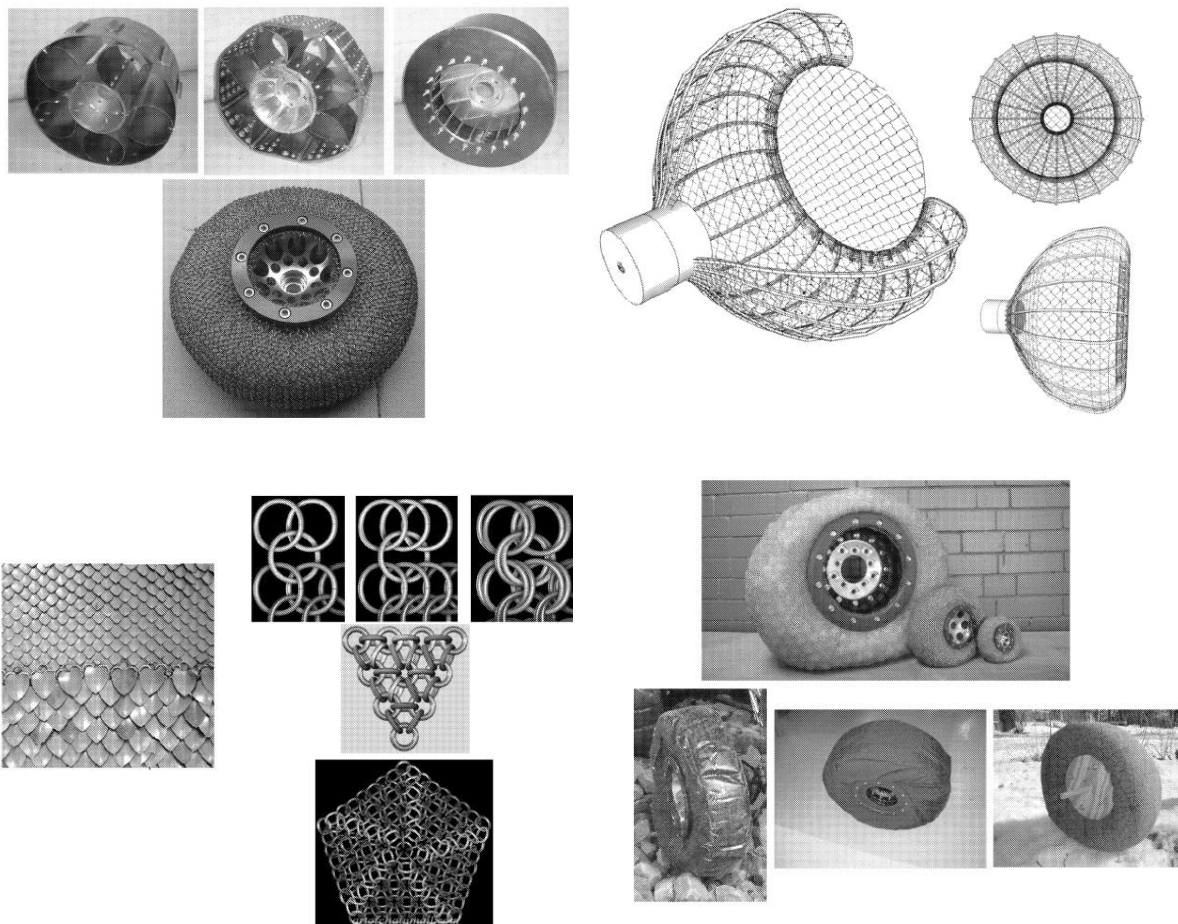


Рис. 11. Гранулированные колеса (2012 г.)

В одном из вариантов такое колесо состоит из ступицы, каркас сделан из стали («кольчуги») и заполнен пластиковыми шариками (рис. 11) [13].

Достоинства такой конструкции колеса следующие: колеса, наполненные мелкими твердыми гранулами, легко обтекают любые возникающие на пути объекты, что приводит к увеличению площади пятна контакта и улучшению тягового усилия, бокового сопротивления; гранулированные колеса проходят по местности любого рельефа, форсируют даже объекты, чьи габариты превосходят размеры самих шин; увеличивают сопротивление качению, что снижает вибрацию корпуса; способны работать в условиях сверхнизких температур (внеземные поверхности). Недостатки: больше затраты энергии на качение; малая экспериментальная база по наработке на отказ (не хватает данных по эксплуатации в разных климатических и технологических условиях).

