

НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 629.1.032.1

Г.О. Котиев, Е.Б. Сарач, И.А. Смирнов, С.А. Бекетов

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ БЫСТРОХОДНОСТИ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН ТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Предложены перспективы развития систем поддрессоривания гусеничных машин с целью повышения быстроходности. Представлены современные методы определения характеристик традиционных подвесок. Показано, что добиться дальнейшего повышения быстроходности можно, используя нетрадиционные системы поддрессоривания (управляемые, многоуровневые и связанные подвески), а также применяя управление углом складывания секций двухзвенных гусеничных машин.

Ключевые слова: гусеничная машина, быстроходность, плавность хода, система поддрессоривания, подвеска.

Стремление повысить быстроходность гусеничной техники гражданского и военного назначения заставляет обращать внимание разработчиков на такой аспект, как увеличение средней скорости движения машин. Как известно, максимальная скорость движения машины – величина ограниченная, которая определяется условиями движения и техническими характеристиками транспортной гусеничной машины (ТГМ). Ограничения скорости движения зависят от дорожных условий и определяются тяговой характеристикой машины, управляемостью и плавностью хода [1]. Увеличение удельной мощности современных машин и совершенствование механизмов поворота позволили снять ряд ограничений. В этой связи проблема повышения эффективности систем поддрессоривания ТГМ с целью обеспечения требуемой скорости движения по неровностям является актуальной.

Основные подходы при выборе характеристик элементов традиционной системы поддрессоривания ТГМ, когда амортизатор устанавливается между корпусом и катком без упругих связей, известны и широко представлены в литературе [1, 2]. При увеличении веса ТГМ подвеска становится все более нагруженной. Демпфирующие элементы требуют реализации больших усилий на прямом ходе подвески, что приводит к увеличению вертикальных ускорений «тряски». В данной ситуации, когда конструктор должен обеспечить высокую плавность хода во всем частотном диапазоне воздействий на ТГМ со стороны неровностей местности, тяжелые ТГМ (свыше 40 т), обладающие традиционной системой поддрессоривания, имеют средние скорости движения по неровностям местности около 20 км/ч. Дальнейшее повышение средней скорости требует применения нетрадиционных систем поддрессоривания – управляемых или многоуровневых подвесок. Кратко рассмотрим перспективы использования таких систем поддрессоривания.

В настоящее время известны два основных направления в развитии систем регулирования сил в подвеске наземной транспортной техники – это активное и пассивное управление силами в упругом и (или) демпфирующем элементах системы поддрессоривания машины. Активные системы подразумевают использование внешнего достаточно мощного источника энергии для осуществления управления сил, тогда как в системах с пассивным управлением он отсутствует.

Отрицательной стороной управляемых систем поддрессоривания в сравнении с не-

управляемыми подвесками являются значительно большее потребление энергии (для активных систем) и большая стоимость системы. Поэтому рациональность применения требует от управляемой подвески высокой эффективности при всех возможных режимах движения машины, что подразумевает использование обоснованной конструктивной схемы и соответствующего рационального закона управления, настраивающего систему для решения задач, связанных не только с обеспечением плавности хода, но также с обеспечением управляемости, работоспособности вооружения и т.д.

В связи с необходимостью использования дополнительного источника энергии, активные системы поддрессоривания пока не нашли применения в конструкциях ТГМ. На колесной технике активные системы поддрессоривания в основном используются для борьбы с низкочастотными продольно-угловыми и поперечно-угловыми колебаниями кузова.

Анализируя литературу, посвященную управляемым системам поддрессоривания, можно сделать вывод, что для ТГМ целесообразно использовать пассивную систему поддрессоривания с управляемым демпфированием. Причем достаточно два уровня демпфирования прямого хода: «низкий уровень» - штатное демпфирование, обеспечивающее допустимые ускорения «тряски», и «высокий уровень» в 3 раза больше штатного, обеспечивающий допустимые перегрузки ТГМ при движении по периодическим неровностям в резонансном режиме по продольно-угловым колебаниям корпуса. На обратном ходе подвески управлять демпфированием нецелесообразно.

Управление двухуровневым демпфированием может быть со статическим - адаптивным и с динамическим законом управления. При динамическом управлении наиболее эффективно управлять по скорости продольно-угловых колебаний корпуса ТГМ.

