

Таким образом, в данном эксперименте доля теплоты, отводимой заготовкой, составляет 19 %, а доля теплоты, отводимой стружкой, составляет 7 %.

## Библиографический список

1. Моисеев А.В. Контактные явления в микрообласти лезвия при резании древесины и их влияние на природу затупления инструмента: авт. дис. ... докт. техн. наук. М., 1981. 36 с.
2. Конов В.Н. Исследование влияния тепловых явлений на работоспособность круглых дереворежущих пил: авт. дис. ... канд. техн. наук. СПб: СПбЛТА, 1979. 26 с.
3. Лейхтлинг Р.А. Исследование нагрева дереворежущего инструмента в процессе резания: авт. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск: Сибирский технолог. ин-т, 1967. 23 с.
4. Пашков В.К. Теплофизика резания древесины круглыми пилами: монография. Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. 311 с.
5. Пашков В.К., Щепочкин С.В. О тепловом балансе процесса резания древесины круглыми пилами // Известия вузов. Лесной журнал. 2009. № 3. С. 101–107.
6. Пашков В.К., Щепочкин С.В. Измерительная система для регистрации температурных полей зуба пилы // Сборник научных трудов факультета МТД. Вып. 1. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. С. 116–119.
7. Уголев В.Н. Испытания древесины и древесных материалов. М.: Лесн. пром-ть, 1965. 251 с.

УДК 629.11.02+630

**С.Б. Якимович, А.В. Мехренцев, М.А. Тетерина**  
(S.B. Yakimovich, A.V. Mekhrencev, M.A. Teterina)  
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

E-mail для связи с авторами: jak.55@mail.ru, mehrentsev@yandex.ru,  
tetatet-marya@mail.ru

## **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ НА ПРИНЦИПЕ СОВМЕЩЕННОГО ШАГОВИБРОКАЧЕНИЯ**

### **MULTIFUNCTIONAL MOVER ON THE PRINCIPLE OF COMBINED SEGAVERELINE**

*Представлено описание принципа совмещенного шаговиброкачения и движителя с универсальной дорожной и внедорожной опорно-геометрической проходимостью, реализующего наиболее экономичный режим по удельному расходу топлива и сниженную экологическую нагрузку.*

*The description of the principle of combined aguirregaray and propulsion from versatile road and off-road support-geometric permeability, implementing the most economical mode in terms of specific fuel consumption and reduced environmental load.*

Цель работы – представление принципа шаговиброкачения и нового движителя с универсальной дорожной и внедорожной опорно-геометрической проходимостью для различных микрорельефов и несущих способностей опорных поверхностей. Принцип реализует наиболее экономичный режим удельного расхода топлива и сниженную экологическую нагрузку на природу.

## *Описание проблемы, обоснование актуальности*

Научно-инженерная проблема здесь определяется следующим противоречием: наличие специализированных однофункциональных движителей качения, шагания и виброперемещения, с одной стороны, и опорных поверхностей различного типа, которые представлены в дискретно-непрерывном спектре стохастических природных и техногенных почвенно-грунтовых условиях и микрорельефах, с другой.

Для каждого вида поверхности по критериям опорной и геометрической проходимости реализуется отдельный соответствующий принцип движения, который совершенно непригоден для иных поверхностей. Снятие изложенной проблемы обеспечивается разработкой многофункционального и многорежимного движителя с практически мгновенными переходами между режимами – аналогичного однофункциональному по энергомассовым и размерным параметрам; описанием и объяснением основных явлений, в том числе и возможной самосинхронизации при шаговиброкачении связанных колес; исследованием переходных процессов шаговиброкачения. Изложенная научная проблема снимается разработкой метода параметрического синтеза многофункциональных движителей для различных природных и техногенных опорных поверхностей. Инженерная проблема здесь формулируется следующим образом: параметрический синтез и создание многофункционального энергосберегающего движителя аналогичного однофункциональному по энергомассовым и размерным параметрам (в соответствии с требованиями к дорожной и внедорожной опорной и геометрической проходимости).

Потребность в подобных движителях и транспортных средствах на их основе достаточно велика [1, 2] в оборонной, нефтегазовой, лесопромышленной отраслях, в сельском и лесном хозяйстве и др. Они нужны с целью обеспечения минимальных затрат на доставку персонала, грузов и продукции без дополнительных перевалок при смене видов опорной и геометрической поверхности, для снижения негативных последствий воздействия существующих движителей на природные опорные поверхности и обеспечения транспортной подвижности населения и грузов в удаленных малодоступных северных, северо-восточных и других районах России. Более того, природно-климатические условия России накладывают определенный отпечаток на развитие автотранспортных средств и, соответственно, их движителей.

