

УДК 629.113

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

ИСТОРИЧЕСКОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОЛЕСА, КАК ОПОРНО-ТЯГОВОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ ДВИЖИТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, С ПОЗИЦИИ ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрено изменение конструкции колеса как системы элементов - от первого деревянного катка до современных разработок химии полимеров – непневматических (безвоздушных) шин, а также изменения каждой составляющей колеса в историческом контексте. Целью исследования является систематизация имеющихся на сегодняшний день сведений о причинах и предпосылках изменений материалов элементов колеса под влиянием изменяющихся требований внешней среды, в зависимости от технического прогресса, а также влияние этих изменений на сам технический прогресс.

Ключевые слова: колесо, изменение элементов колеса, дисковое колесо, спицованное колесо, первое автомобильное пневматическое колесо, деревянное колесо, колесная пара, автомобиль на колесной паре, паровая машина Кюньо, Ричард Трэтвик, пневматическая шина, металлическая шина, ступица, диск, беговая дорожка, металлоупругие колеса, пружинящие колеса, Фордсон, гранулированное колесо, гусматики, шина Ламберта, радиальные и диагональные шины, сферическое колесо, магнитная подвеска, колеса марсоходов, колеса луноходов, непневматические (безвоздушные) шины.

Для приведения транспортного средства в движение необходим движитель - устройство, преобразующее энергию двигателя, либо внешнего источника в полезную работу по перемещению транспортного средства. Наиболее известным и распространенным движителем является колесо [1, 60]. На сегодняшний день наиболее распространенным является колесо с пневматической шиной. В общем виде колесо состоит из диска с ободом и шины. Шина, в свою очередь, состоит из каркаса (корда), протектора, беговой дорожки.

Предшественником колеса многие исследователи считают деревянный каток, который подкладывали под перемещаемый груз. Самым ранним «колесом» считается находка в Румынии - её относят к последней четверти V тысячелетия до н. э. (рис. 1) [60]. Колесо было сделано из глины и представляло собой сплошную конструкцию – предположительно, это были колеса детской игрушки. В данном случае все составляющие колеса, о которых говорилось ранее, неразделимы и шина, как таковая, отсутствует. Беговая дорожка также есть неотделимая составляющая колеса. Еще одним вариантом



**Рис. 1. Одни из первых колес
(V тыс. до н.э.) из глины и камня**

первых колес является каменное колесо – данные колеса вырезали из мягкого камня.

С возникновением и развитием рыночных отношений у человека возникла необходимость перемещения грузов на большие расстояния. Появились первые повозки и первые колеса для повозок делались сплошными, их отрезали от бревен или сшивали из нескольких досок и затем обрезали по кругу (дисковые колеса, рис. 2).



Рис. 2. Одно из первых колес для повозок в 4 - 1 тысячелетии до н.э.

Такие колеса быстро приходили в негодность, поэтому уже в III тысячелетия до н. э. беговую дорожку деревянных колес оборачивали 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. Таким образом, на данном этапе можно говорить о появлении первой безвоздушной (непневматической) шины как защитного элемента дискового колеса. Еще одним недостатком цельного деревянного колеса является его вес и, как решение данной проблемы, во II тысячелетии до н. э. конструкция деревянного колеса совершенствуется: появляется колесо со спицами -

прообразом современного диска, а в дальнейшем, для увеличения прочности конструкции - появляется металлический обод (еще один вариант непневматической шины) (рис. 3) [2].



а



б

Рис. 3. Деревянные колеса в 4 - 1 тысячелетии до н.э.:
а - колесо со спицами; *б* - колесо с металлическим ободом

Работа осуществлялась квалифицированными рабочими - колесниками вручную. Внешнее кольцо «связывало» части колеса вместе, создавая износостойкую поверхность по периметру колеса. Таким образом, подобные шины могли выдерживать очень сильное давление. Тогда и появилось слово «шина», относящееся к металлическим полосам, которые связывали колеса [3].

Чуть позже появились также колеса, состоящие целиком из металла, но в связи со сложностью добычи металла, а также временем, которое требовалось на изготовление такого колеса, более распространенными оставались деревянные колеса. Несмотря на многочисленные изменения в производстве и изготовлении колес, их конструкция к XVIII веку практически не претерпела значительных изменений.

Стоит отдельно сказать о появлении и развитии железнодорожной индустрии – а в контексте данной статьи интересно рассмотрение событий, явлений и проблем, которые привели к появлению современных колесных пар (рис. 4, *а*).

В середине XVI века появился прообраз современной железной дороги – это были деревянные лежни – для доставки грузов из рудников, в движение повозку приводили лошади. Уже на тот момент такая система могла перевезти груза в четыре раза больше, чем по обычной дороге. Тележка и колеса были деревянными (рис. 4, *б*).

В 1705 году Томас Ньюкомен изобретает первую паровую машину, которая была усо-

вершенствована Джеймсом Уаттом и в 1784 году им был получен патент №1432 на универсальный по применению паровой двигатель. Также в XVIII веке появляется первая чугунная колеяная дорога, в 1803 году Ричардом Третвиком был сконструирован первый паровоз (рис. 4, в) – колесная пара уже металлическая, колеса спицованные, в 1825 Джорджем Стефансоном была создана первая железная дорога общественного пользования.

Все эти открытия и изобретения послужили основой для создания современных колесных пар. На рис. 4, г приведен пример колесной пары поезда (спицованной). На рис. 4, д пример трамвайной колесной пары, колеса уже дисковые, цельнолитые. Колесная пара состоит из оси и двух укрепленных на ней колес.

Компания Mercedes в сотрудничестве с британской фирмой Interfleet, специализирующейся на железнодорожных системах, переоборудовала небольшой автомобиль Smart Forfour в машину для езды по рельсам. Специалисты установили на месте стандартных легкосплавных дисков и покрышек цельнометаллические колёса.