Управляемая система поддрессоривания требует использования блоков управления – контроллеров, датчиковой аппаратуры и т.д., что усложняет систему и снижает ее надежность. Но существуют системы, которые без специального управления позволяют обеспечить требуемое гашение колебаний в резонансной области без повышения ускорений «тряски» в зарезонансной области. Это многоуровневые системы поддрессоривания.

В подвесках ТГМ в качестве опытных образцов были выполнены двухуровневые системы поддрессоривания, наиболее известной из которых является релаксационная подвеска. Подвеска релаксационного типа имеет два упругих элемента и амортизатор [1]. Один упругий элемент включен между корпусом и катком последовательно с амортизатором и образует с ним релаксационный элемент. Второй упругий элемент соединяет корпус и каток параллельно релаксационному элементу и выполняет роль основного упругого элемента подвески. Наличие двух упругих элементов и схожесть свойств релаксационной подвески со свойствами других вариантов многоуровневых подвесок позволяет ее также отнести к многоуровневым системам поддрессоривания. Эквивалентная схема подвески релаксационного типа представлена на рис. 1, а.

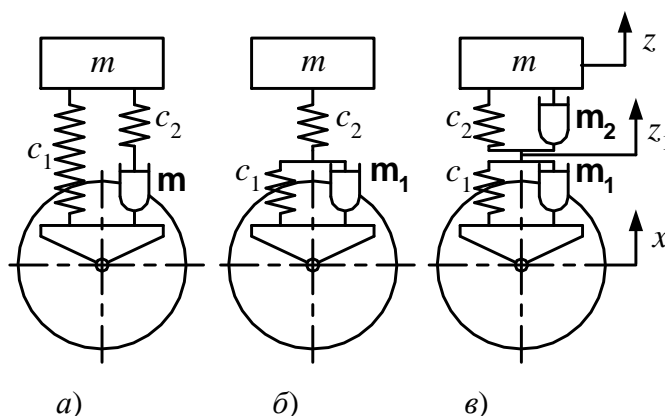


Рис. 1. Эквивалентные схемы одноопорных подвесок:

а, б – релаксационная с параллельным и последовательным соединением дополнительного упругого элемента соответственно; в – фрактальная двухуровневая

Следующим примером многоуровневых подвесок является так называемая фрактальная подвеска, которая состоит из ряда последовательно соединенных упругодемпфирующих элементов. На рис. 1, в представлена эквивалентная схема фрактальной двухуровневой подвески. Фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому. Так как каждый дробный элемент фрактальной подвески подобен всей подвески в целом, авторы статей [3, 4] выбрали именно эту терминологию для обозначения таких подвесок.

Если во фрактальной двухуровневой подвеске убрать демпфирующий элемент, соответствующий упругому элементу большей жесткости, то ее эквивалентная схема примет вид, представленный на рис. 1, б. Такую подвеску также называют релаксационной с последовательным соединением дополнительного упругого элемента.

Существуют элементы системы подрессоривания ТГМ, которые по своим характеристикам могут быть названы устройствами фрактального типа (рис. 2). Ввиду того, что в многоуровневых системах подрессоривания на различных частотах работают разные упругодемпфирующие элементы, машина, оснащенная такой подвеской, способна двигаться в самых разнообразных дорожных условиях с высокой плавностью хода. Теории разработки таких конструкций посвящены работы [3-8].

В работах [7, 8] показано, что для ТГМ достаточно двухуровневой подвески, причем демпфирование, соответствующие упругому элементу высокой жесткости, должно быть минимальным. Выбор характеристик многоуровневых систем подрессоривания целесообразно проводить с использованием имитационного математического моделирования движения ТГМ по неровностям местности.