В последние годы было предложено несколько нестандартных безвоздушных колес (рис. 12). Например, студенты инженерного колледжа Чарльза Дэвидсона при университете Сан-Хосе изобрели мотоцикл Spherical Drive System со сферическими колесами (рис. 12, а). Колеса могут вращаться в любом направлении и при необходимости развернуться буквально на месте. При изготовлении сфер использовались углеродное волокно и фиброгласс.

Ещё одним примером нестандартного сферического колеса может явиться разработанный в 2012 году шведской компанией Rotundus робот GroundBot (рис. 12, б) - сферическое устройство с двумя камерами по бокам, которые снимают изображение в трехмерном формате и дающими угол обзора 360°. Управление ботом осуществляется с помощью системы, основанной на использовании GPS. Также робот оснащен ИК камерами, которые позволяют видеть в темноте. На GroundBot также можно установить оборудование, которое регистрирует радиоактивное излучение, задымленность в помещении или наличие открытого огня. Максимальная скорость - 10 км/ч, встроенного аккумулятора хватает на 8-16 часов, время перезарядки составляет 3-4 часа, диаметр 60 см, вес - 25 кг. На сегодняшний день эти роботы уже нашли применение в военных операциях и в службах охраны.

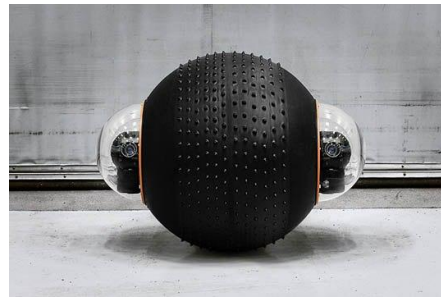
В 2004 году компания Audi разработала концепт-кар, Audi RSQ, специально для фильма «Я, робот». Автомобиль имеет скрытые внутри крыльев сферические колеса - такое транспортное средство может двигаться в любом направлении в любой момент времени без необходимости выполнения сложных маневров для разворота, то есть имеет шесть степеней свободы. Был создан аналог данного автомобиля, наглядно показывающий принципы работы сферического колеса из детского конструктор Lego (рис. 12, в).

На рис. 12, д - российский аппарат «Марсоход» с цилиндрическими алюминиевыми колесами с увеличенными грунтозацепами. На рис. 12, е - варианты марсоходов космического агентства НАСА - Spirit (2003 год), Opportunity (2004 год) и Curiosity (2011 год). Марсоходы имеют по 6 колес, каждое из которых выполнено из цельного куска алюминия, размер колеса 50 на 40 см, величина грунтозацепа - 7,5 мм. У Curiosity грунтозацепы неровные, что дает возможность избежать бокового скольжения. По форме колеса напоминают конус. На внешнем краю каждого колеса имеется ободок, который также необходим для придания прочности и жесткости всей конструкции. Помимо этого, внутри находится дополнительный обод, который является базой для дисков колес. Одна из секций шины имеет отверстия, выполняющие роль одометрического маркера. Их наличие позволяет навигационному программному обеспечению аппарата измерять прогресс движения марсохода по мягким поверхностям путем фотографирования оставленных колесами следов.

На рис. 12, ж - еще один пример нестандартных колес - квадратные колеса (патент №2786540 от 26 марта 1957 года). За счет остроугольных граней данные колеса работают в условиях бездорожья лучше, чем круглые. Колеса установлены на плавающую ось и автоматически выравнивают положение друг относительно друга, а внутренняя геометрия обеспечивает плавность хода на ровных поверхностях. В 1960-е было построено несколько ходовых моделей с квадратными колесами для армии США. На рис. 12, ж фигуры 4 и 5 - частный случай квадратного колеса - шестигранное колесо.