Рис. 4. Эволюция колесной пары:

а – современная колесная пара (XXI в.); *б* – прообраз современной железной дороги (XVI в.); *в* – паровоз Ричарда Третвика (1803 г.); *г* – колесная пара современного поезда (XXI в.); *д* – трамвайная колесная пара (XXI в.); *е* – автомобиль Smart Forfour (2015 г.)

Условия работы элементов колесной пары существенно отличаются друг от друга, поэтому для каждого элемента выбирают материал, более всего удовлетворяющий условиям работы. Также, в зависимости от конструкции колесного центра их классифицируют на спицевые, дисковые и цельнокатные. Например, для вагонов электропоездов применяют колесные пары с литыми спицевыми центрами, а для прицепных вагонов – со стальными цельнокатными колесами, изготовленными из Ст1. Оси работают при высоких знакопеременных нагрузках, поэтому их изготавливают из специальной мартеновской стали, обладающей повышенными механическими свойствами. Изнашиваемую часть колеса делают сменной в виде бандажа. Материал бандажа должен быть достаточно твердым, чтобы сопротивляться износу и смятию, и в то же время достаточно вязким, чтобы сопротивляться ударным усилиям. Бандажи изготавливают прокаткой на специальных станках из углеродистой мартеновской стали.



Рис. 5. Паровая машина Кьюньо (1768 г.)

С появлением первых самодвижущихся систем (в литературе первое упоминание об автомобиле датируется 1768 годом – речь идет о паровой машине Кьюньо, представленной на рис. 5: колеса деревянные, спицованные, с металлическим ободом), а также с появлением и исследованием свойств каучука, привезенного из Америки, колеса начали обтягивать массивными каучуковыми бандажами – на этом этапе эволюции колеса можно говорить о появлении первой непневматической резиновой шины. В то время они назывались грузолентами.

Самым главным достоинством таких шин, по сравнению с существовавшими до этого «металлическими шинами», являлись упругость, амортизирующие свойства и увеличение плавности хода транспортного средства.

Дальнейшее развитие колеса связано с изобретением в 1846 году Робертом Томпсоном первой пневматической шины (рис. 6).

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. Колесо имело металлические спицы и металлический обод. Массовое применение и развитие пневматические шины получили не сразу, а спустя много лет.



Рис. 6. Первая пневматическая шина, (1846 г.)

В 1890 году Чальд Кингстон Уэлтчем отделил камеры от покрышки и для увеличения прочности и упругости шины предложил вставлять в ее края проволочные кольца и сажать их на обод, с углублением к центру – здесь можно говорить о выделении корда как составляющей современного колеса.

В это же время (1865 год) появились первые металлоупругие колеса [4]. Их отличительной особенностью являлось наличие металлических упругих элементов, которые повышали плавность хода автомобиля (рис. 7, а). Вместо эластичной каучуковой покрышки ставили пружины со стальными грунтозацепами – фактически спицы были заменены металлическими пружинами. В период первой мировой войны промышленность не успевала в полном объеме обеспечить покрышками все армейские автомобили. Именно тогда Германия достаточно активно использовали так называемые пружинные колеса.

Решением ряда задач сельскохозяйственной отрасли США в 1907 году стал предложенный конструкторами Генри Форда первый опытный образец трактора с двигателем внутреннего сгорания Fordson. Почти все тракторы на тот момент имели маломощные двигатели и были неэкономичны в эксплуатации. Это был первый в мире безрамный трактор. Его схема до сих пор применяется в колесных тракторах – картер двигателя составляет единое целое с шасси; еще одним достоинством такого трактора являлась простота конструкции и малая металлоемкость. В 1924 году СССР заключил контракт с компанией Fordson и на заводе «Красный Путиловец» началось производство тракторов «Фордзон» (рис. 7, б). На рисунке подробно представлена конструкция колес – они полностью состоят из металла, имеют крупные грунтозацепы, два задние колеса увеличенные – ведущие, два передние – направляющие, конструкция колес спицованная. В период перед второй мировой войной были попытки сделать из этих тракторов бронетехнику [5].

В начале XX века, с развитием техники и технологий, с началом исследования и освоения космоса, возникает потребность эксплуатации колесных движителей в новых нестандартных условиях. В 1965 году ОАО «ВНИИТрансмаш» разработали ряд вариантов металлоупругих колес для луноходов. На рис. 7, в – луноход-1 и колесо лунохода: внешняя поверхность колеса сделана из упругой сетки, однако под сеткой размещены ленточные пружины, которые работают, когда при ударах сетка проминается. На схеме устройства колеса лунохода: обод 2 колеса лунохода образован тремя титановыми кольцами, соединенными между собой титановыми грунтозацепами 3. Крайние обручи имеют несколько меньший диаметр, чем средний. Каждый обод соединен стальными спицами с алюминиевой ступицей 1. Наружная поверхность обручей обшита стальной сеткой 4. На этом же рисунке более подробно представлены грунтозацепы колеса луноход-1.

На рис. 7, г - марсоходы космического агентства НАСА - Spirit (2003 год), Opportunity (2004 год) и Curiosity (2011 год). Марсоходы имеют по шесть колес с грунтозацепами, каждое из колес выполнено из алюминиевого сплава, и закреплены на титановых спицах; каждое колесо имеет каркасный протектор и три обода – два тонких по краям и один толстый, к которому крепятся спицы. По форме колеса напоминают конус. Также на этом рисунке представлены колеса указанных марсоходов в сравнении. Колеса марсохода Curiosity имеют внешние повреждения, полученные за почти три года работы. Данная проблема связана с недостаточным запасом прочности колесного полотна (толщина колесного полотна всего 0,75 мм).

На рис. 7, д еще один пример металлоупругого колеса марсохода миссии Экзомарс 2018. Аппарат обладает шестью колесами, каждая колесная пара подвешена на независимой поворотной вагонетке, каждое колесо может независимо вращаться. Колеса сделаны из сплава алюминия и специальных сталей цилиндры, состоят из сегментов, внутри которых находятся демпфирующие ленты. При попадании на вязкую поверхность колесо не уходит под песок, а просто выталкивается за счет сжатия внутренних сегментов.