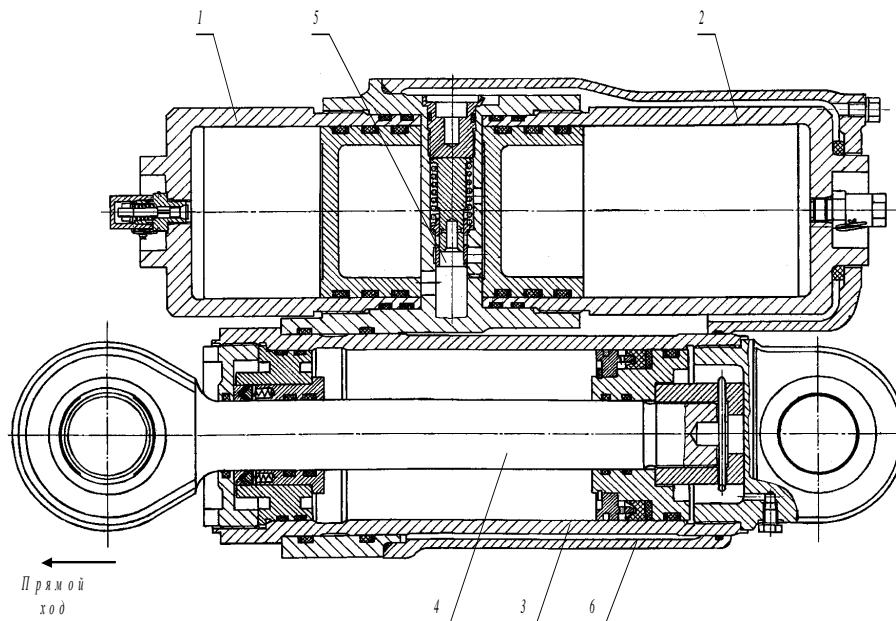


Рис. 2. Конструкция ПГР с двумя ступенями давления:

1 - пневмоцилиндр высокой жесткости; 2 - пневмоцилиндр низкой жесткости; 3 - гидроцилиндр;
4 - шток с поршнем; 5 - дросселирующая система; 6 - кожух рубашки охлаждения рессоры

Развитие современных ТГМ военного назначения идет по пути наращивания огневой мощи и защищенности. Это ведет к неуклонному повышению их массы. При ограничении по допустимому давлению на грунт конструкторы вынуждены увеличивать опорную поверхность ТГМ. При двухгусеничной схеме ТГМ такое увеличение ограничивается шириной машины, предельная величина которой определяется транспортными габаритами (т.е. возможностью перевозки железнодорожным транспортом), и длиной по предельно допустимым значениям поворотливости. Известно, что машина с протяжной опорной поверхностью при прочих равных условиях обладает худшей маневренностью.

В этой связи как в нашей стране, так и за рубежом ведутся теоретические разработки по применению двухзвенных гусеничных машин (ДГМ) в качестве ТГМ военного назначения, а именно, как базы для создания целого семейства боевых гусеничных машин. Кроме того, при решении транспортных проблем в районах с тяжелыми дорожными условиями (при освоении районов богатых сырьевыми ресурсами, обслуживания газо- и нефтепроводов, линий электропередачи, решении задач, связанных с ликвидацией чрезвычайных ситуаций) находят широкое применение двухзвенные гусеничные транспортеры, которые также широко используются по военной тематике. На рис. 3 представлены двухзвенные гусеничные транспортеры гражданского и военного назначения семейства «Витязь» и «Вездесущий».



Рис. 3. Двухзвенные гусеничные транспортеры:
а - ДТ-10П семейства «Витязь»; б - ДТ-10ПМ семейства «Вездесущий»

Двухзвенные гусеничные машины обладают рядом свойств, обеспечивающих им преимущество, перед обычными ТГМ. Большинство этих свойств связано с особым способом поворота ДГМ путем принудительного регулирования направления скоростей элементов движителя, изменением их взаимного положения. Кроме этого, возможность обеспечения высоких тягово-сцепных показателей, лучшие характеристики профильной проходимости за счет принудительного складывания секций в вертикальной плоскости, хорошая приспособляемость секций к рельефу местности в поперечной плоскости и, как следствие, более равномерное распределение вертикальных нагрузок по длине опорной поверхности – все это в комплексе позволяет считать ДГМ наилучшим по проходимости транспортным средством среди колесных и гусеничных машин.

В настоящее время максимальные скорости отечественных ДГМ, как правило, не превышают 30–40 км/ч. Однако, вследствие расширения их областей применения наметилась тенденция увеличения скорости движения. В связи с тем, что ДГМ, по сравнению с однозвенной ТГМ, имеет больший объем корпуса, в котором можно разместить силовую установку необходимой мощности, ограничения по силе тяги, оказывающие существенное влияние на среднюю скорость однозвенной ТГМ, здесь уходят на второй план и существенными становятся ограничения по плавности хода.