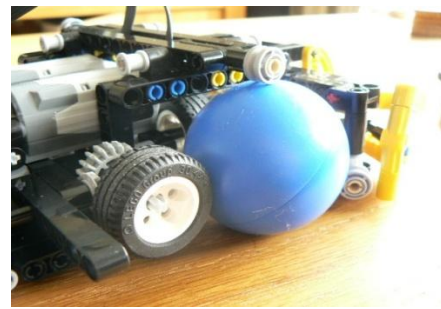
а



б



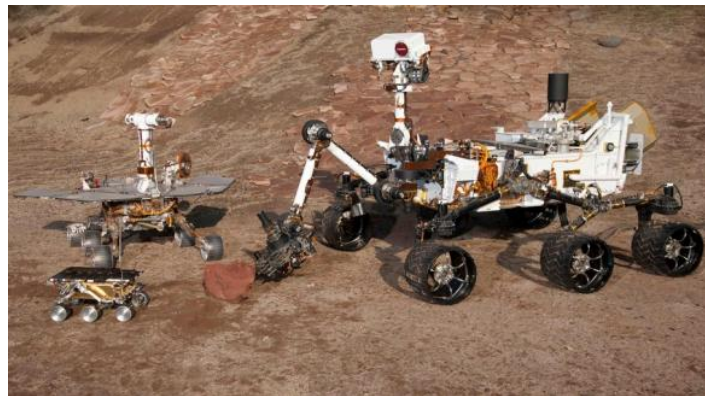
в



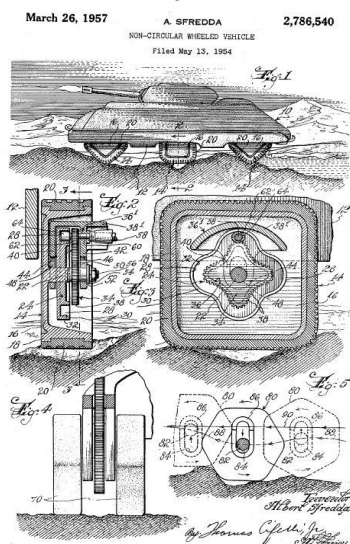
г



д



е



ж



з

Рис. 12. Нестандартные колеса:

- а - мотоцикл со сферическими колесами (2012 г.); б - моносферическое колесо-робот (2012 г.);
 в - концепт-автомобиль Audi со сферическими колесами (2004 г.);
 г - аналог концепт - автомобиля Audi из конструктора Lego;
 д - российский аппарат «Марсоход»; е- марсоходы НАСА (2003 – 2011 гг.); ж - пример квадратного колеса (1957 г.);
 з - пример эллипсоидного колеса (1946 г.).

На рис. 12, з – пример эллипсоидного колеса. Данный вид колес был разработан в 40е годы, в США. На рис. 12, з изображен трактор М7 с эллипсоидными колесами, испытания которого проводились в 1946 году. Колеса на специальной качающейся подвеске синхронизированы по отношению друг к другу на 90 градусов, что не позволяет кузову проседать резко. Испытания сразу выявили ряд недостатков эллипсоидных колес: длительное движение по твердому грунту на таких колесах приводило к расшатыванию элементов кузова; при определенном наклоне овальных колес машина двигалась исключительно по прямой, поворот был невозможен; был обнаружен повышенный износ покрышек в верхней и нижней точках эллипсоида колес.

Достижения химии полимеров в настоящее время позволяют применять для изготовления колёс автомобиля неметаллические материалы, в частности полиуретан. Следует отметить, что в настоящее время разработкой колёс и шин из полимерных материалов занимаются ведущие мировые автомобильные компании. Преимуществами таких шин являются устойчивость к механическим повреждениям (проколы, порезы), поскольку в них нет герметичной камеры (продолжает движение при повреждении 30% структуры шины); меньшее сопротивление качению, что позволяет экономить до 10% топлива; ниже нагрев, как следствие, увеличение срока эксплуатации шины; требуется меньше сырья при производстве; количество основных производственных операций при изготовлении шин уменьшилось с 8 до 4, что значительно снижает энергозатраты и выбросы вредных веществ в атмосферу; нет необходимости проверять давление воздуха в шинах; возможна работа на пересеченной местности; в перспективе установка полиуретановых шин будет доступна на любой автомобиль.



Рис. 13. Шины Michelin Tweel (2004 г.)



Рис. 14. Шины Polaris (2012 г.)

Недостатки: сильные вибрации на больших скоростях; для производства требуется специально обученный персонал, высокотехнологичное оборудование; необходимо специальное оборудование для обслуживания; на данном этапе разработок шины не рассчитаны на длительные переезды, т.к. при преодолении больших расстояний возникает их перегрев; не рассчитаны на высокие скорости (до 80 км/ч); жесткость конструкции никак не регулируется. В 2004 г. на автомобильной выставке в Париже фирма Michelin представила автомобильную шину с упругими деформируемыми спицами из полиуретана.

