

УДК 629.11.012

МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ПРОХОДИМОСТИ ВЕЗДЕХОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛАСТОМЕХАНИЧЕСКИХ ДВИЖИТЕЛЕЙ

В. Н. Наумов, д. т. н., проф., К. Е. Бяков, асп., Д. А. Чижов, к. т. н., доц. / МГТУ им. Н. Э. Баумана
О. М. Лурье, асп. / Институт Хайнца Никсдорфа (Падерборн, Германия)

Проблема улучшения проходимости, то есть способности безостановочно и достаточно эффективно передвигаться по различным типам грунтов, всегда играла решающую роль при проектировании вездеходных транспортных средств. Процесс взаимодействия движителя с грунтом, результат которого составляет основное содержание понятия «проходимость», относится к многокритериальным задачам. Возможность передвижения любого транспортного средства определяется двумя свойствами среды: её несущей способностью и сопротивлением деформации. Несущая способность среды характеризуется её физико-химическими свойствами в момент взаимодействия с опорной поверхностью машины. Сопротивление грунта деформации как фактор, обеспечивающий тяговую функцию движителя, также зависит от свойств грунта в месте и в момент контакта с движителем. Если сцепление и внутреннее трение между частицами среды достаточно велики, то возникающие под действием приложенных со стороны движителя машины силы деформации являются упругими и среда не разрушается. Третья функция движителя — восприятие неровностей грунта и гашение колебаний машины, вызванных движением по неровностям, — требует, чтобы ходовая часть представляла собой упругую среду с регулируемым (управляемым) внутренним трением. Обеспечение хорошей проходимости может быть достигнуто только при условии непрерывной оптимизации процесса решения многофакторной задачи хотя бы по трём перечисленным выше функциям [1].

Имеющиеся на данный момент решения этой задачи достигнуты лишь для специализированных движителей для определённой среды. Основная причина этого явления состоит в том, что в большинстве существующих конструкций управление проходимостью либо заранее жёстко заложено в конструктивных показателях движителя и в процессе движения машины изменяться не может, либо изменяется в диапазоне, значительно меньшем, чем это требуется в действительности. Проведённые А. И. Бескиным работы по исследованию движителей

бездорожного транспорта показали, что обычное колесо не может дать приемлемых показателей при движении по бездорожью [1]. Даже для движения автомобилей по дорогам с твёрдым покрытием пришлось отказаться от круглого колеса и перейти к колесу с пневмошиной, форма которого весьма далека от окружности, несмотря на попытки описать её несколькими радиусами. Подобные же попытки улучшения проходимости за счёт использования эластопневматических элементов предпринимались и по отношению к гусеничному движителю.

Так, в шестидесятые годы в создании вездеходной техники появились новые концепции нетрадиционного перемещения по твёрдой и водной поверхностям, преодоления неровностей и препятствий за счёт совмещения мягкого колёсного движителя на пневмошинах и гусеничного шасси. Одним из наиболее показательных примеров является спроектированный в 1961 году в США [2] движитель типа «Аэрол» с подвижными пневмокатками. Его можно рассматривать в качестве колёсно-гусеничного движителя в режиме скольжения корпуса по каткам.

В данной конструкции сделан первый шаг для перехода от стандартных вездеходов с гусеничным шасси к пневматической оболочке (набор пневмокатков) для совмещения мягкости движения колёсного шасси и проходимости гусеничного. Вес машины воспринимался непосредственно корпусом, лежащим на свободно вращающихся вокруг своих осей пневмокатках. При движении на ровных участках катки не углублялись в грунт, а прокатывались под днищем. При движении по болоту, снегу, рыхлому и сыпучему грунтам, когда катки заглублялись, трение между дном корпуса и опорными пневмокатками становилось меньше трения катка о грунт, вращение катков прекращалось, они становились грунтозацепами, как у обычной гусеничной машины [2].

Запас силы тяги по сцеплению у данного типа движителя был выше, чем у обычного гусеничного шасси, поскольку колёса могли погружаться на любую глубину без ущерба для машины, тем самым увеличивая массу грунта, которую нужно сдвигать по поверхностям значительных размеров. Вместе с тем потери энергии внутри движителя были больше, нежели у колёсного или гусеничного, из-за значительного трения корпуса о поверхность колёс.

В СССР данный тип движителя был исследован на машине ПКЦ-1, спроектированной в СКБ ЗиЛа совместно с кафедрой К-3 МВТУ им. Н. Э. Баумана и НИИ шинной промышленности (НИИШП). Было установлено, что, кроме больших затрат энергии на перемещение в гусеничном режиме, недостатками «Аэрола» являлись громоздкость и сложность обеспечения плавности хода из-за отсутствия эластичной подвески и амортизаторов. В силу этих причин он не нашёл широкого применения. В настоящее время попытки отремонтировать единственный уцелевший экспериментальный советский вездеход



Рисунок 1. «Аэрол» — вездеход XM-759. США, 1965 год



Рисунок 2.
Castoro Lombardini [3]



Рисунок 3. Движитель НАМИ-С-4 на автомобиле УАЗ [5]



Рисунок 4. Экспериментальная тележка НИЦИАМТ образца 2004 года на торовых движителях [7]

Зил-3906 «Аэрол» предпринимается на кафедре автомобилей и двигателей МГИУ.

