

Расчет и конструирование

УДК 62-52

DOI: 10.14529/engin180401

АДАПТИВНЫЙ АМОРТИЗАТОР ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НОВОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

**А.Ф. Дубровский¹, С.В. Алюков¹, С.А. Дубровский²,
А.С. Алюков¹, К.В. Прокопьев¹, О.Р. Якупов³**

¹Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия,

²Южно-Уральский университет дополнительного образования, г. Челябинск, Россия,

³ОАО «АЗ УРАЛ», г. Миасс, Россия

Разработка любого транспортного средства проводится всегда при условии строгого обеспечения выполнения определенных, предварительно задаваемых эксплуатационных характеристик. Особое место среди них занимают так называемые ходовые эксплуатационные характеристики, не затрагивающие оценку тягово-динамических параметров ТС, его топливную экономичность и т. п. Направлением нашей деятельности является разработка адаптивных подвесок транспортных средств нового принципа действия. В настоящее время группой ведущих научных сотрудников автотракторного факультета Южно-Уральского государственного университета под руководством профессора А.Ф. Дубровского завершён большой цикл фундаментальных научно-исследовательских работ по созданию адаптивных подвесок (систем подрессоривания) транспортных средств нового принципа действия, позволяющих регулировать рабочие характеристики подвески во время движения автомобиля, в зависимости от дорожных условий либо в автоматическом режиме, либо в режиме ручного управления. Нами разработаны, исследованы, спроектированы, изготовлены и испытаны следующие основные узлы адаптивных подвесок транспортных средств: адаптивные, блокируемые амортизаторы и упругие элементы с нелинейной характеристикой, которые по совокупности своих функциональных свойств и эксплуатационных характеристик значительно, качественно превосходят существующие зарубежные аналоги, не говоря уже об отечественных конструкциях. Для наглядной демонстрации этих преимуществ создан полномасштабный стенд ходовой части «правой передней четверти» автомобиля VW PASSAT CC и проведены сравнительные имитационные испытания «движения автомобиля по неровностям» со штатной подвеской и с подвеской, оборудованной упругими элементами и адаптивными амортизаторами наших конструкций. В данной работе анализируются характеристики перспективного, с точки зрения использования в подвеске транспортного средства, адаптивного амортизатора с сверхшироким диапазоном регулирования рабочих характеристик.

Ключевые слова: транспортное средство, рабочая характеристика, амортизатор.

Введение

Общеизвестно, что при разработке конструкции системы подрессоривания транспортного средства (ТС), в том числе автомобиля, конструкторам всегда приходится решать проблему согласования следующих двух групп противоречивых требований:

1) требований обеспечения заданного уровня плавности хода (комфортабельности), быстроходности, минимизации динамических (вибрационных) нагрузок на перевозимый груз, узлы, звенья, пассажиров и водителей транспортного средства;

2) требований обеспечения управляемости, безопасности, устойчивости, стабилизации движения транспортного средства, стабилизации положения его кузова.

От того, насколько удачно, оптимально будет решена эта проблема в основном и будет зависеть качество эксплуатационных характеристик проектируемого автомобиля, его коммерческая привлекательность, конкурентоспособность.

Также общеизвестно, что наиболее эффективно согласовать отмеченные выше противоречивые требования можно лишь при выполнении следующих двух условий:

Расчет и конструирование

1) система поддрессирования ТС должна содержать упругий элемент с нелинейной характеристикой;

2) система поддрессирования ТС должна содержать адаптивный амортизатор – амортизатор, осуществляющий возможность регулирования его рабочих характеристик во время движения ТС в зависимости от дорожной ситуации.

Таким образом, использование в подвеске автомобиля упругого элемента с нелинейной характеристикой и адаптивного амортизатора – это единственный путь кардинального, наиболее эффективного улучшения основных эксплуатационных характеристик автомобиля, фундаментального повышения уровня его конкурентоспособности, коммерческой привлекательности. Другой альтернативы решения данной проблемы просто не существует [1–3].

В данной работе анализируется второй из отмеченных компонентов адаптивных подвесок – адаптивный амортизатор [4]. Первый компонент – упругий элемент с нелинейной характеристикой – достаточно детально рассмотрен, например, в работе [5].