Шины Michelin Tweel (рис. 13) в сравнении с традиционными пневматическими шинами имеют меньшую массу и высокую боковую жесткость, что, в свою очередь, улучшает большинство эксплуатационных свойств автомобиля. Конструктивно Tweel представляет собой систему цельных внутренних ступиц, прикрепленных к полуоси. Вокруг них расположены полиуретановые спицы, соединенные в определенной последовательности. Через спицы проходит растяжной хомут, формируя внешний край шины (часть, которая соприкасается с дорогой) [6].

Конкурентом для Michelin стала компания Polaris, продемонстрировав своё видение

«шин будущего» (рис. 14). Конструктивно они достаточно похожи, но в Polaris внесли одно улучшение: спицы заменили на систему сот, наподобие пчелиного улья. Плюс применили в собственной разработке другие композиционные материалы. Стали заметны преимущества новинки: получившиеся ячейки в зависимости от скорости движения проявляют разные параметры жесткости: то они жесткие, то они гибкие, а как следствие - лучше поддерживается форма колеса вкупе с хорошим поглощением неровностей. Таким образом, непневматические шины из полиуретановых эластомеров можно условно разделить на «спицевые» и «сотовые». «Спицевые» шины состоят из жесткой ступицы, соединенной с протектором посредством гибких деформируемых спиц из полиуретана. Вся конструкция при этом функционирует как единое целое.



Рис. 15. Шины Bridgestone (2015 г.)

Безвоздушные шины Bridgestone показали миру свой «рисунок»: теперь в профиле закручивающиеся в обе стороны спицы, благодаря которым шина становится более упругой (рис. 15). В Bridgestone к выбору исходных материалов подошли достаточно «зелено» и предложили создавать новые шины из переработки старой резины. Впрочем, практика показала возможность применения подобной конструкции лишь в гольф-карах: максимальная скорость ограничивается уже даже не 80, а 64 км/ч, а грузоподъемность одного колеса всего 150 кг.

Шины без воздуха I-Flex (Hankook) (рис. 16) сделали неожиданный поворот этой отрасли. Корейская фирма создала шины, в которой собственно шина и обод - одно целое. 95% I-Flex - это переработанные материалы.



Рис. 16. Шины Hankook (2013 г.)

Показали их в первый раз на Франкфуркском автошоу 2013 года, выполнены I-Flex были в размере 14" и имели довольно оригинальный дизайн, который приглянулся посетителям. Сейчас подобные безвоздушные шины устанавливают на малолитражные модели Volkswagen Up. Последней новостью мира безвоздушной резины стал выпуск шин Hankook I-Flex пятого поколения, в которых инженерами удалось перевалить «80-километровый барьер». По результатам серии испытаний было выявлено, что новый рисунок вместе с новыми перерабатываемыми материалами теперь упирается в скоростной предел 130 км/ч. Дополнительным преимуществом новинки стала возможность установки новых Hankook I-Flex-V на стандартный обод [16].

Есть подобные разработки и в России. Многие из них выполнены в МИТХТ им. М.В. Ломоносова, НИИШПе, Братском государственном университете, Псковском государственном университете. Кафедра «Автомобильный транспорт» Братского государственного

ного университета также имеет опыт в разработке колёс с упругими спицами, сделан опытный образец пресс-формы для изготовления шины с упругими деформируемыми спицами из эластичного полиуретана методом литья [15-19].

