

УДК 629.113(114)

**И.Н. Кукушкин<sup>1</sup>, С.В. Демихов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

<sup>2</sup>Рязанское высшее воздушно-десантное училище,  
390031, г. Рязань, ул. Каляева, 20

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВОРОТА КОЛЕСНО-ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН**

*Представлен один из вариантов комплексного решения проблемы одновременного обеспечения быстроходности и проходимости транспортных средств – применение комбинированного движителя, объединяющего преимущества как колесных, так и гусеничных машин.*

**Ключевые слова:** колесный движитель, гусеничный движитель, комбинированный движитель.

## **I.N. Kukushkin, S.V. Demikhov THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCHES OF WHEEL-TRACK VEHICLE TURN**

*One of the variants of problem integral approach of simultaneous maintenance of high-speed motion and cross-country ability of vehicles is presented in this article this variant is the ease of combined drivers uniting the advantages of both wheel and track vehicles.*

**Key words:** wheel driver, track driver, combined driver.

Подвижность характеризуется способностью исправных и работоспособных машин перемещаться с максимально возможной скоростью в различных дорожных и климатических условиях. Основными свойствами, определяющими подвижность объектов, являются проходимость, быстроходность и маневренность, а основным оценочным показателем – средняя скорость движения на заданном маршруте [1].

Анализ особенностей эксплуатации машин, применяемых в интересах силовых ведомств, структурах нефтегазовой отрасли и лесного хозяйства на территории РФ, показывает, что спектр дорожных и климатических условий их предполагаемого использования достаточно широк: от автомагистралей до бездорожья.

Общеизвестно, что колесный движитель на усовершенствованных покрытиях обеспечивает более высокие по сравнению с гусеничным скорости движения, в то время как для гусеничных машин, в основном за счет высокой проходимости, характерны более высокие средние скорости по бездорожью, что особенно важно для транспортных средств высокой проходимости. Однако, обладая столь существенным преимуществом, гусеничный движитель имеет значительные внутренние потери и существенно меньший ресурс [2].

Идея сочетания обоих типов движителей в одной конструкции не нова. Учеными различных стран были созданы и нашли свое применение более 40 образцов, в которых сочетались в различных вариантах колесный и гусеничный движители.

Еще в 60-х гг. XX в. теоретические и экспериментальные исследования, выполненные под руководством профессора Д.А. Антонова в направлении оптимизации структуры силового привода и конструкции машин с комбинированным движителем (МКД), показали, что наиболее рациональное совместное использование колесного и гусенич-

ного движителей обеспечивается в конструкции колесной машины с вспомогательным гусеничным движителем [3]. При такой компоновке, обладая высокой максимальной скоростью на колесном ходу, МКД по проходимости не уступает гусеничным машинам, обеспечивая близкие значения давления на опорную поверхность. Учитывая тот факт, что обоснованное использование гусеничного движителя на грунтах с низкой несущей способностью обеспечивается на 20-25 % общего пробега машины, можно отметить сопоставимость сроков службы пневматических шин и гусеничных цепей.

Техническое несовершенство конструкций комбинированных движителей и их приводов, низкие показатели надежности трансмиссий и плохая маневренность МКД при одновременном использовании колес и гусениц в то время не позволили в полной мере использовать преимущества комбинированного движителя.

В настоящее время ужесточение требований к подвижности образцов транспортных средств, предназначенных для эксплуатации в тяжелых дорожных условиях, стало причиной возрождающегося интереса к конструкциям МКД как к одному из вариантов решения данной проблемы.

С целью оценки влияния факторов, определяющих снижение эффективности применения комбинированного движителя, на базе Рязанского военного автомобильного института совместно с МГТУ им. Н.Э.Баумана были проведены экспериментальные исследования. В качестве объекта испытания использовался образец колесной машины с вспомогательным гусеничным движителем.

В результате исследований установлено, что проблемы, вызванные одновременным использованием колесного и гусеничного движителей, условно можно разбить на два блока: первый определяется потерями мощности в замкнутых силовых контурах, второй – трудностью обеспечения требуемых показателей маневренности [4].

В отношении первой составляющей результаты исследований показали, что даже при неблокированном приводе распределение продольно-толкающих усилий, формируемых элементами движителя, происходит крайне неравномерно (рис. 1). На рис. 1 расчетные данные показаны пунктиром, экспериментальные – сплошной линией.