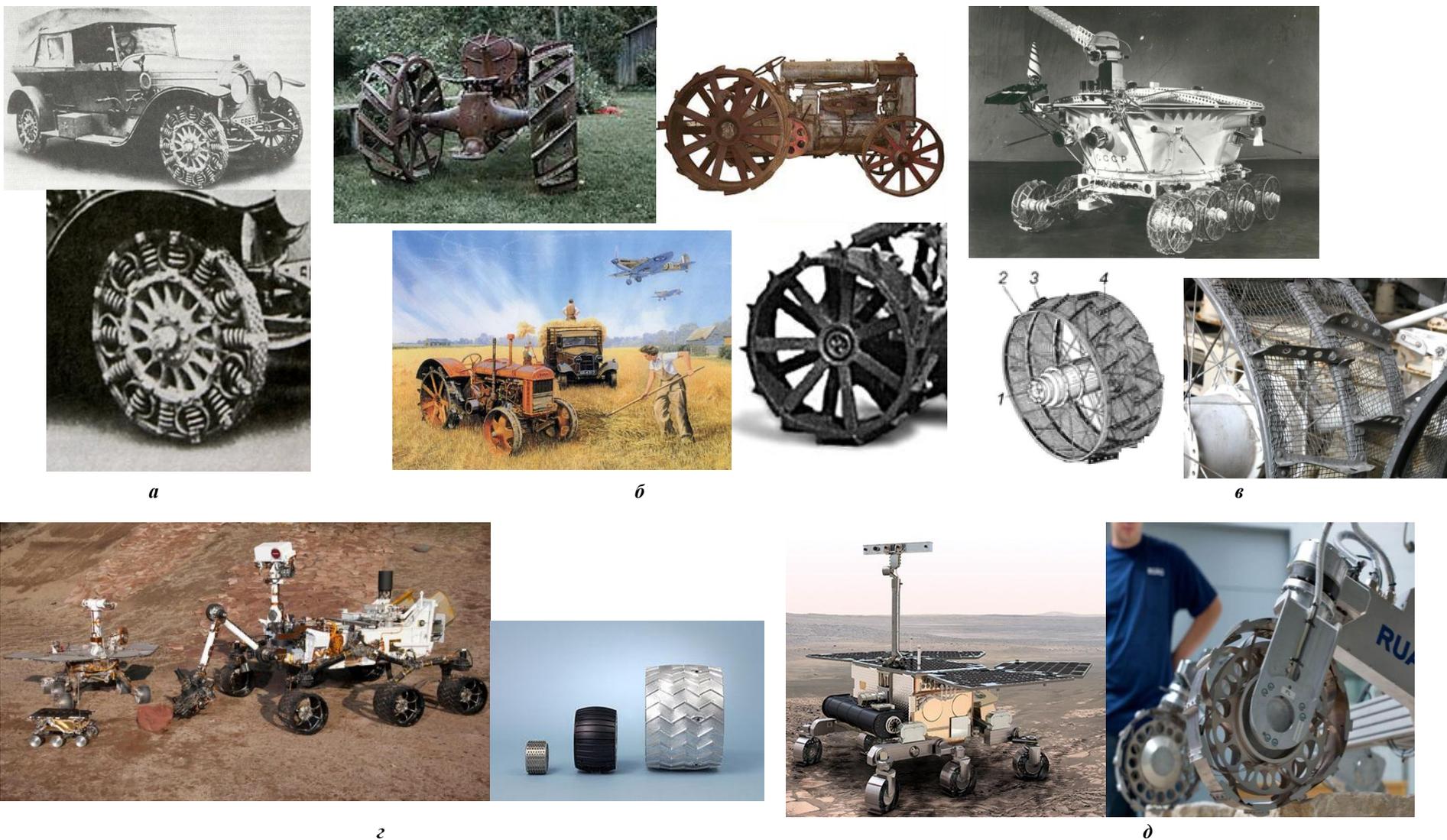


Рис. 7. Металлоупругие колеса: *а* – металлоупругие пружинящие колеса (1865 г.); *б* – первые трактора Фордзон (1924 г.); *в* – луноход-1 и колесо для лунохода из упругой сетки (1970 г.); *г* - марсоходы НАСА (2003 – 2011 гг.); *д* – марсоход и колеса марсохода миссии Экзомарс – 2018 (2016 г.)

Одной из современных разработок колес для внеземных исследований является гранулированное колесо - 6 сентября 2012 года был опубликован патент US20120223497 A1 [6] - разработка ученых из канадского университета Макгилла. Колесо состоит из ступицы, гибкой ткани шины и наполнителя - металлических частиц. Ткань шины может быть выбрана из широкого диапазона материалов - хлопок, искусственные материалы (полиэфир), металлы (рис. 8). Достоинством такой конструкции: 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)