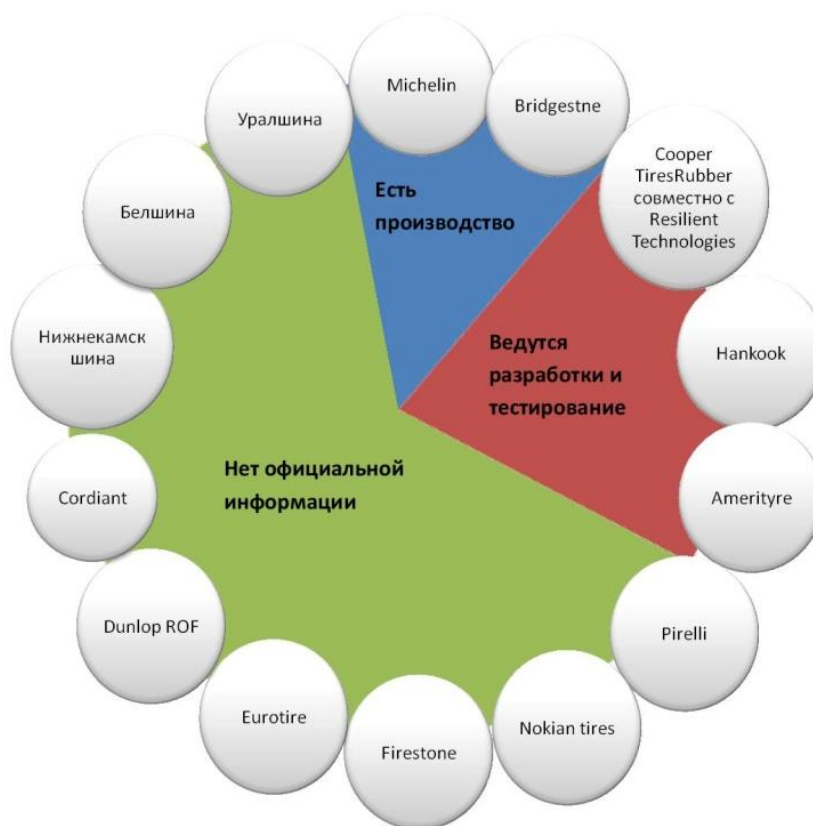


Рис. 17. Этапы разработки и производства эластичных шин у различных производителей

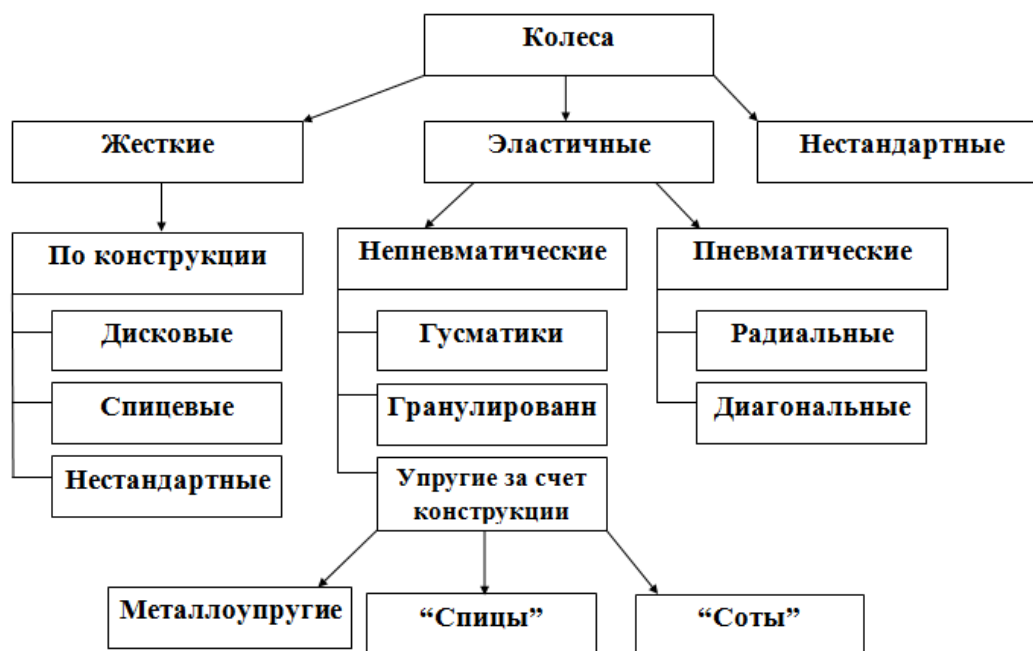


Рис. 18. Условная классификация колес

Одной из значимых проблем рассмотренных шин является невозможность регулиро-

вания жесткости конструкции. Существуют разработки по регулированию жесткости «сотовых» структур колеса и элементов с помощью подведения к ним электрического тока и применения электровискоупругих по жесткости полимерных материалов.

Этапы разработки и производства эластичных шин у различных производителей данной продукции показаны на рис. 17. На сегодняшний день многие крупные производители шин нацелены на производство безвоздушных шин. Американский город Пидмонт в штате Южная Каролина стал местом расположения нового завода компании Michelin по производству безвоздушной радиальной шины Tweel. Новый завод позволит компании Michelin увеличить объем производства шин Michelin X Tweel SSL для мини-погрузчиков с бортовым разворотом и приступить к выпуску новой шины Michelin X Tweel TURFTM, которая будет устанавливаться в качестве оригинального оборудования для газонокосилок John Deere ZTRAKTM 900 с функцией разворота на месте [20].