Причиной данного обстоятельства является наличие циркуляции. Разработанные в процессе исследования конструктивные схемы силовых (трансмиссионных) приводов с вариаторным, гидрообъемным и гидродинамическим регулированием мощности на вспомогательный гусеничный движитель предполагают возможность введения определенного значения величины кинематического рассогласования в зависимости от условий движения [4].

Результаты имитационного моделирования динамики движения МКД показали, что реализация в конструкции разработанных в процессе исследования схем позволит обеспечить равномерное распределение продольно-толкающих усилий по элементам движителя, что максимизирует суммарное тяговое усилие, обеспечивающее существенное повышение проходимости (рис. 2).

Величина кинематического рассогласования при этом выбирается из условия максимизации суммарного продольного толкающего усилия, развиваемого движителем. Установленные для прямолинейного движения величины кинематического рассогласования оказываются малоэффективными на участках криволинейного движения. При этом на повороте ведущие управляемые колеса работают в тормозном режиме [5].

В известных конструкциях МКД поворот обеспечивается, как правило, использованием кинематического способа, т.е. за счет поворота управляемых колес. Наличие на машинах наряду с эластичными управляемыми колесами неуправляемого гусеничного движителя отрицательно сказывается на маневренности МКД при совместной работе обоих типов движителей.

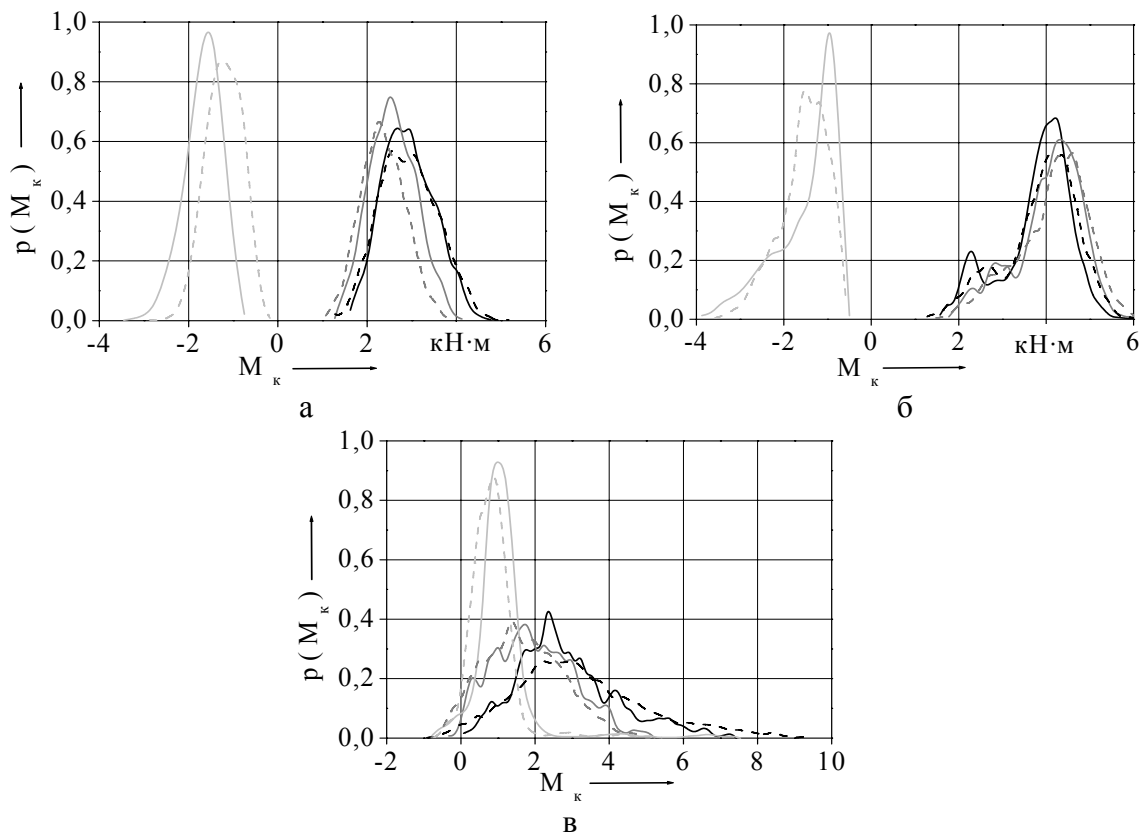


Рис. 1. Функции плотности распределения процессов изменения крутящих моментов на колесах и гусеницах при движении с постоянной скоростью по деформируемой опорной поверхности:

а – грунтовая дорога; б – луговина; в – вспаханное поле

Fig. 1. Functions of density of distribution of torque moments chaining processes on wheels and tracks at motion with constant speed along deformable thrust surface:

а – the ground; б – the meadow; в – the ploughed field

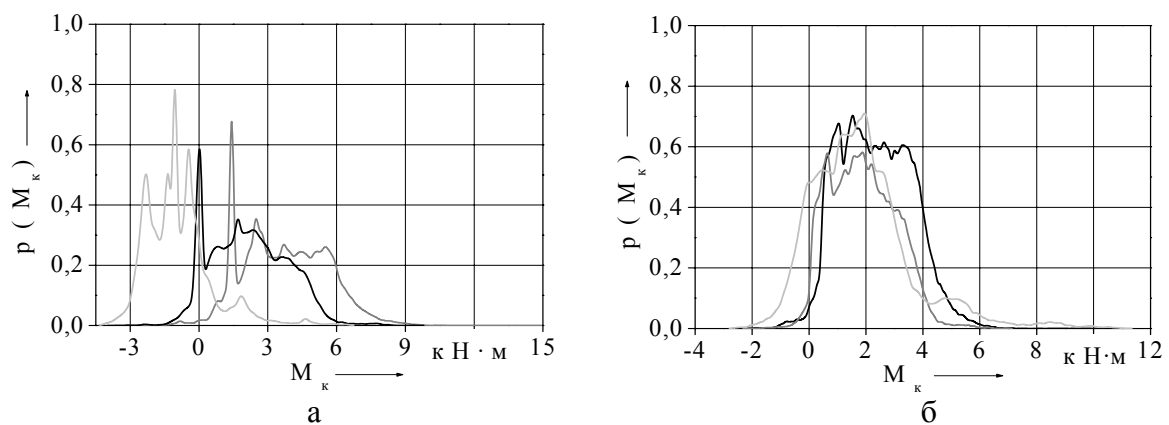


Рис. 2. Функции плотности распределения процессов изменения крутящих моментов на элементах комбинированного движителя при имитационном моделировании движения МКД по типизированному циклу: а – при отсутствии кинематического рассогласования;

б – при введении кинематического рассогласования

Fig. 2. Functions of density of distribution of torque moments changing on elements of combined driver at imitation model of VCD motion per standard cycle: а – without kinematic misalignment;

б – with kinematic misalignment

Поведение машины при движении по криволинейной траектории в условиях недостаточного сцепления колес с опорной поверхностью непредсказуемо, что вызывает необходимость постоянной концентрации внимания водителя, увеличения частоты приложения управляющих воздействий, повышение утомляемости, ухудшает эргономические показатели МКД и негативно влияет на безопасность движения в целом.

При рассмотрении вопросов криволинейного движения МКД необходимо учитывать некоторые особенности формирования поворачивающего момента в процессе одновременного использования эластичного колесного и жесткого гусеничного движителей.

Так, при совместной работе эластичного и жесткого движителей при максимальных значениях углов поворота управляемых колес должно быть обеспечено рассогласование в приводе порядка 8 %. При отсутствии такого рассогласования элементы эластичного колесного движителя при повороте будут принудительно проталкиваться в направлении движения гусеничным движителем. Таким образом, колесный движитель будет работать в тормозном режиме.

Схема сил, действующих при повороте на эластичное управляемое колесо, представлена на рис. 3.