Более радикальным способом объединения эластичной оболочки и гусеничного движителя являются транспортные средства с гусеницей из цельной резинокордовой оболочки [3]. В 1961 году на I Международной конференции по проходимости, состоявшейся в Турине, итальянский авиаконструктор Джованни Бонмартини продемонстрировал лёгкий трактор Castoro Lombardini, названный так потому, что внутренняя поверхность гусеницы периодически обрызгивалась касторовым маслом из специальной помпы для уменьшения вероятности спадания гусениц при повороте. Трактор развивал скорость до 70 км/ч, а коэффициент сцепления пневмогусеницы был на 10–15 % выше, чем у обычных металлических, и на 25 % выше, чем у автомобильного колеса. Это достигалось благодаря «объёмному» контакту шасси с опорной поверхностью, снижающему к тому же удельное давление. Кроме того, пневмогусеничный движитель способен был реализовать большую силу тяги на слабых грунтах и на снегу.

Следует отметить, что первым запатентовал пневматическую гусеницу Л. Рено в 1918 году. В СССР патент на подобный тип движителя был получен в 1925 году Н. С. Ветчинкиным [4]. Сама идея пневматической резинокордовой гусеницы возникла из стремления конструкторов избежать недостатков, присущих как пневмокатам низкого давления, так и обычным ленточным гусеницам. Таким образом, пневмогусеница явилась логическим развитием колёсных и гусеничных движителей. Под эластичной пневматической гусеницей следует понимать замкнутую оболочку (или совокупность таких оболочек, что подводит под данное определение и упомянутый выше «Аэрол») с избыточным внутренним давлением воз-

духа, функционально заменяющую гусеничную цепь. Однополостные и многополостные пневмогусеницы отличаются своей бесшумностью перемотки в сочетании с равномерной эпюрой удельных давлений на грунт. Такая гусеница была разработана специально для замены традиционных стальных гусениц на серийных гусеничных транспортных [5].

Анализ предполагаемых новых, присущих только подобному типу шасси качеств вкпе с рассмотрением запатентованных конструкций движителей определил основные направления исследований по созданию движителя подобного типа. В нашей стране конструкторские разработки и экспериментальные исследования выполнялись коллективом отдела автомобилей высокой проходимости НАМИ в сотрудничестве с МВТУ им. Баумана, специалисты которого не только участвовали в самих исследованиях, но и помогали комплектовать штат исследовательского подразделения своими наиболее подготовленными выпускниками. Расчёт технологии и изготовление движителя производились коллективом Ленинградского шинного завода.

Дальнейшее развитие пневмогусеницы — движитель с «сотовой» пневмогусеницей, где наличие «сот» повышало поперечную жёсткость профиля и уменьшало потери на перематывание. Поперечные трубки служили мощными грунтозацепами, а впадины обеспечивали уплотнение рыхлого грунта и снега без выдавливания его из зоны деформации.

Можно заметить, что приведённые выше способы улучшения традиционных движителей основывались на использовании элементов эластопневматической механики. Основным конструктивным элементом данного направления техники является заполненная рабочей средой пневмоэластичная оболочка, которая под воздействием внешних

и (или) внутренних сил постоянно и непрерывно ищет своё равнонапряжённое состояние. В ходе этого поиска происходит высокоэффективное преобразование энергии рабочей среды, заключённой в оболочку, в движение [6]. Однако перманентные попытки совершенствования ранее созданных аппаратов оригинальных конструкций колёсного и гусеничного движителя с использованием последних достижений в области новых пневмоэластичных технологий и материалов показали на практике наличие ограничений, накладываемых конструкцией традиционных шасси.

А. И. Бескиным был проведён математический анализ форм кривых с целью отыскания таких, которые обладали бы требуемыми для движителей бездорожного транспорта показателями [1]. Результаты анализа привели к выводу о том, что кривые второго порядка (к которым относится и окружность колеса) для создания движителей бездорожного транспорта малоприменимы. То же относится и к кривым третьего порядка. Среди кривых четвёртого порядка внимание исследователей было привлечено овалами Кассини как обладающими широким диапазоном изменения показателей, а следовательно и универсальностью. Экспериментальная проверка, проведённая на вещественной модели, дала основание утверждать, что в качестве деталей широкого диапазона могут быть использованы некруглые «колёса» высокой эластичности — кассиоиды, способные изменять длину опорной поверхности примерно в двадцать раз и давление на грунт примерно в восемнадцать раз. Полученные значения в несколько раз превышают диапазоны колёсных и гусеничных типов движителей бездорожных транспортных средств. Дальнейшие исследования привели к разработке высокоэластичного движителя, отличающегося от известных тем, что прилагаемые к оси движителя

радиальные усилия воспринимаются верхней половиной движителя и передаются на опорную поверхность через заполняющий движитель под определённым давлением воздуха. Разработанный движитель был назван тороидом [1].