На основании вышеприведенного описания типов колес и шин, а также их характеристик можно предложить следующую условную классификацию (рис. 18).

Полученные данные могут быть использованы при проектировании математической модели непневматической шины по методикам, представленным в работах [2, 13-60].

Библиографический список

1. **Тарановский В.Н.** Автомобильные шины: Устройство, работа, эксплуатация, ремонт / В. Н. Тарановский, В. А. Гудков, О. Б. Третьяков. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
2. **Беляков, В.В.** Статистическая модель выбора геометрических параметров, массо-инерционных, мощностных и скоростных характеристик многоосных колесных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2015. – №4(111). – С. 136–147.
3. **Добровольский, А.В.** Универсальная научно-популярная онлайн-энциклопедия «КРУГО-СВЕТ». URL: http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/tehnologiya_i_promyshlennost/koleso.html. Дата доступа 16.02.2016.
4. URL: <http://vkrse.com/event/680>. Дата доступа 12.02.2016.
5. URL: <http://www.pirelli-tyres.com/cpravochnik/istoriya-shin.php>. Дата доступа 17.02.2016.
6. **Мазур, В.В.** Способы повышения живучести и безопасности автомобильных шин // Системы. Методы. Технологии. – 2009. – №1. – С. 41–45.
7. **Манфановский, С.Б.** Совершенствование колесных движителей внутренним подрессориванием колес / С.Б. Манфановский, А.А. Енаев // Вестник Псковского государственного университета. – 2013. – №3. – С. 87–95.
8. **Глаголев, Л.Д.** Бронемашины. История броневедомоцикла. URL: <http://btr9.narod.ru/index.htm>. Дата доступа 20.02.2016.
9. **Маргиева, Г.И.** Автомобильные шины вчера, сегодня, завтра / Г.И. Маргиева // Международная научно-практическая конференция «Образование. Наука. Производство». Т. 2. Промышленность и транспорт. – 2012. – С. 111–133.
10. URL: <http://ria.ru/spravka/20101117/295093399.html>. Дата доступа 21.02.2016.
11. **Котович, С.В.** Движители специальных транспортных средств. Часть 1 / С.В. Котович. – МАДИ (ГТУ). – М., 2008. – 161 с.
12. Автоматические и интеллектуальные системы транспортных средств / В.В. Беляков [и др.] под общей ред. В.В. Белякова, Л. Палковича. – Нижний Новгород – Будапешт, 2012. – 475 с.
13. Peter Radziszewski, Sudarshan Martins. Particulate Filled Wheel: pat. US20120223497 A1 The Royal Institution For The Advancement Of Learning/Mcgill University. 2012.
14. URL: <http://krossovery.info/bezvozdushnye-shiny-konstrukciya-preimushhestva-nedostatki-ceny/>. Дата доступа 21.02.2016.
15. **Мазур, В.В.** Автомобильная шина из эластичного полиуретана с упругими деформируемыми спицами: пат. 2397877 Российская Федерация. 2010.
16. **Мазур, В.В.** Упругое колесо транспортного средства: пат. 2335409 Российская Федерация. 2010.