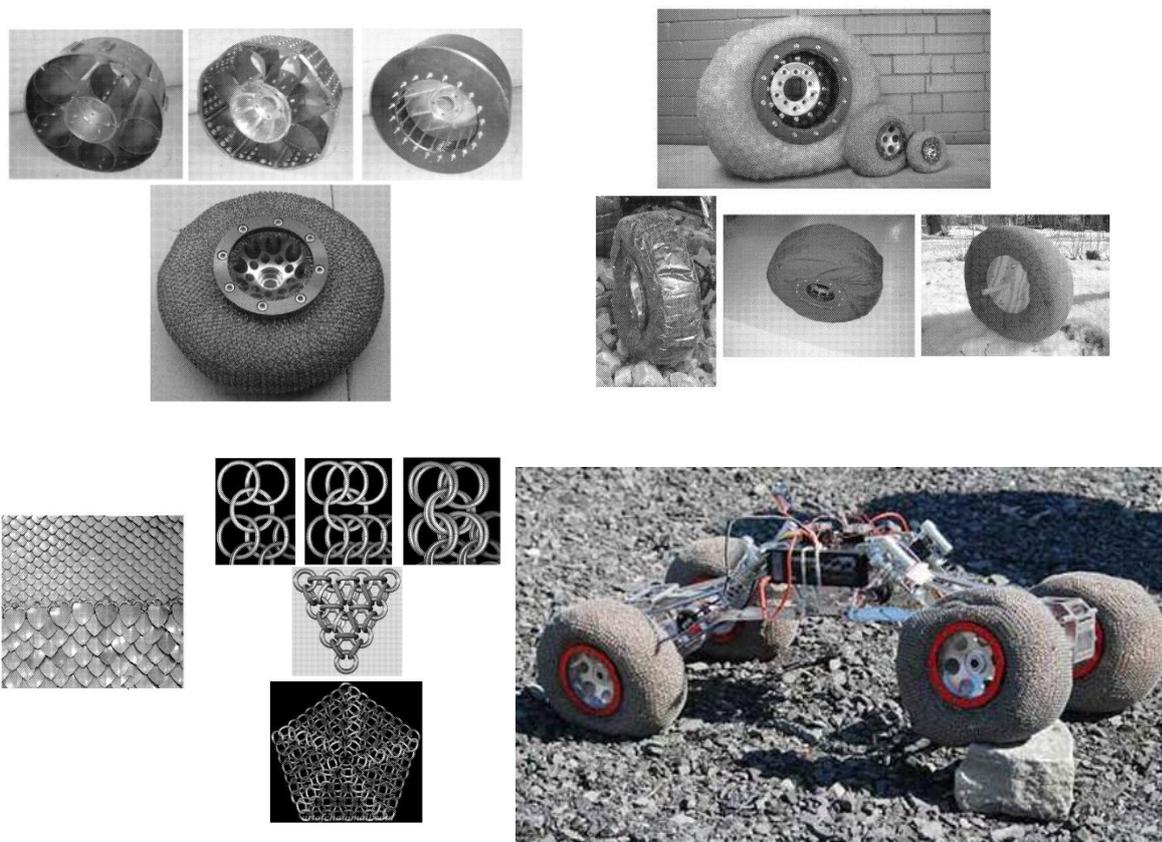


Рис. 8. Гранулированные колеса (2012 г.)

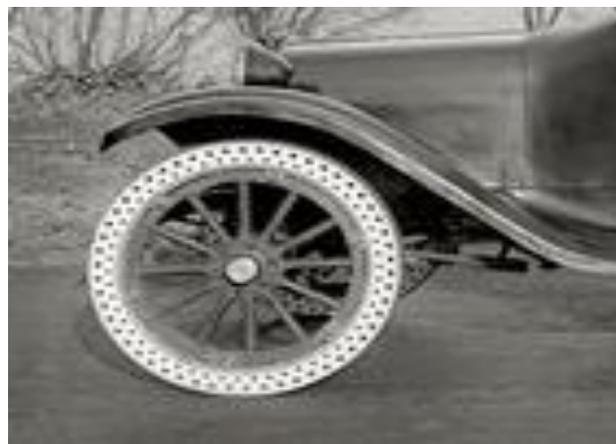
Во время первой мировой войны возникла проблема выхода из строя бронетехники и невозможности ведения боя в связи с проколом шины. Решением данной проблемы на тот момент стало открытием А. Гуссом смеси, состоящей из глицерина и желатина. Колеса представляли собой резиновую оболочку, внутренний объем которой заполнен эластичной массой – гусматическим составом (рис. 9, а). После войны такие шины не нашли широкого распространения, так как данные шины проигрывают пневматическим шинам по своим демпфирующим свойствам, специфика монтажа требует квалифицированной помощи специалистов и их невозможно эксплуатировать на высоких скоростях. Колесо имело спицованную металлическую структуру, но также гусматика «натягивались» и на дисковые колеса.

Одним из вариантов гусматиков являются шины Ламберта – система запатентована в 1920 году – непневматическая шина в которой, для снижения жесткости каучука были просверлены отверстия (рис. 9, б). Производство было открыто в 1920 году (рис. 9, в), но закры-

лось в 1925 году. Причина была в следующем: резина после высверливания в достаточном для мягкости хода количестве не имела достаточной прочности, и напротив - если отверстия сверлить в рассуждении сохранения прочности шины - то не достигалось необходимых амортизирующих свойств [7]. До наших дней сохранилось несколько экземпляров шин Ламберта (рис. 9, з).



а



б



в



г



д



е

Рис. 9. Непневматические (безвоздушные) шины:

а - броневедомитель «Фиат-Омский» на шинах типа «гусматик» (1917-1923 гг.); б – шины Ламберта (1920 г.); в – шины Ламберта на витрине магазина (1924 г.); г – шины Ламберта, сохранившиеся до наших дней; д - шины Michelin Tweel (2004 г.); е - шины Polaris (2012 г.)

В 2005 году компанией Мишлен [8] международному рынку были предложены автомобильные шины с упругими деформируемыми спицами из полиуретана (рис. 9, д). Конку-

рентом для Michelin стала компания Polaris: спицы заменили на систему сот (рис. 9, *е*) и применили композиционные материалы собственной разработки. «Спицевые» шины состоят из жёсткой ступицы, соединенной с протектором посредством гибких деформируемых спиц из полиуретана. Корейская фирма Hankook создали безвоздушные шины I-Flex, 95% которой – это переработанная резины пневматических шин, вышедших из употребления. Оставшиеся 5% состава являются собственной разработкой фирмы Hankook.