Существующие средства высокой проходимости, предназначенные для движения по дорогам низкого качества и бездорожью, имеют пределы проходимости, и им недоступны многие северные районы страны и местности Крайнего Севера и Арктики. Кроме того, они наносят значительный экологический ущерб на многие годы слабым грунтам тундры и Крайнего Севера, которые обладают низкой репродуктивной способностью (по этой причине, например, во многих регионах запрещено использование гусеничной техники).

Анализ современных тенденций развития в области научных исследований и создания новых видов транспорта основан на следующих документах:

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р.

2. Долгосрочный прогноз научно-технологического развития Российской Федерации (до 2025 года) от Минобрнауки России (2008 г.).

3. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года от Минобрнауки России (2013 г.).

4. Долгосрочный прогноз научно-технологического развития России: 2030 (М.: НИУ ВШЭ, 2013 г.).

5. Долгосрочные приоритеты прикладной науки в России (М.: НИУ ВШЭ, 2013 г.).

6. Предложения по приоритетным направлениям развития сферы исследований и разработок в тематической области «Транспортные и космические системы» государственной программы РФ «Развитие науки и технологий» на 2013–2020 годы (М., ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2013 г.).

7. Предложения по приоритетным направлениям развития сферы исследований и разработок в тематической области «Рациональное природопользование» государственной программы РФ «Развитие науки и технологий» на 2013–2020 годы (М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2013 г.).

8. Аналитическое резюме по результатам работы сети отраслевых центров прогнозирования за 2013 г. по направлению «Транспортные и космические системы» (М.: МАТИ, 2013 г.).

9. Федеральная целевая программа «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)» с изм., внесенными распоряжениями Правительства РФ от 21.10.2004 г. № 1355-р и 21.04.2006 г. № 553-р, постановлениями Правительства РФ от 21.12.2009 г. № 1035 и 22.12.2010 г. № 1088.

Рассматриваемая тематика актуальна в приоритетных областях научных исследований: перспективные транспортные средства, технологии снижения вредного воздействия транспорта на окружающую среду, технологии обеспечения безопасного движения в сложных условиях.

Современное состояние исследований в данной области науки разделяется на отдельные направления, которые описывают, объясняют и разрабатывают системы управления в отдельных областях знаний по колесным, шагающим, колесно-шагающим движителям и вибрационным перемещениям.

Однако в изложенных направлениях рассматриваются не теория и конструкции шагающего колеса, а теория рычажных конструкций движителей (тандемные тележки и пр.), для которых при переходе в режим шагания колеса служат опорами «ног» или рычажных конструкций механизма шагания. Иначе, здесь рассматривается колесные движители, которые трансформируются в шагающие на основе различных рычажных схем и использующие в качестве опоры колеса транспортного средства.

Вибродвижители как таковые представлены различными патентами на изобретения. Теория подобных движителей находится в стадии разработки. Однако имеется теория виброперемещения, которая описывает и объясняет различные способы движения грузов, большей частью сыпучих посредством транспортеров на виброэффекте (см., например, Блехман И.И. Вибрационная механика. Научное издание. М.: Физматлит, 1994. 400 с).

На основе проведенного анализа информационных источников в представленных областях знания установлено:

1) способ и устройство (многофункциональное колесо), реализующие совмещение функций качения, шагания и виброкачения в пространстве сдвоенного колеса, а также обеспечивающие минимальное время при переходах между режимами, являются новыми и в мировой практике не обнаружены;

2) явления переходных процессов от качения к виброкачению или шаганию и наоборот не получили своего описания, объяснения и управления в РФ и за рубежом;

3) новое явление виброкачения, определяемое совмещенными в пространстве и времени процессами качения и вибраций, обнаружено впервые, и необходимо определение сфер его применения в условиях стохастической природной и техногенной неопределённости почвогрунтов и снега;

4) гипотеза эффекта самосинхронизации при виброкачении связанных колес требует экспериментального подтверждения или отклонения, и при положительном результате обеспечит снижение кинематических связей двигателя транспортного средства.