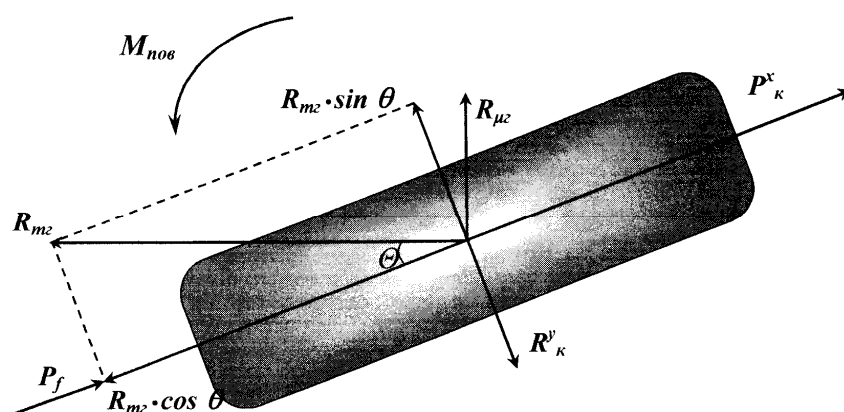


Рис. 3. Схема сил, действующих на управляемое колесо МКД при повороте  
Fig. 3. Scheme of forces acting on VCD wheel turning

Помимо традиционно рассматриваемых сил на колесо будет действовать сила  $R_{m2}$  от работающего в толкающем режиме жесткого гусеничного движителя.

Кроме того, смещение мгновенного центра поворота на величину  $x$  (рис. 4), обусловленное не только боковыми силами, но и смещением расположения жесткого движителя по длине базы машины, вызывает появление на гусенице пары реакций  $R_{23}$  и  $R_{32}$ , создающей момент сопротивления повороту со стороны гусеничного движителя  $M_{с2}$  и поперечной реакции  $R_{п2}$ . Последняя сила, в свою очередь, воздействует на колесный движитель неравномерно ( $R_{упл} \neq R_{уз3}$ ) вследствие смещения  $x$ , что оказывает существенное влияние на показатели маневренности.

Повышение показателей маневренности можно добиться путем вовлечения гусеничного движителя в процесс формирования поворачивающего момента за счет использования механизма поворота при условии обеспечения кинематического согласования колесной и бортовой схем поворота.

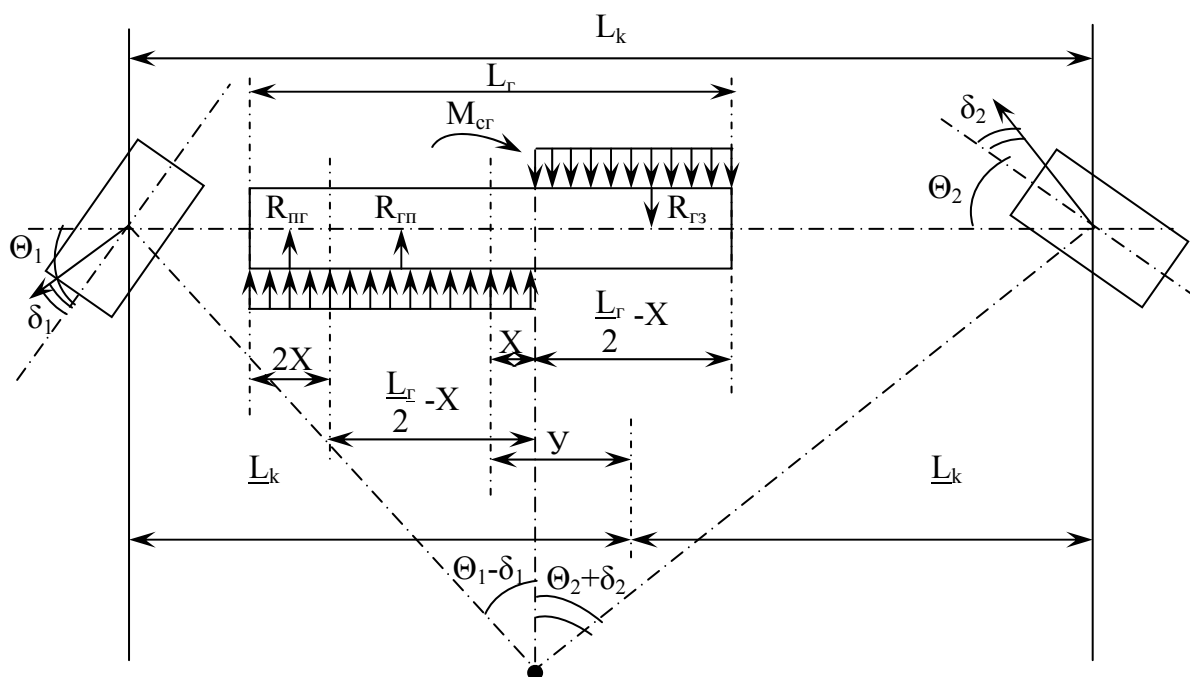


Рис. 4. Схема сил, формирующих поворачивающий момент МКД  
 Fig. 4. Scheme of forces forming the turning moment of VCD