Подобные шины имеют как преимущества, так и недостатки. К основным преимуществам можно отнести устойчивость к механическим повреждениям и возможность функционирования транспортного средства (ТС) с 30% повреждений, меньшая масса шины, как следствие, уменьшение массы ТС в целом, высокая боковая жесткость, меньшее сопротивление качению, сокращение количества основных производственных операций (как следствие, снижение энергозатрат и выбросов в окружающую среду), возможность работы на пересеченной местности. К основным недостаткам можно отнести сильные вибрации на больших скоростях, существование скоростных ограничений ТС, необходимость специального оборудования для установки и обслуживания данных шин. Одной из проблем рассмотренных шин является невозможность регулирования жесткости конструкции – решением может быть подведение к ним электрического тока и применения электрозависимых по жесткости полимерных материалов.

Все колеса, показанные на рис. 9, имеют непневматические шины, полимерную беговую дорожку, спицованную структуру. Однако гусматики имеют цельнолитую структуру, тогда как остальные – ячеистую и спицованную структуры.

Сегодня существует ряд разработок, дающих возможность движения транспортного средства в любом направлении (шесть степеней свободы), без выполнения разворота.

Данная задача может быть решена с помощью сферического колеса. Сегодня существует ряд разработок сферических колес. Например, концепт-кар фирмы Audi RSQ (рис. 10, *а*). Данная модель была разработана компанией Audi специально для фильма «Я, робот». Автомобиль был представлен в 2004 году на выставке «Автошоу» в Нью-Йорке. Колеса скрыты внутри крыльев автомобиля, а принцип работы таких колес представлен на рис. 10, *б* – из конструктора Лего был собран аналог автомобиля Audi RSQ.

Компания Goodyear представила концепт сферических колес Eagle-360 (рис. 10, *в*). В конструкции используется бесконтактная подвеска, использующая эффект магнитной левитации. Сенсоры, расположенные внутри Eagle-360, будут отслеживать такие внешние параметры как состояние дороги, степень износа шин (в случае сильного износа машина автоматически изменит ориентацию колес, что позволит увеличить пробег), погодные условия; данная информация передается на центральный процессор, который осуществляет контроль за давлением воздуха в шинах, скоростью и направлением вращения колес. По задумке дизайнеров и инженеров компании, колеса можно будет распечатать на 3D принтере.

За основу рисунка протектора (рис. 10, *г*) взята поверхность коралла семейства Favedae, который действует как «губка» (специальный материал «губки» поглощает воду и выбрасывает ее впоследствии в результате действия центробежной силы, что поможет избежать эффекта аквапланирования), обеспечивающая максимальное сцепление с дорогой при любых условиях [9, 10]. Однако на сегодняшний день такие колеса существуют только в виде концепта.

Группа студентов из государственного университета Сан-Хосе создала электрический мотоцикл на сферических колесах (две массивные сферы заключены в своеобразный каркас из труб), состоящих из углеродистого стекловолокна и фибerglassа (рис. 10, *д*). За счет применения этих материалов колеса не являются тяжелыми. Система получила название Spherical Drive System. За основу была взята система электрического самобалансирующегося транспортного средства Segway (основан на работе системы гироскопов). Сферы приводятся в движение фрикционным механизмом, на который подается усилие от трех роторов со сме-

щенным центром тяжести. На сегодняшний день инженеры работают над усовершенствованием программного обеспечения.

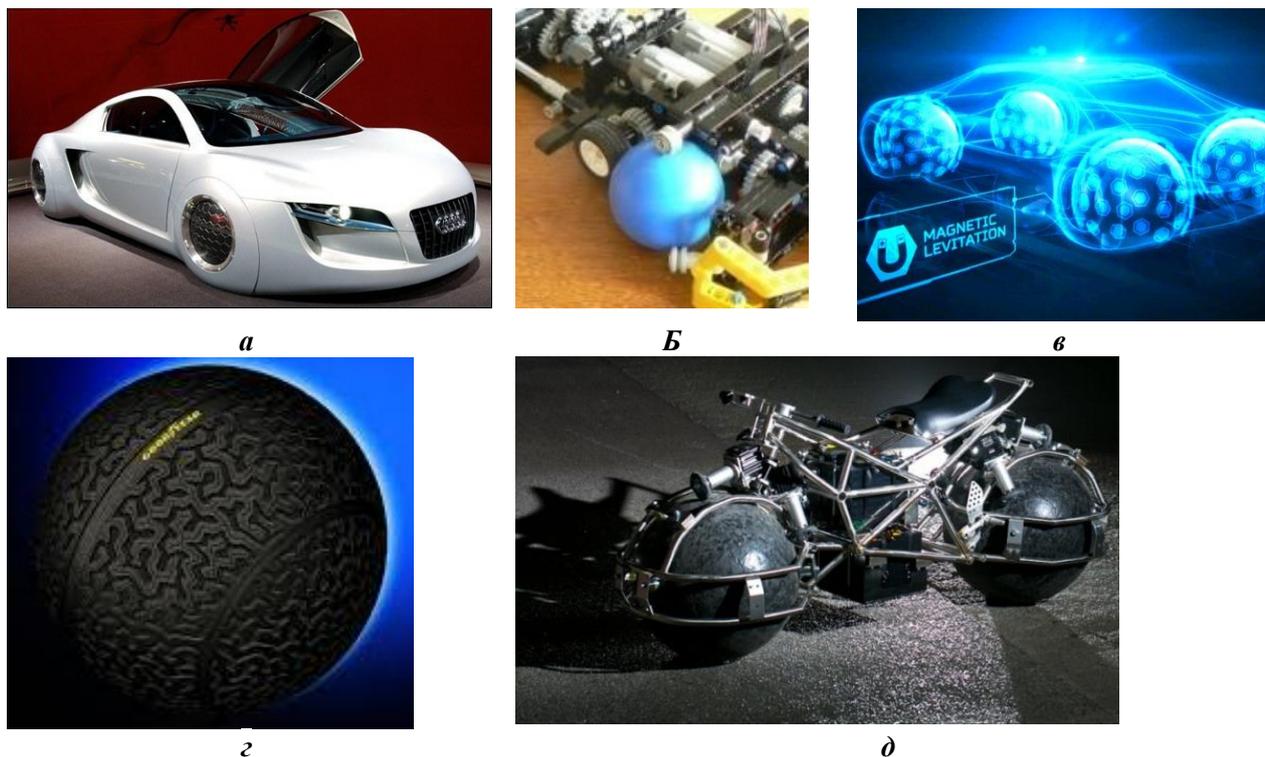


Рис. 10. Сферические колеса:

а – концепт-автомобиль Audi со сферическими колесами (2004 г.);
б - аналог концепт - автомобиля Audi из конструктора Lego; *в* – концепт сферических колес Eagle-360, 2016 г.; *г* – покрышка концепт сферических колес Eagle-360, 2016 г.;
д – мотоцикл на сферических колесах, 2012 г.