При этом тороид не следует путать с традиционным несомещённым эластомеханическим торковым движителем, принцип действия которого основан на наволакивании герметичной или негерметичной (для импульса давления) эластичной тороидальной оболочки, выполненной из эластичного материала и заполненной рабочей средой под избыточным (газ) или нормальным (жидкость) давлением при протаскивании сквозь неё приводного ремня [7].

Хотя первые работы по торovому движителю транспортного средства [8], подтверждающие его работоспособность на действующих моделях, относятся к семидесятым годам, более систематизированные работы начали публиковаться с середины девяностых. Это показывает, что основной проблемой при создании эластомеханических движителей, требовавшей использования в качестве основы стандартных гусеничных и колёсных шасси, является сложность их производства и эксплуатации. Однако быстрое развитие технологий, методик расчёта оболочек при помощи современных ЭВМ, проведение исследований и производство новых композитных материалов позволяют сделать следующий шаг — спроектировать эластомеханическое шасси, представляющее собой замкнутую оболочку, служащую движителем и включающую в себя элементы привода.

При этом следует отметить, что при всех преимуществах торковых шасси конструктивно довольно затруднительно найти решение данной задачи для движителя торковой формы. Одной из перспективных конструкций может являться транс-

портное средство высокой проходимости с подобием эластовинтового движителя, в котором высота и углы наклона бегущих винтовых линий формируются за счёт внутренней деформации неподвижной оболочки цилиндрической формы [9]. Конструкция данного эластомеханического движителя состоит из герметичной неподвижной полости с избыточным давлением (порядка 0,05–0,1 атм.), обеспечивающим достаточную несущую способность ходового модуля, реактора, формирующего бегущую волну необходимых высоты и угла уклона, и системы управления, оптимизирующей эти параметры в зависимости от грунтовых условий и режимов движения. Таким образом, можно получить эластомеханический движитель — оболочку, приводимую в движение за счёт воздействия внутренних сил и сочетающую высокую проходимость на сложных типах грунта с хорошей адаптивностью и плавностью хода.

ВЫВОДЫ

1. Традиционные типы движителя не могут дать приемлемых показателей при движении по бездорожью.

2. Эластомеханический движитель для машин высокой проходимости — путь решения проблем повышения подвижности.

3. Конструкция эластомеханического движителя позволяет оптимизировать систему его управления в зависимости от грунта и режимов движения.

На основании анализа результатов моделирования для различных условий и экспериментальных исследований можно сделать вывод об адекватности разработанной математической модели и её пригодности для оценки энергетических затрат и прогнозирования характеристик криволинейного движения автомобиля с колёсной формулой 8 × 8 при различных способах

управления поворотом: 1) за счёт поворота управляемых колёс двух передних осей; 2) за счёт принудительного изменения скоростей вращения колёс разных бортов (бортовой поворот); 3) при использовании комплексной системы управления, сочетающей оба указанных выше способа поворота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бескин А. И. Некоторые результаты применения теории адаптивных систем к исследованиям движителей бездорожного транспорта // Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения / под общ. ред. В. В. Белякова и А. П. Куляшова. — Н. Новгород: Изд-во «ТАЛАМ», 2004. — С. 900–921.
2. Техника и вооружение. — 2010. — № 7. — С. 38–42.
3. Карасёв А. Основные средства. — 2011. — № 3 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.os1.ru> (дата обращения: 01.11.2014).
4. Кочнев Е. Техника — молодёжи. — 1978. — № 8. — С. 64–66.
5. Off-road Drive. — 2005. — № 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.off-road-drive.ru/> (дата обращения: 01.11.2014).
6. Шихирин В. Н., Ионова В. Ф., Шальнев О. В., Котляренко В. И. Эластичные механизмы и конструкции: монография. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. — 286 с.
7. Котляренко В. И., Шихирин В. Н., Шальнев О. В. Мягкие транспортные движители: материалы II Международной конференции «Торовые технологии». — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. — С. 110–130.
8. Шихирин В. Н. Эластичная механика. Основа машин и механизмов будущего // Электроника: наука, технология, бизнес. — 2011. — № 5. — С. 10–14.
9. Наумов В. Н., Бяков К. Е. Улучшение роторно-винтового движителя мобильного робота путём использования технологий эластичной механики // Инженерный журнал: наука и инновации. — 2012. — № 10 (10).