1. Существующие аналоги адаптивных амортизаторов

В настоящее время можно выделить следующие четыре наиболее интересные конструктивные подхода в реализации концепции адаптивного амортизатора.

1. В первую очередь следует отметить гидропневматическую подвеску, наиболее типичный представитель которой – подвеска Hydractive [6].

Основные достоинства гидропневматической подвески – относительно высокая плавность хода, возможность регулировки положения кузова относительно дорожного покрытия, эффективное гашение колебаний. Сложность и высокая стоимость, нестабильность характеристик, в ряде случаев невысокая надежность являются сдерживающими факторами широкого применения данного типа подвески.

2. Нельзя не отметить также адаптивную подвеску, построенную на основе использования системы адаптивного управления ходовой части DCC [7].

Адаптивный амортизатор, составляющий основу этой системы управления, в конструктивном отношении достаточно прост, надежен в работе, но в функциональном отношении ограничен – он позволяет регулировать демпфирующие свойства (рабочую характеристику) ступенчато, трехрежимно. Помимо этого, форма характеристик рабочих характеристик на фазе растяжения и фазе сжатия – взаимозависимы [8].

3. Магнито-реологический амортизатор системы Е.П. Гусева [9]. Амортизатор отличается сложностью конструкции, его функционирование основано на использовании специальных, дорогостоящих сортов масел, достаточно сложного электро- и электронного оборудования [10].

2. Блокируемый адаптивный амортизатор с гипердиапазоном регулирования – перспективный адаптивный амортизатор нового принципа действия.

Существующие аналоги адаптивных амортизаторов

В настоящее время на автотракторном факультете Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета) разработаны конструкции адаптивных амортизаторов нового принципа действия – блокируемых адаптивных амортизаторов с гипердиапазоном (сверхшироким диапазоном) регулирования рабочих, диссипативных характеристик (в дальнейшем – адаптивных амортизаторов) [11]. Разработанные нами конструктивные решения позволяют регулировать рабочие характеристики подвесок непосредственно во время движения транспортного средства в зависимости от дорожных условий либо в автоматическом режиме, либо в режиме ручного управления.

По совокупности функциональных свойств и основным параметрам рабочих характеристик разработанные конструкции намного превосходят известные в мировом транспортном машиностроении аналоги [12–17].

Новизна и эффективность наших конструктивных решений подтверждена и защищена пятью патентами РФ на изобретения.

Область применения разработанных нами конструкций – подвески практически любых транспортных средств, кроме «водоплавающих»: это и автомобили (грузовые, легковые, автобусы), и быстроходные гусеничные машины, в том числе специального назначения, прицепы, летательные аппараты различного назначения, железнодорожный транспорт, в особенности высокоскоростной, мотоциклы и т. п.

Использование наших конструкций позволит наконец-то реализовать извечную мечту конструкторов – создателей ТС – оптимально согласовать различные требования к эксплуатационным характеристикам транспортных средств и тем самым качественно улучшить, значительно повысить эксплуатационные характеристики транспортного средства в целом.

При использовании разработанных нами конструкций подвесок транспортное средство, как показано в [8, 11], по ходовым эксплуатационным характеристикам на многие годы качественно превзойдет известные мировые бренды, оставив далеко позади основных мировых конкурентов [18–22].

3. Функциональные свойства и рабочие характеристики адаптивных амортизаторов наших конструкций

Проанализируем рабочие характеристики разработанных нами конструкций адаптивных амортизаторов. Предварительно отметим, что, в отличие от общеизвестных схем, в предлагаемых конструкциях рабочая (диссипативная) характеристика имеет следующую структуру:

$$Q = Q(\dot{q}, p), p = \text{col}(q, i), \quad (1)$$

здесь Q – усилие на поршне (штоке) амортизатора; $\dot{} \equiv d/dt$ – оператор дифференцирования по переменной (времени) t ; $p = \text{col}(q, i)$ – «управляющая матрица» амортизатора – матрица-столбец размера 2×1 ; i – величина управляющего тока в электрогидравлическом клапане амортизатора (первый управляющий параметр амортизатора); q – координата, определяющая положение поршня 1 и штока 2 (рис. 1) – расстояние поршня от его центрального, среднего положения в рабочем цилиндре 3 (q – второй управляющий параметр амортизатора).