На основании краткого анализа следует вывод, что предлагаемый проект на основе патента на изобретение является поставленной новой научно-технической задачей; требует применения нового метода параметрического синтеза и патентования новых технических решений в виде изобретений.

В мировой практике в области колесного транспорта для различных отраслей экономики наметились следующие тенденции в виде вызовов и угроз: рост ограничений по провозной способности, значительная доля транспортных затрат в себестоимости продукции 15–20 % против 7–8 % в странах с развитой рыночной экономикой, негативное воздействие транспорта на окружающую среду.

Для устранения подобных явлений предлагается решить следующие задачи:

1) создание инновационного шагающего двигателя транспортно-технологических машин многоотраслевого назначения;

2) создание эффективных конструкций транспортных систем с двигателями внутреннего сгорания;

3) развить рынок грузовых автомобилей высокой проходимости грузоподъемностью 5–8 т, востребованными для регионов со сложными природно-климатическими условиями эксплуатации, а также в оборонных целях России и ряда стран;

4) развитие экологически чистого транспорта;

5) обеспечить транспортом территории Сибири и Дальнего Востока и разработать новые месторождений полезных ископаемых;

6) обеспечить ускорение товародвижения и снижение транспортных издержек в экономике;

7) повысить транспортную подвижность населения к 2020 году в 1,8 раза;

8) провести комплексную модернизацию всей транспортной отрасли, радикальное изменение принципов построения, функционирования и взаимодействия систем, внедрить передовые технологии;

9) развитие и увеличение доли техники и технологий, позволяющих минимизировать неблагоприятное воздействие на природную среду.

Создание многофункционального двигателя (шаговиброката) [3] позволит реализовать перечисленные задачи в области транспорта и рационального природопользования для перечисленных выше отраслей экономики. В частности, это позволит снизить негативное воздействие колесного транспорта на окружающую среду (уплотнение и повреждение почв и опорных поверхностей) на 11–17 %, повысить экономичность в оборонном и лесопромышленном комплексе [4, 5], повысить энергоэффективность [6] (за счет исключения дополнительных перевалок грузов и буксования, повышения проходимости) на 20 %.

Данный двигатель представляет собой стандартный мост с двумя спаренными колесами (рис. 1, 2). Спаренные колеса имеют возможность сдвигаться друг относительно друга по радиусу на различные расстояния (в пределах половины диаметра обода) и фиксироваться в таком положении. Фиксация обеспечивается благодаря наличию на ободе каждого из колес цилиндрических выступов, расстояние между которыми равно диаметру выступа.

Двигатель работает в режимах качения, шагания и виброкачения. Рассмотрим эти режимы на примере одного спаренного (двухскатного) колеса. При работе в режиме качения (см. рис. 1, а) внутренний и внешний ободья двухскатного колеса расположены соосно, и крутящий момент передается от приводного вала на внутренний обод

двухскатного колеса. При этом цилиндрические выступы, расположенные по максимальному радиусу на внутреннем и внешнем ободьях колес, находятся в зацеплении друг с другом, передают крутящий момент с внутреннего обода на внешний обод двухскатного колеса, и движитель работает как обычное двухскатное колесо.