На плавность хода ДГМ оказывают значительное влияние не только характеристики системы подрессоривания, но и узел сочленения. Причем эффективность гидроцилиндра вертикального складывания ДГМ по гашению продольно-угловых колебаний больше, по сравнению с гидравлическими амортизаторами подвески. Также конструкция ДГМ позволяет преодолевать неровности местности их огибанием за счет управления углом складывания звеньев в вертикальной плоскости [8-10]. Закон управления ГЦВС определяет текущий угол складывания по средним отклонениям ходов катков двух секций ДГМ от статического положения.

Еще один способ снижения пиковых значений давления на грунт - применение БГМ со связанной системой подрессоривания. Известно, что по конструктивному признаку подвески транспортных машин можно разделить на независимые (индивидуальные) и связанные (зависимые) подвески. Под независимыми подвесками понимают такие системы, у которых силы, действующие от катков на подрессоренный корпус, не имеют между собой явной связи. Под

связанными системами поддресоривания понимают такие системы, у которых силы, действующие от катков на поддресоренный корпус, имеют между собой явную связь (рис. 4). При этом связь между силами может быть полная, если все катки системы связаны между собой, или неполная, если часть катков системы связана между собой, а остальные подвески независимые.

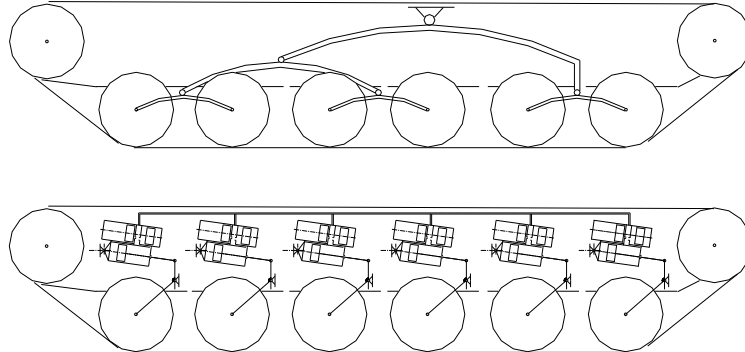


Рис. 4. Связанные системы поддресоривания с баланси́рной (вверху) и гидравлической связью (внизу)

В связанных системах поддресоривания силы в подвеске определяются не только ходом и скоростью хода катка данной подвески, но ходом и скоростью хода катков всех остальных подвесок, связанных с ней. Связанные подвески, в отличие от независимых, позволяют получить более равномерную эпюру давления под катками ТГМ, уменьшить угловые и вертикальные колебания корпуса машины при движении по неровностям. Однако такие подвески более чувствительны к силовому воздействию при разгоне и торможении машины, имеют более сложную конструкцию и большую уязвимость подвески.

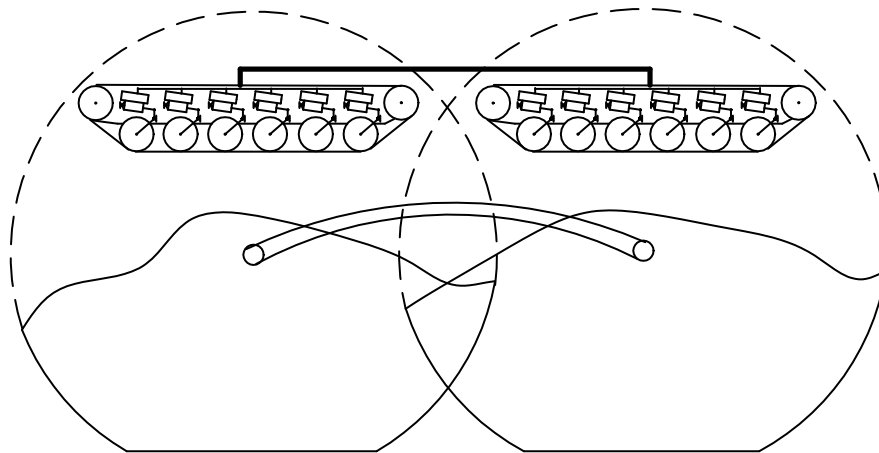


Рис. 5. Двухзвенная гусеничная машина со связной системой поддресоривания в пределах одного борта секции и жесткой связью в узле сочленения

Связанные системы поддресоривания танков широко стали применяться после первой мировой войны. Но с появлением надежной независимой торсионной подвески связанные системы поддресоривания в отечественном танкостроении использоваться перестали. С развитием пневмогидравлических систем поддресоривания и возможностью осуществить гидравлическую связь между подвесками, конструктора снова стали обращать внимание на связанные системы поддресоривания. Одновременно проводились и теоретические исследования в области связанных систем поддресоривания.