Результаты расчетного исследования показали, что применение гидрообъемного механизма поворота (ГОМП) позволит обеспечить возможность наилучшего (с точки зрения кинематики) согласования колесной и бортовой схем поворота посредством смещения их мгновенных центров [6]. Однако оценка целесообразности применения ГОМП в качестве элемента управления вспомогательным двигателем показала недостаточный эффект. Данное обстоятельство обусловлено сложностью изготовления и высокой стоимостью ГОМП, а также трудностью согласования его работы с работой рулевого привода управляемых колес.

В ходе испытаний было установлено, что на изменение минимального радиуса поворота МКД существенное влияние оказывает перераспределение нагрузки между колесным и гусеничным движителями [7]. Значения минимальных радиусов поворота при движении на колесном ходу и при полностью отжатой гусенице отличаются незначительно (разница составляет порядка 6 %). В то же время по результатам эксперимента установлено, что при нагрузке на гусеничный движитель, составляющей порядка 60 % от максимально установленной, минимальный радиус поворота уменьшался почти вдвое. Таким образом, можно констатировать, что повышение маневренности МКД при одновременном использовании колес и гусениц может быть достигнуто только за счет регулирования нагрузки на гусеничный движитель в зависимости от условий движения без усложнения конструкции МКД.

Проведенные исследования показали целесообразность применения комбинированного движителя на транспортных средствах высокой проходимости, обеспечивающего существенное повышение их подвижности и эффективности применения в целом при условии реализации полученных в ходе исследования теоретических и практических результатов.

### Список литературы

1. Васильченков В.Ф. Автомобили и гусеничные машины. Теория эксплуатационных свойств [Текст] / В.Ф. Васильченков. – Рыбинск: Издание АООТ «РДП» – АРП, 1996. – 432 с.
2. Афанасьев Б.А. Проектирование полноприводных колесных машин [Текст]: учеб. для вузов / Б.А. Афанасьев, Н.Ф. Бочаров, Л.Ф. Жеглов и др.; под общ. ред. А.А. Полунгяна. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 488 с.
3. Антонов Д.А. Теоретическая разработка основ проектирования боевых колесных машин [Текст]: отчет о НИР «Методика определения величины кинематического рассогласования между ведущими элементами движителей с различной тангенциальной эластичностью». – М.: Академия БТ войск, 1965. – 181 с.
4. Медведев Е.В. Комбинированный движитель как средство повышения подвижности [Текст] / Е.В. Медведев, С.В. Демихов, А.М. Клиншов // Тез. докл. IV Междунар. автомоб. науч. форума. – М.: НАМИ, 2006. – С. 74-82.
5. Демихов С.В. Особенности математического моделирования поворота машины с комбинированным движителем [Текст] // Сб. науч. тр. РВАИ. – Рязань, 2007. – Вып. 17. – С. 102-105.
6. Пат. 2297355 Российская Федерация, МПК<sup>11</sup> В 62 D 11/24. Рулевое управление самоходной машины [Текст] / Е.В. Медведев, С.В. Демихов, Ю.О. Троян; заявитель и патентообладатель Ряз. воен. автомоб. ин-т им. генерала армии В.П. Дубынина. – № 2005103867/11; заявл. 14.02.05; опубл. 20.04.07, Бюл. № 11. – 6 с.
7. Демихов С.В. Пути повышения управляемости машин с комбинированным движителем [Текст] / С.В. Демихов, Е.В. Медведев, А.М. Клиншов // Наука и образование XXI века: сб. науч. тр. по материалам докл. на III Междунар. научн.-практ. конф. – Рязань: СТИ, 2009. – Т. 1. – С. 82-86.

**Сведения об авторах:** Кукушкин Игорь Николаевич, доцент;

Демихов Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: v.semynin@yandex.ru.