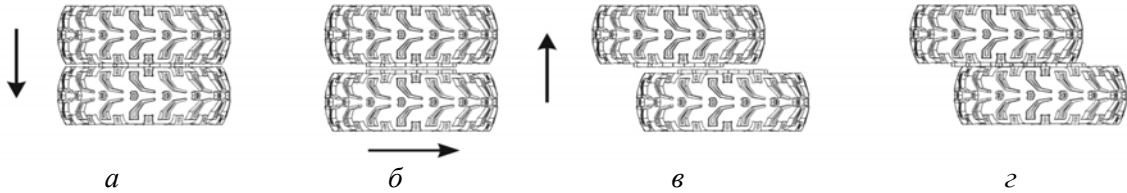


Рис. 1. Схема движителя с изменяемыми режимами его работы

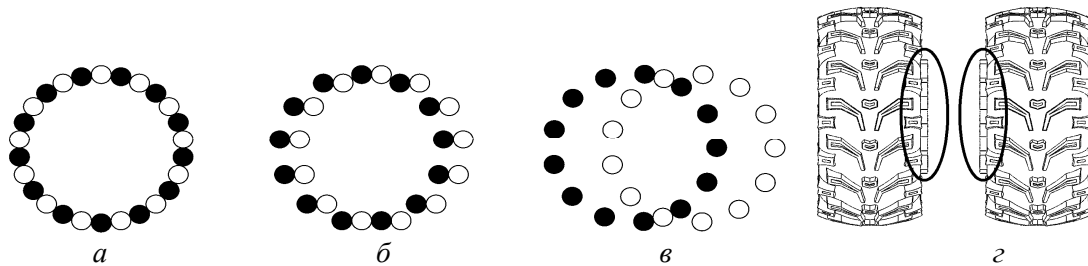


Рис. 2. Расположение несущих элементов:  
 а, б, в – относительные положения цилиндрических выступов внутреннего и внешнего колеса соответственно при режиме качения, вибрации и шагания с поднятием корпуса;  
 г – место размещения цилиндрических выступов на сдвоенном колесе

Изменение режима работы движителя происходит следующим образом (см. рис. 1, б–г). Внутренний и внешний ободья двухскатного колеса перемещаются в осевом направлении друг от друга по вертикальной стрелке (см. рис. 1, б). Когда величина этого перемещения достигает значения, при котором цилиндрические выступы выходят из зацепления друг с другом, внешний обод двухскатного колеса перемещается радиально, по горизонтальной стрелке относительно внутреннего, и по достижении требуемой величины смещения блокируется от дальнейшего смещения. Далее происходит осевое перемещение внешнего обода двухскатного колеса по направлению к внутреннему ободу (см. рис. 1, в). При этом цилиндрические выступы полностью входят в зацепление друг с другом и фиксируют положение соединенных радиально относительно друг друга внутреннего и внешнего ободьев двухскатного колеса. Передача крутящего момента на внутренний обод (рис. 2) обеспечивает функционирование движителя в режиме виброкачения или шагания с поднятием корпуса транспортного средства (рис. 3).

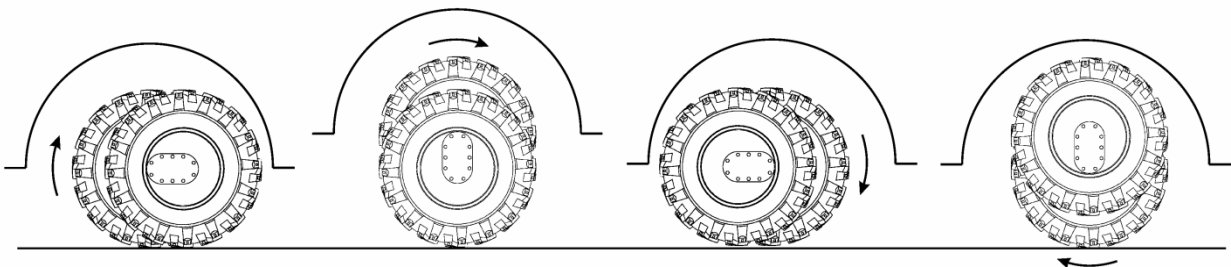


Рис. 3. Режим шагания или виброкачения с поднятием корпуса транспортного средства

С целью осуществления режима шагания с поднятием корпуса автомобиля или режима виброкачения сдвоенным колесом необходимо наличие в конструкции двигателя двух элементов: механизма смены режима работы двигателя и несущей конструкции, обеспечивающей жесткость во время поднятия корпуса машины при работе в режиме шагания.

В качестве несущего элемента в шаговиброкате используются два одинаковых круговых массива цилиндрических выступов, расположенных по периметру ободьев на сопрягаемых поверхностях каждого из колес, образующих сдвоенное колесо (см. рис. 2), расстояние между соседними выступами в которых равно диаметру одного выступа. В этой системе несущих элементов механизм смены режимов последовательно осуществляет как в прямом, так и в обратном направлении следующие операции:

1) разъединение колес вдоль оси их вращения до выхода несущих элементов из контакта друг с другом;

2) радиальное относительное смещение колес на величину диаметра одного выступа для режима вибрации или на треть диаметра обода для режима шагания;

3) соединение колес вдоль оси вращения до полного входа несущих элементов в контакт друг с другом.

Для реализации первой и третьей операций используется соединение типа «винт – гайка». При этом гайка располагается на диске внутреннего колеса, а винт связан с диском внешнего колеса (рис. 4).