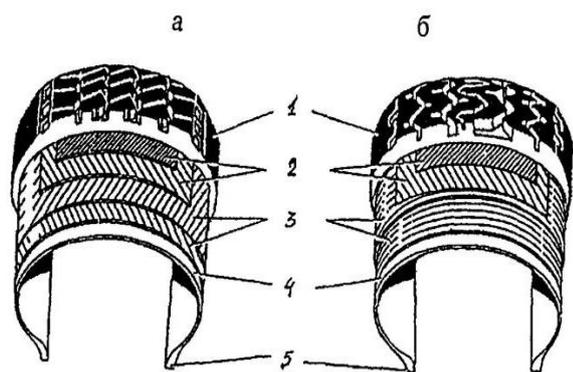


Рис. 11. Покрышки диагональной (а) и радиальной (б) конструкции

каркаса; 5 – борт. Наибольшее распространение сегодня имеют шины радиальной конструкции. На основании вышеприведенного описания типов колес и шин, их характеристик и составляющих можно предложить график изменения материалов колеса (рис. 12) – от первых глиняных и деревянных колес до современных колес космических аппаратов

Полученные данные могут быть использованы при проектировании математической модели непневматической шины по методикам, представленным в работах [12-63].

Переход к современным шинам начался с 1920–30-х годов, после усовершенствования технологии производства шин и появления искусственного каучука, в шинах появился корд - особо прочный слой из упругих текстильных нитей. В середине 50-х годов появилась новая разработка в конструкции шин: был создан жесткий пояс, состоящий из слоев металлокорда. Нити корда располагались радиально от борта до борта. Такие шины получили название радиальных (рис. 11).

У диагональных шин нити корда расположены диагонально. [11] На рис. 11: 1 – протектор и беговая дорожка; 2 – слой брекера; 3 – слой каркаса; 4 – резиновая прослойка