17. **Енаев, А.А., Мазур В.В.** Колесо транспортного средства повышенной эластичности: пат. 2180290 Российская Федерация. 2002.
18. **Мазур В.В.** Колесо транспортного средства с упругими спицами: пат. 2336178 Российская Федерация. 2010.
19. **Мазур, В.В., Енаев А.А.** Пресс-форма для изготовления колес из полимерных композиционных материалов: патент на полезную модель 79490 Российская Федерация. 2009.
20. **Киселев А.** Michelin открывает новый завод по производству безвоздушных радиальных шин. URL: <http://auto.premier.ua/news.aspx?newsid=20645>. Дата доступа 02.02.2016.
21. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, Беляев А.М., Бушуева М.Е., Вахидов У.Ш., Гончаров К.О., Зезюлин Д.В., Колотилин В.Е., Лелиовский К.Я., Макаров В.С., Папунин А.В., Тумасов А.В., Федоренко А.В. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 3 (100). – С. 145–174.
22. **Беляков, В.В.** Подвижность наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 4. – С. 72–77.
23. **Макаров, В.С.** Многоуровневая модель снега как полотна пути для транспортно-технологических машин на примере территории Российской Федерации / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-2. – С. 270–276.
24. **Вахидов, У.Ш.** Математическое описание дорог типа «stone-road» / У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – С. 151.
25. **Вахидов, У.Ш.** Определение характеристик микропрофиля в поймах рек северного кавказа / У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1. – С. 82–88.
26. **Редкозубов, А.В.** Определение характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин / Макаров В.С., Гончаров К.О., Беляков В.В., Зезюлин Д.В., Беляев А.М., Папунин А.В., А.В. Редкозубов // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. – С. 113.
27. **Макаров, В.С.** Характер изменения снежного покрова как полотна пути с учетом неравномерности его залегания на местности / В.С. Макаров, А.В. Папунин, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. – С. 33.
28. **Гончаров, К.О.** Проведение замеров микропрофиля поверхности движения типа ровное поле / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. – 2012. – Т. 1-2. – № 42-43. – С. 29–30.
29. **Макаров, В.С.** К вопросу выбора экспериментальных данных для составления статистических моделей снежного покрова как полотна пути для транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, В.С. Макаров, А.В. Федоренко // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – № 1 (102). – С. 136–141.
30. **Макаров, В.С.** Снег как полотно пути для транспортных средств / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 4. – С. 21–24.
31. **Редкозубов, А.В.** О целесообразности моделирования дорог при помощи фрактального исчисления / А.В. Редкозубов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. – 2012. – Т. 1-2. – № 42-43. – С. 87–88.
32. Полотно пути транспортно-технологических машин (справочные материалы к теории «машина - местность») / В.В. Беляков. [и др.]; под общей редакцией В.В. Белякова и А.А. Куркина. Нижний Новгород, 2014. – 447 с.
33. **Барахтанов, Л. В.** Проходимость автомобиля / Л. В. Барахтанов, В. В. Беляков, В. В. Кравец. – Н. Новгород: НГТУ, 1996. – 200 с.
34. **Куркин, А.А.** Новые тенденции в обследовании цунами / А.А. Куркин, Е.Н. Пелиновский, В.В. Беляков, В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин // Экологические системы и приборы. – 2014. – № 12. – С. 40–55.
35. **Папунин, А.В.** О влиянии ландшафта местности на характеристики снежного покрова и на проходимость транспортных средств / А.В. Папунин, В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – № 4 (106). – С. 331–335.
36. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оптимизация в задачах подвижности, конкурентоспособ-

- ности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И.Сагунов. – Н. Новгород, НГТУ, 2001. – 271 с.
37. **Папунин, А.В.** О влиянии характерных участков ландшафта местности подвижность транспортных средств / А.В. Папунин, А.В. Редкозубов, В.В. Беляков // Актуальные вопросы образования и науки сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях. – 2014. – С. 112-113.
 38. **Федоренко, А.В.** Анализ изменения плотности снежного покрова в зимний период / А.В. Федоренко, В.В. Беляков // Актуальные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях. – 2014. – С. 140–142.
 39. **Беляев, А.М.** Анализ изменения высот снежного покрова в зимний период / А.М. Беляев, В.В. Беляков // Актуальные вопросы образования и науки сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях. 2014. – С. 28–30.
 40. **Гончаров, К.О.** Характер изменения жесткости, связности и угла внутреннего трения снега в зависимости от плотности и продолжительности залегания снежного покрова / К.О. Гончаров, В.В. Беляков // Актуальные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях. – 2014. – С. 48–50.
 41. **Макаров, В.С.** Анализ данных для составления статистических моделей снежного покрова как полотна пути для транспортных средств / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Актуальные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях. – 2014. – С. 96–97.
 42. **Макаров, В.С.** Обзор исследований по влиянию местности на характеристики снежного покрова / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – № 3 (105). – С. 154–162.
 43. **Папунин, А.В.** О влиянии ландшафта местности на характеристики снежного покрова и на проходимость транспортных средств / А.В. Папунин, В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – №4(106). – С. 331–335.
 44. **Редкозубов, А.В.** Математическая модель поверхности движения лесных дорог / А.В. Редкозубов, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – №4(106). – С. 348–352.
 45. **Макаров, В.С.** О влиянии влажности снега на изменение характеристик снежного покрова и на проходимость транспортных средств / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – №8-2. – С. 62.
 46. **Макаров, В.С.** Об изменении характеристик снежного покрова в течение зимы и их влияние на проходимость транспортных средств / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – №8-2. – С. 89–90.
 47. **Макаров, В.С.** Учет особенностей ландшафта при построении характеристик снежного покрова в течение зимы / В.С. Макаров, А.В. Папунин, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, В.В. Беляков // Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 8 частях. – 2013. – С. 87–88.
 48. **Михеев, А.В.** Оценка деформации колеса, оснащенного непневматической шиной при компьютерном моделировании вертикального статического нагружения / А.В. Михеев, В.В. Беляков, В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, З.А. Кострова // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2015. – №2(109). – С. 162–169.
 49. **Зубов, П.П.** Обзор существующих конструкций сочлененных гусеничных машин и рекомендации по выбору их параметров / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, З.П.П.убов, В.В. Беляков, В.Е.Колотилин, А.А. Куркин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева 2015. – №2(109). – С. 170–176.
 50. **Макаров, В.С.** Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2009.– 161 с.
 51. **Гончаров, К.О.** Оценка влияния экскавационно-бульдозерных эффектов на проходимость многоосных колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2010. – 259 с.
 52. **Зезюлин, Д. В.** Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2013. – 218 с.