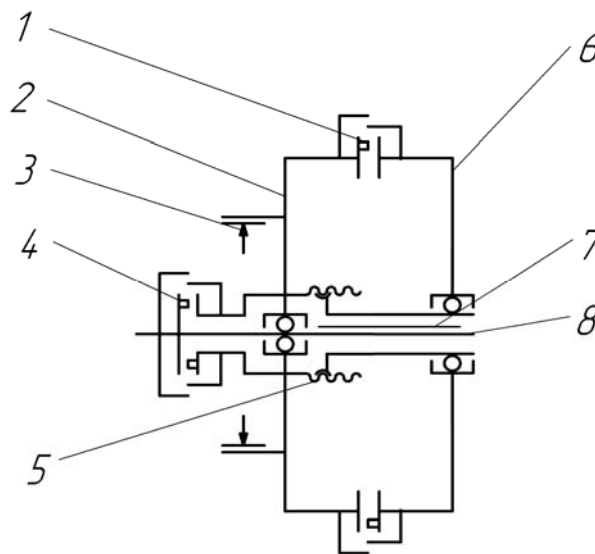


Рис. 4. Кинематическая схема механизма разъединения колес вдоль оси их вращения:

- 1 – круговые массивы цилиндрических несущих элементов; 2 – диск внутреннего колеса;
- 3 – тормоз рабочей тормозной системы автомобиля; 4 – муфта синхронизации;
- 5 – соединение «винт – гайка»; 6 – диск внешнего колеса;
- 7 – подвижное шлицевое соединение

Данная конструкция позволяет задействовать для смены режима работы двигателя рабочую тормозную систему автомобиля и вращающий момент от полуоси. Разъединение колес происходит следующим образом: отключается муфта синхронизации 4 и включается тормоз рабочей тормозной системы 3. Поскольку в таком случае ничто не препятствует относительному вращению приводной полуоси и внутреннего колеса, то вращающий момент от полуоси, передаваясь через подвижное шлицевое соединение 7, приводит в движение соединение «винт – гайка», которое раздвигает колеса до выхода

из контакта друг с другом цилиндрических выступов *1*. Аналогичным образом при вращении полуоси в обратном направлении происходит соединение колес.

Для смещения колес в радиальном направлении используется реечная передача (рис. 5). Такой подход определяет возможность использования для смены режима вращающий момент полуоси и ограничится одной пневмолинией для привода дополнительного тормоза и механизма реечной передачи, что дает возможность задействовать для этой цели пневмолинию системы регулирования давления в шинах.

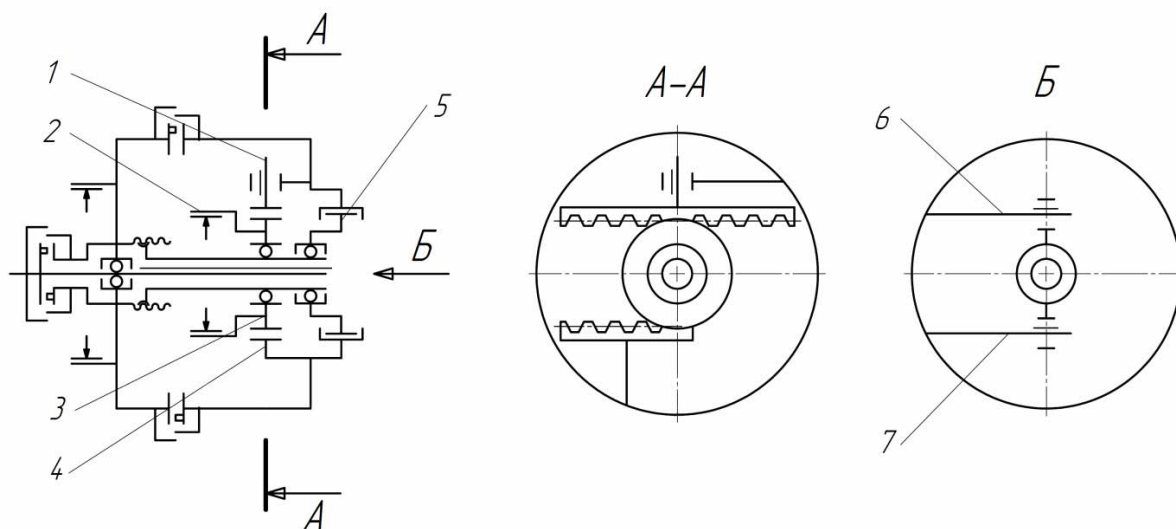


Рис. 5. Кинематическая схема движителя:

- 1 – подвижная рейка; 2 – дополнительное тормозное устройство;
- 3 – зубчатое колесо; 4 – неподвижная рейка; 5 – ползун;
- 6, 7 – верхняя и нижняя направляющие

Радиальное смещение внешнего колеса происходит следующим образом. После разъединения колес вдоль оси их вращения при вращении приводной полуоси, отпущенном тормозе рабочей тормозной системы и отключенной муфте синхронизации (см. рис. 4) производится одновременное включение дополнительного тормозного устройства 2. Оно приводит в движение зубчатое колесо 3 и поднимает подвижную рейку 1. При этом зубчатое колесо начинает перекапываться по неподвижной рейке 4, двигая ползун 5 по направляющим 6 и 7. По достижении требуемой величины смещения дополнительное тормозное устройство 2 отключается. Одновременно с этим подвижная рейка опускается на зубчатое колесо, фиксируя его положение. Представленная кинематическая схема (рис. 5) способна обеспечить работу движителя, как в режиме качения, так и в режимах вибрации и шагания с поднятием корпуса, а также предусматривает смену режимов работы движителя автоматически или водителем из кабины. Данный движитель может быть установлен как на заднюю, так и на все оси полноприводного автомобиля. Методика расчета нагрузок и мощности привода движителя представлены в работе [7].

#### Выводы

Выявлено противоречие – наличие специализированных однофункциональных движителей качения, шагания и виброперемещения, с одной стороны, и присутствие опорных поверхностей различного типа, которые представлены в дискретно-непрерывном спектре стохастических природных и техногенных почвенно-грунтовых условий и микрорельефов, с другой.

Установлено, что для каждого вида поверхности по критериям опорной и геометрической проходимости реализуется отдельный соответствующий принцип движения, который совершенно непригоден для иных поверхностей.

Выявленное противоречие снимается посредством принципа совмещенного шаговиброкачения, который позволяет реализовать многофункциональный движитель. Это шаговиброкат с универсальной дорожной и внедорожной опорно-геометрической проходимостью, с наиболее экономичным режимом по удельному расходу топлива и минимальной экологической нагрузкой (за счет снижения потерь времени на буксование). А это подразумевает минимальное уплотнение и повреждение почв и опорных поверхностей, повышение проходимости, исключение дополнительных перевалок грузов, функционирование движителя в режиме качения, вибрации и шагания, а также возможность смены режимов обеспечивается наличием механизма практически мгновенной смены режима работы и несущей конструкции, обеспечивающей жесткость во время поднятия корпуса машины.

Таким образом, многофункциональный движитель (шаговиброкат) позволяет снизить негативное воздействие колесного транспорта на окружающую среду (уплотнение и повреждение почв и опорных поверхностей) на 11–17 %, повысить экономичность и энергоэффективность на 20 % за счет исключения дополнительных перевалок грузов, буксования и повышения проходимости.

## Библиографический список

1. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года (с изменениями на 11 июня 2014 года): распоряжение Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902132678>.
2. Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы) с изм., внесенными распоряжениями Правительства РФ от 21.10.2004 № 1355-р, от 21.04.2006 № 553-р, постановлениями Правительства РФ от 21.12.2009 № 1035, от 22.12.2010 № 1088: федеральная целевая программа. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902253193>.
3. Шаговиброкат: пат. 2522215 РФ / С.Б. Якимович, К.С. Якимович, А.М. Столяров, А.В. Мехренцев, Э.Ф. Герц, М.А. Тетерина. № 2012154528/11; заявл. 14.12.2012; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 19. 9 с.: 5 ил.
4. Якимович С.Б., Тетерина М.А. Синхронизация обрабатывающе-транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины. Йошкар-Ола.: Изд-во Марийского гос. техн. ун-та, 2011. 201 с.
5. Якимович С.Б., Тетерина М.А. Управление схемами работы машин в обрабатывающе-транспортных лесозаготовительных системах // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. М.: МГУЛ, 2010. № 5 (74). С. 78–826. Редькин А.К., Якимович С.Б. Способ моделирования и проектирования технологических процессов лесопромышленного комплекса // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. М.: МГУЛ, 2000. № 4. С. 55–70.
7. Якимович С.Б., Мехренцев А.В., Тетерина М.А. Многофункциональный движитель для различных микрорельефов и несущих способностей опорных поверхностей // Ремонт. Восстановление. Модернизация. М.: Наука и технологии, 2016. № 11. С. 41–47.