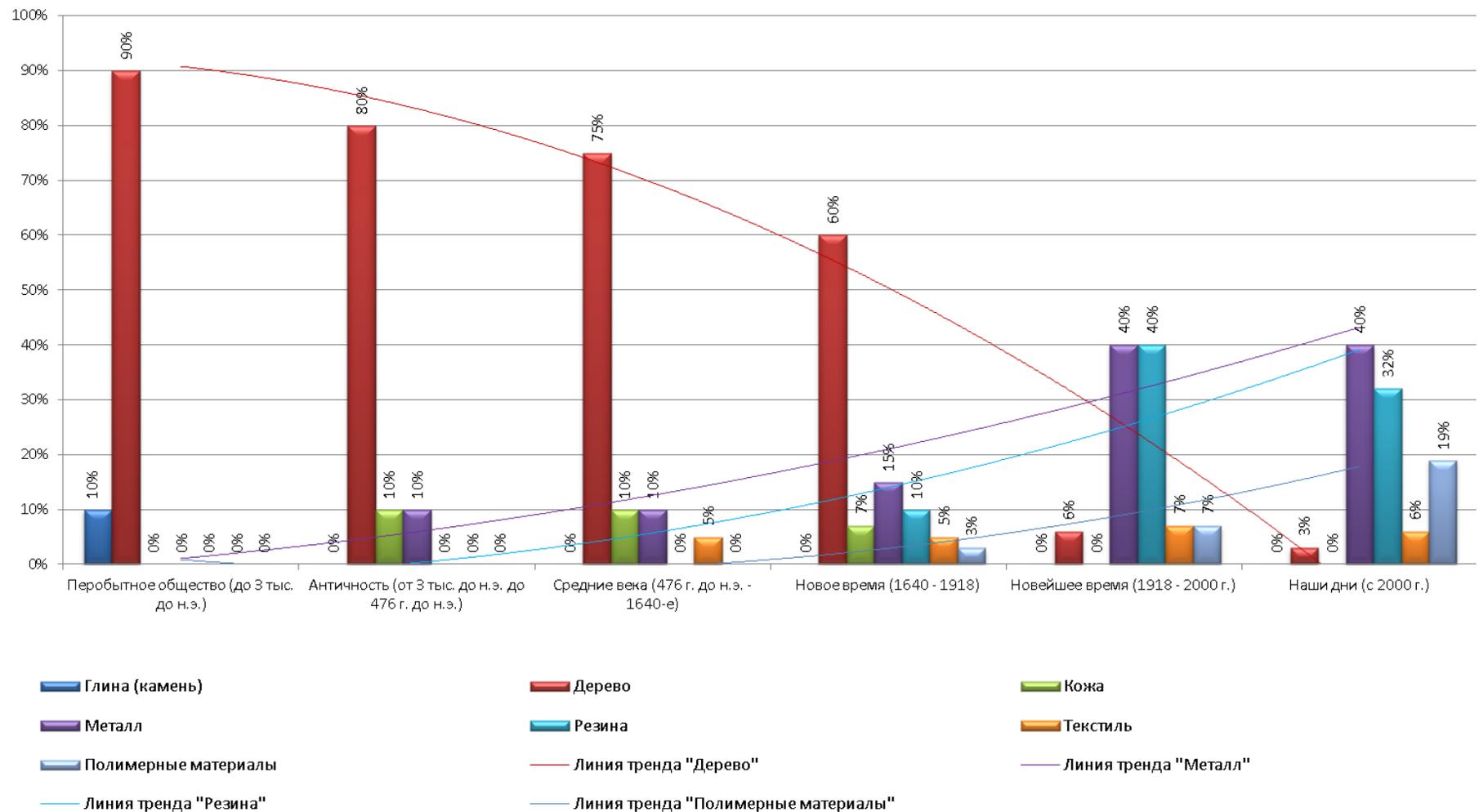


Рис. 12. Изменения материалов колеса от первобытного общества до наших дней

Библиографический список

1. **Михеев, А.В.** Оценка деформации колеса, оснащенного непневматической шиной при компьютерном моделировании вертикального статического нагружения / А.В. Михеев [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2015. – №2 (109). – С. 162–169.
2. **Добровольский, А.В.** Универсальная научно-популярная онлайн-энциклопедия. URL: http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/tehnologiya_i_promyshlennost/koleso.html. Дата доступа 28.03.2016.
3. История создания автомобильных шин. URL: <http://auto-history.jimdo.com>. Дата доступа 20.03.2016.
4. **Мазур, В.В.** Способы повышения живучести и безопасности автомобильных шин // Системы. Методы. Технологии. – 2009. – №1. – С. 41–45.
5. Бр – трактор Фордзон. URL: http://vsetanki.com/tank_info/128/. Дата доступа 05.04.2016.
6. **Peter Radziszewski, Sudarshan Martins.** Particulate Filled Wheel: pat. US20120223497 A1 The Royal Institution For The Advancement Of Learning/McGill University. 2012.
7. Непневматическая эластичная шина из 1920 года. URL: <http://strangernn.livejournal.com/1028345.html>. Дата доступа 25.03.2016.
8. Безвоздушные шины: конструкция, преимущества, недостатки, цены. URL: <http://krossovery.info/bezvozdushnye-shiny-konstrukciya-preimushhestva-nedostatki-ceny/>. Дата доступа 21.02.2016.
9. Сферические колеса на магнитной подвеске обеспечат маневренностью автомобиля – роботы будущих поколений. URL: <http://www.dailytechinfo.org/auto/7929-sfericheskie-kolesa-na-magnitnoy-podveske-obespechat-manevrennostyu-avtomobili-roboty-buduschih-pokoleniy.html/>. Дата доступа 21.03.2016.
10. **Еникеев, А.** Goodyear представила концепт сферических колес для беспилотных автомобилей. URL: <https://nplus1.ru/news/2016/03/03/sphericaltires>. Дата доступа 02.04.2016.
11. **Маргиева, Г.И.** Автомобильные шины вчера, сегодня, завтра // Международная научно-практическая конференция «Образование. Наука. Производство». – Т. 2. Промышленность и транспорт. – 2012. – С. 111–133.
12. **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.
13. **Мазур, В.В.** Автомобильная шина из эластичного полиуретана с упругими деформируемыми спицами: пат. 2397877 Российская Федерация. 2010.
14. **Мазур, В.В.** Упругое колесо транспортного средства: пат. 2335409 Российская Федерация. 2010.
15. **Енаев, А.А., Мазур В.В.** Колесо транспортного средства повышенной эластичности: пат. 2180290 Российская Федерация. 2002.
16. **Мазур, В.В.** Колесо транспортного средства с упругими спицами: пат. 2336178 Российская Федерация. 2010.
17. **Мазур, В.В., Енаев А.А.** Пресс-форма для изготовления колес из полимерных композиционных материалов: патент на полезную модель 79490 Российская Федерация. 2009.
18. **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.
19. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / Беляков В.В., 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.
20. **Беляков, В.В.** Подвижность наземных транспортно-технологических машин / Беляков В.В., Зезюлин Д.В., Колотилин В.Е., Макаров В.С. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 4. – С. 72–77.
21. **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.

22. **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.
23. **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.
24. **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., Редкозубов А.В. // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 113.
25. **Макаров, В.С.** Характер изменения снежного покрова как полотна пути с учетом неравномерности его залегания на местности / Макаров В.С., Папунин А.В., Зезюлин Д.В., Беляков В.В. // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. – С. 33.
26. **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.
27. **Макаров, В.С.** К вопросу выбора экспериментальных данных для составления статистических моделей снежного покрова как полотна пути для транспортно-технологических машин / Беляков В.В., Зезюлин Д.В., Колотилин В.Е., Макаров В.С., Федоренко А.В. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. № 1 (102). С. 136–141.
28. **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.
29. **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.
30. Полотно пути транспортно-технологических машин (справочные материалы к теории «машина - местность») / В.В. Беляков [и др.]; под общ. ред. В.В. Белякова и А.А. Куркина. – Нижний Новгород, 2014. – 447 с.
31. **Баракханов, Л. В.** Проходимость автомобиля / Л. В. Баракханов, В. В. Беляков, В.В. Кравец. – Н. Новгород: НГТУ, 1996. – 200 с.
32. **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.
33. **Папунин А.В., Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Беляков В.В.** О влиянии ландшафта местности на характеристики снежного покрова и на проходимость транспортных средств. Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. № 4 (106). С. 331-335.
34. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оптимизация в задачах подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов. – Н.Новгород, НГТУ, 2001. – 271 с.
35. **Папунин, А.В.** О влиянии характерных участков ландшафта местности подвижность транспортных средств / Папунин А.В., Редкозубов А.В., Беляков В.В. // Актуальные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях. 2014. – С. 112-113.
36. **Федоренко, А.В.** Анализ изменения плотности снежного покрова в зимний период / Федоренко А.В., Беляков В.В. // Актуальные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях. 2014. С. 140-142.
37. **Беляев, А.М.** Анализ изменения высот снежного покрова в зимний период / Беляев А.М., Беляков В.В. // В сборнике: Актуальные вопросы образования и науки сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях. – 2014. – С. 28-30.
38. **Гончаров, К.О.** Характер изменения жесткости, связности и угла внутреннего трения снега в зависимости от плотности и продолжительности залегания снежного покрова / Гончаров К.О., Беляков В.В. // Актуальные вопросы образования и науки сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях. – 2014. – С. 48–50.
39. **Макаров, В.С.** Анализ данных для составления статистических моделей снежного покрова