53. **Зезюлин, Д.В.** К вопросу определения эффективности транспортных средств в зимний период / Д.В.Зезюлин, В.В. Беляков // В сборнике: Актуальные вопросы образования и науки сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях. – 2014. – С. 74–75.
54. **Куркин, А.А.** Новые тенденции в обследовании цунами / А.А. Куркин, Е.Н. Пелиновский, В.В. Беляков, В.С.Макаров, Д.В. Зезюлин // Экологические системы и приборы. – 2014. – № 12. – С. 40–55.
55. **Зезюлин, Д.В.** Методика расчета сопротивления качению колеса по снежному полотну пути с учетом неравномерности распределения давлений в зоне контакта / Д.В.Зезюлин, В.С.Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №3. – С. 52.
56. **Макаров, В.С.** Оценка эффективности колесных машин в течение зимы с учетом изменчивости характеристик снежного покрова / Макаров В.С., Колотилин В.Е., Беляков В.В., Зезюлин Д.В. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – № 4 (106). – С. 342–347.
57. **Тесленко, Д.С.** Использование метода конечных элементов для решения задач террамеханики / Д.С. Тесленко, В.В.Беляков, В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – №5. – С. 52–58.
58. **Беляков, В.В.** Шасси Робототехнического комплекса мониторинга прибрежной зоны / В.В.Беляков, А.А. Куркин, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – №4(106). – С. 353–357.
59. **Папунин, А.В.** Оценка проходимости колесных машин с учетом изменчивости характеристик снежного покрова в течение зимы / А.В.Папунин, В.С.Макаров, В.В. Беляков // В сборнике: Наука и образование в XXI веке сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 34 частях. – 2013. – С. 115–116.
60. **Зезюлин, Д.В.** метод повышения эффективности движения колесных машин по снегу путем выбора рациональных параметров движителей / Д.В.Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. У.Ш. Беляков, Вахидов // Фундаментальные исследования. – 2013. – №10-6. – С. 1203–1208.

*Дата поступления
в редакцию 16.05.2016*

**Z.A. Kostrova, A.V. Miheev, D.V. Zeziulin, V.S. Makarov,
E.V. Kolotilin, M.E. Bushueva, V.V. Belyakov**

THE EVOLUTION OF THE WHEEL

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeyev

This article describes the evolution of the wheel - from the first wooden roller to nowadays developments - non-pneumatic (airless) tires. The aim of researching of evolution of the wheel is systematization of all available information about appearance of the first wheel, the wheel stages of development; consideration of the wheel as a means of technological progress and as a result of the development of society; compilation of conditional classification of all existing types of wheels.

Key words: wheel, evolution of the wheel , first car pneumatic wheel , Robert Thompson, J. Dunlop, metallelastic wheels , sprung wheel , airless tire , granulated wheels , radial and bias tires, spherical wheel, custom wheels, wheel rovers, spherical mono - wheel robot, square wheel, wheel ellipsoidal, non-pneumatic (airless) tire, wheel classification.