Основным определяющим компонентом управляющего воздействия на адаптивный амортизатор является, конечно же, величина управляющего тока i . Именно варьированием, главным образом, величиной i достигается реализация всего «бесконечного» – сверхширокого диапазона (гипердиапазона) регулирования диссипативных характеристик адаптивного амортизатора.

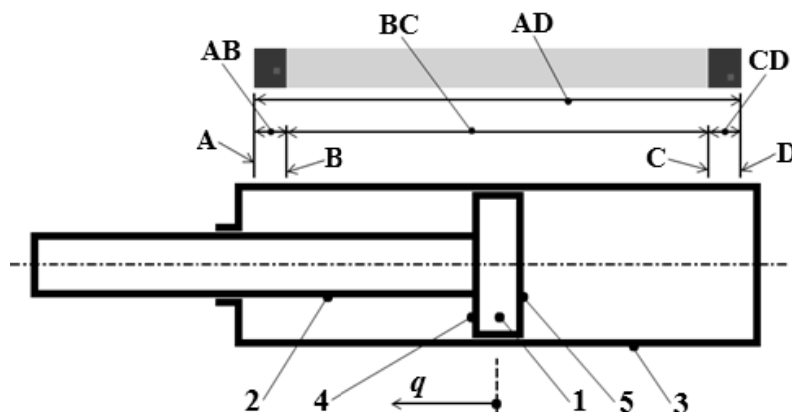


Рис. 1. Схема амортизатора телескопического типа

Структура функции $i = i(t)$ и способ её формирования определяют следующие четыре варианта организации процесса оперативного управления диссипативными характеристиками амортизатора.

3.1. Автономный режим работы

На этом режиме управляющее воздействие неизменно, т. е.

$$i = \text{const}. \quad (2)$$

Данный режим – наиболее простой конструктивный вариант управления характеристиками амортизатора. Он реализуется за счет естественного внутреннего автоматизма.

В данном режиме, в достаточно широком диапазоне положений поршня, ограниченном зоной BC (см. рис. 1), и составляющем, примерно, 89–91 % от общего максимального хода поршня, соответствующего общей рабочей зоне AD, рабочая характеристика амортизатора неизменна и состоит из одной кривой: кривой 1 на фазе отбоя, или кривой 4 на фазе сжатия (рис. 2).

Однако после пересечения поршнем граничных положений $q = 0,89q_{\text{max}}$, т. е. после пересечения правой грани 5 (рис. 1) поршня 1 положения C или левой грани 4 положения B, и по мере

Расчет и конструирование

его дальнейшего движения в пределах области соответствующей зонам CD и AB (зонам интенсивного демпфирования), вплоть до приближения поршня к крайним положениям D и A, степень демпфирования амортизатора, т. е. усилие Q на поршне 1 (рис. 1) и, следовательно, на штоке 2, начинает автоматически, прогрессивно увеличиваться. При этом соответствующая кривая характеристики начинает постепенно приближаться к оси ординат, занимая последовательно положения 1, 2 (рис. 1) и т. д. Наконец, в пределе, когда поршень окажется в крайнем левом положении, при котором левая грань 4 займет положение A (рис. 1), характеристика автоматически совместится с верхним лучом 3 оси ординат. В этом положении автоматически возникает режим «самоблокирования», при котором амортизатор превращается в единое жёсткое звено и дальнейшее движение поршня 1 левее положения A оказывается невозможным.