Теоретически наибольший выигрыш с точки зрения плавности хода и равномерности распределения давления на опорную поверхность даст система поддресоривания с полной связью

по всем упругим элементам катков одного борта. Однако одиночная ТГМ с такой подвеской будет неустойчива к силовому возмущению в продольной плоскости. Для ДГМ при наличии жесткой связи в узле сочленения такой вариант возможен. Две секции ДГМ в данном случае можно рассматривать как тележку на двух колесах большого диаметра (рис. 5). Такая система будет устойчива к силовому возмущению, а давление на грунт будет наиболее равномерным. Такая конструкция еще больше повысит проходимость ДГМ на слабонесущих грунтах.

Но современные ДГМ не имеют в узле сочленения жесткой связи в продольной вертикальной плоскости. Эта связь может быть наложена путем принудительного складывания секций ДГМ в продольной вертикальной плоскости во время движения. То есть необходимо управлять углом складывания секций ДГМ, например, по закону, предложенному в [8-10], с целью приспособляемости секций ДГМ к рельефу местности, повышения плавности хода и, как следствие, быстроходности ДГМ.

Библиографический список

1. **Дмитриев, А.А.** Теория и расчет нелинейных систем поддресоривания гусеничных машин / А.А. Дмитриев, В.А. Чобиток, А.В. Тельминов. – М.: Машиностроение, 1976. – 207 с.
2. **Дядченко, М.Г.** Конструкция и расчет подвесок быстроходных гусеничных машин: учеб. пособие / М.Г. Дядченко, Г.О. Котиев, Е.Б. Сарач. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 40 с.
3. **Moreau, X.** Comparison of LQ and CRONE methods for the design of suspension systems / X. Moreau, A. Ostaloup, M. Nouillant // 13th IFAC World Congress. – San Francisco (USA), 1996. P. 62–67.
4. **Oustaloup, A.** The CRONE suspension / A. Oustaloup, X. Moreau, M. Nouillant // Control Engineering Practice: Journal of the International Federation of Automatic Control. 1996. V. 4. № 8. P. 1101–1108.
5. **Дмитриев, А.А.** Теория и расчет линейной релаксационной системы поддресоривания // Вопросы поддресоривания танка и бронетранспортера. 1959. С. 46–76.
6. **Сарач, Е.Б.** Определение соотношения жесткостей упругих элементов фрактальной двухуровневой системы поддресоривания быстроходной гусеничной машины // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Машиностроение. 2010. № 1. С. 102–108.
7. **Сарач, Е.Б.** Метод синтеза многоуровневых систем поддресоривания быстроходных гусеничных машин / Е.Б. Сарач, Г.О. Котиев // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 4. С. 24–29.
8. **Котиев, Г.О.** Комплексное поддресоривание высокоподвижных двухзвенных гусеничных машин / Г.О. Котиев, Е.Б. Сарач. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 184 с.
9. **Котиев, Г.О.** Повышение подвижности двухзвенной гусеничной машины управлением углом складывания секций в вертикальной плоскости во время движения [Электронный ресурс] // Электрон. журн. «Наука и образование: электронное научно-техническое издание», 2010. Вып. 1 №0420900025\0006. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/113356.html>.
10. **Сарач, Е.Б.** Оценка эффективности метода повышения быстроходности двухзвенной гусеничной машины, использующего управление углом складывания секций в вертикальной плоскости во время движения [Электронный ресурс] // Электрон. журн. «Наука и образование: электронное научно-техническое издание», 2010. Вып. 5 №0420900025\0006. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/113356.html>.

*Дата поступления
в редакцию: 22.04.2014*

G. Kotiev, E. Sarach, I. Smirnov, A. Filev

PROSPECTS OF INCREASE OF RAPIDITY OF TRANSPORT TRACKED VEHICLES

Bauman Moscow state technical university

In this article prospects of development of suspension system of tracked vehicles for the purpose of rapidity increase are offered. Modern methods of definition of characteristics of traditional suspension system are presented. Nonconventional solutions are proposed.

Key words: high-mobility tracked vehicles, suspension system, rapidity increase.