- как полотна пути для транспортных средств / Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Беляков В.В. // Актуальные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях. – 2014. – С. 96–97.
40. **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.
 41. **Папунин, А.В.** О влиянии ландшафта местности на характеристики снежного покрова и на проходимость транспортных средств / Папунин А.В., Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Беляков В.В. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. №4(106). – С. 331–335.
 42. **Редкозубов, А.В.** Математическая модель поверхности движения лесных дорог / Редкозубов А.В., Зезюлин Д.В., Макаров В.С., Беляков В.В. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – №4(106). – С. 348–352.
 43. **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.
 44. **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.
 45. **Макаров, В.С.** Учет особенностей ландшафта при построении характеристик снежного покрова в течение зимы / Макаров В.С., Папунин А.В., Зезюлин Д.В., Беляев А.М., Беляков В.В. // Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 8 частях. – 2013. – С. 87–88.
 46. **Михеев, А.В.** Оценка деформации колеса, оснащенного непневматической шиной при компьютерном моделировании вертикального статического нагружения / Михеев А.В., Беляков В.В., Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Кострова З.А. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2015. – №2(109). – С. 162–169.
 47. **Зубов, П.П.** Обзор существующих конструкций сочлененных гусеничных машин и рекомендации по выбору их параметров / Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Зубов П.П., Беляков В.В., Колотилин В.Е., Куркин А.А. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева 2015. – №2(109). – С. 170–176.
 48. **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.
 49. **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.
 50. **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.
 51. **Зезюлин, Д.В.** К вопросу определения эффективности транспортных средств в зимний период / 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. 74–75.
 52. **Куркин, А.А.** Новые тенденции в обследовании цунами / Куркин А.А., Пелиновский Е.Н., Беляков В.В., Макаров В.С., Зезюлин Д.В. // Экологические системы и приборы. – 2014. – № 12. – С. 40–55.
 53. **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.
 54. **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.
 55. **Тесленко, Д.С.** Использование метода конечных элементов для решения задач террамеханики / Тесленко Д.С., Беляков В.В., Макаров В.С., Зезюлин Д.В. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – №5. – С. 52-58.
 56. **Беляков, В.В.** Шасси робототехнического комплекса мониторинга прибрежной зоны / Беляков В.В., Куркин А.А., Зезюлин Д.В., Макаров В.С. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. №4(106). С. – 353–357.

57. **Папунин, А.В.** Оценка проходимости колесных машин с учетом изменчивости характеристик снежного покрова в течение зимы / Папунин А.В., Макаров В.С., Беляков В.В. // Наука и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 34 частях. – 2013. – С. 115–116.
58. **Зезюлин, Д.В.** Метод повышения эффективности движения колесных машин по снегу путем выбора рациональных параметров движителей / Зезюлин Д.В., Макаров В.С., Беляков В.В., Вахидов У.Ш. // Фундаментальные исследования. 2013. №10-6. – С. 1203–1208.
59. **Колотилин, В.Е.** Статистическая модель выбора геометрических параметров, массово – инерционных и мощностных характеристик транспортно – технологических машин на роторно – винтовых движителях. / Колотилин В.Е., Михеев А.В., Береснев П.О., Беляев А.М., Папунин А.В., Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Беляков В.В., Куркин А.А. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2015. – №3(110). – С. 156–208.
60. **Новоженков, В.А.** Чудо коммуникаций и древнейший колесный транспорт Евразии / В.А. Новоженков; под ред. Е. Е. Кузьминой. – М.: Таус, 2012. – 500 с.
61. **Береснев, П.О.** Статистическая модель выбора геометрических параметров, массогабаритных, мощностных и скоростных характеристик гусеничных транспортно-технологических машин / Береснев П.О., Филатов В.И., Еремин А.А., Беляев А.М., Папунин А.В., Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Колотилин В.Е., Беляков В.В., Куркин А.А. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2016. – №1(112). – С. 109–164.
62. **Клубничкин, В.Е.** Моделирование движения гусеничных машин по лесным дорогам / Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е., Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Редкозубов А.В., Беляков В.В. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2016. – №1(112). – С. 171–176.
63. **Береснев, П.О.** Статистическая модель выбора геометрических параметров, массоинерционных, мощностных и скоростных характеристик многоосных колесных транспортно-технологических машин / Береснев П.О., Михеев А.В., Беляев А.М., Папунин А.В., Кострова З.А., Колотилин В.Е., Еремин А.А., Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Беляков В.В., Куркин А.А. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2015. №4 (111). – С. 136–150.

*Дата поступления
в редакцию 29.04.2016*

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

**HISTORICAL ENGINEERING CHANGE OF THE WHEEL
AS A PROP – TRACTIVE SYSTEM OF ELEMENTS OF A VEHICLES MOVER
IN THE ASPECT OF USING MATERIALS**

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

This article describes the engineering change of the wheel as a system of elements - from the first wooden rinks to the developments of polymers chemistry - non-pneumatic (airless) tires, and changes of each component of the wheels in a historical context also. The aim of this reserch is systematization of the information about the causes and preconditions of changing of the material elements of the wheel depending on the changing requirements of the external environment, depending on the technological progress and the impact of these changes on technological progress.

Key words: the wheel, the engineering change of the elements of the wheel, disc wheel, spoke wheel, the first pneumatic tire, wooden wheel, pair of wheels, a vehicle wheel pair, a steam machine Cuneo, Richard Tretvik, pneumatic tyre, metal tyre, hub, disc, treadmill, metallelastic wheels, sprung wheel, Fordson, granulated wheels, airless tire, Lambert's tire, radial and diagonal tyres, spherical wheel, magnetic suspension, wheel Rovers, the Rovers wheel, non-pneumatic (airless) tires.