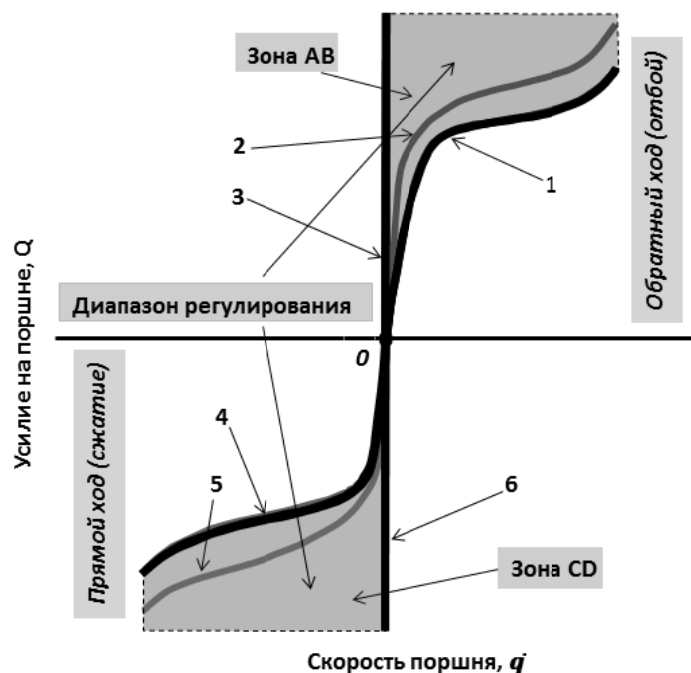


Рис. 2. Рабочие характеристики амортизатора при неизменном управляющем воздействии

Обозначим этот блокировочный режим, при котором левая грань 4 займет положение A (см. рис. 1) или правая грань 5 займет положение D как режим, соответствующий условию

$$q = q_{\max}. \quad (3)$$

Блокировочный режим в практическом отношении чрезвычайно востребован. Данный режим (3) – режим «гидрозамка», полностью и эффективно устраняет неприятное, но достаточно часто встречающееся при работе ТС явление «пробоя амортизатора». Вместе с тем необходимо иметь в виду, что при данном режиме имеет место «односторонняя блокировка» амортизатора.

Аналогичная ситуация имеет место на фазе сжатия, когда характеристика занимает последовательно положения 4, 5, 6.

Таким образом, только в данном режиме, в зонах АВ и CD интенсивного демпфирования адаптивного амортизатора, осуществляется автоматическое регулирование диссипативных характеристик амортизатора без непосредственного воздействия на первый управляющий параметр i .

3.2. Блокировочный режим работы

Этот режим возникает в отмеченных выше крайних, предельных положениях A и D поршня, описываемых отрезками 3 и 6 рабочих характеристик. В этом режиме амортизатор превращается в единое жёсткое звено. Подобный режим, как отмечено выше, возникает автоматически при условии, когда поршень занимает крайние положения A или D (см. рис. 1). Вместе с тем, блокировочный режим, помимо варианта, описанного выше, может также реализовываться в любой момент времени и при любом положении поршня путем фиксации соответствующего значения величины управляющего тока i .

3.3. Режим ручного управления

Этот режим является режимом принудительного управления характеристиками амортизатора со стороны водителя ТС. Он характеризуется тем, что, в отличие от (2), выполняется условие $i = \text{varia}$. (4)

Причем реализация условия (4) осуществляется «вручную», непосредственно водителем ТС.

Диапазон регулирования рабочих характеристик амортизатора представляет собой совокупность бесконечно-непрерывного семейства кривых 1...3 и отрезка 4 (рис. 3), непрерывно заполняющих весь первый и третий квадранты координатной плоскости $Q0\dot{q}$. Действительно, во-первых, за счёт выбора конструктивных параметров цилиндропоршневого узла и электрогидравлического клапана адаптивного амортизатора степень его демпфирования можно сделать весьма незначительной. Другими словами, кривую 1 на рис. 3 можно «неограниченно приблизить» к оси абсцисс, вплоть до её слияния с осью абсцисс. Во-вторых, за счет выбора, согласно (4), величины управляющего тока в электрогидравлическом клапане амортизатора, степень демпфирования амортизатора можно неограниченно увеличивать, вплоть до реализации блокировочного режима, при котором характеристика амортизатора совместится с лучом 4.

Таким образом, можно сделать вывод, что предлагаемые конструктивные схемы адаптивных амортизаторов позволяют реализовать «бесконечный» диапазон регулирования диссипативных характеристик, т. е. реализуют «гипердиапазон» регулирования диссипативных характеристик.

Следует иметь в виду, что в рассматриваемом режиме, в зоне ВС (см. рис. 1), изменение характеристик амортизатора осуществляется только за счет функционирования электрогидравлического клапана. Вместе с тем, в зонах АВ и CD на формирование характеристик начинают оказывать существенное влияние и конструктивные параметры цилиндропоршневого узла. Данное обстоятельство проявляется тем значительнее, чем ближе поршень приближается к крайним положениям А и D. И, наконец, в крайних положениях А и D амортизатор имеет в качестве рабочей характеристики отрезок 4 или 12 соответственно (см. рис. 3). В этих положениях, как уже отмечалось, имеет место блокировочный режим.

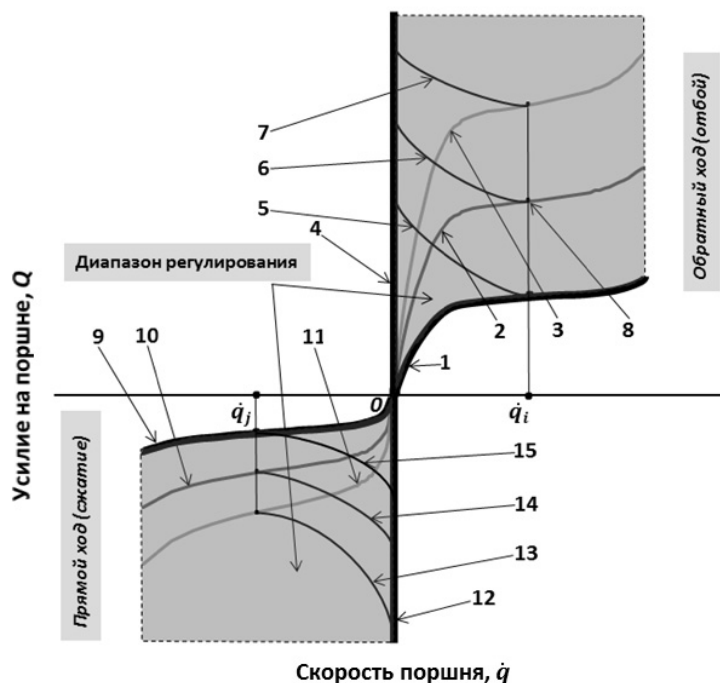


Рис. 3. Рабочие характеристики амортизатора при изменении управляющего воздействия i

Помимо отмеченных особенностей, данному, 3-му режиму управления свойственно ещё одно, весьма полезное в практическом отношении, качество: способность реализовать в любом положении поршня и в любой момент времени блокировочный режим. Предположим, что аморти-

Расчет и конструирование

затор «работает» согласно характеристике 2 (см. рис. 3). Пусть при некотором значении $\dot{q} = \dot{q}_i$, скорости поршня, т. е. в некоторой точке 8, мы решили его заблокировать, т. е. фактически превратить его в единое жёсткое звено. Водитель подаёт на блок управления соответствующий сигнал – выбирает заданную величину управляющего тока i в электрогидравлическом клапане. При этом амортизатор автоматически «переходит» в точке 8 с характеристики 2 на кривую 6 и, далее, в момент остановки поршня – на отрезок 4.

Здесь необходимо отметить, что в отличие от случая, рассмотренного при анализе автономного режима работы амортизатора, при управлении величиной управляющего тока i достигается реализация «двухсторонней блокировки», когда движения поршня блокируются одновременно во всех направлениях.

3.4. Режим автоматического управления

Этот режим удовлетворяет условию (4). Однако управляющее воздействие уже осуществляется в автоматическом режиме в соответствии с установленной программой. Рабочие характеристики и функциональные возможности амортизатора соответствуют предыдущему режиму.

4. Рабочие характеристики экспериментального образца адаптивного амортизатора автомобиля «Лада Калина»

На рис. 4 приведена экспериментальная рабочая характеристика одной из конструкций адаптивного блокируемого амортизатора, разработанного для использования в задней подвеске автомобиля «Лада Калина».

Характеристика состоит из двух фаз – фазы сжатия и фазы отбоя, представляет собой совокупность зон А и В и ограничена кривыми r_i и прямыми $Q = 1150 \text{ Н}$, $Q = -3400 \text{ Н}$, $q = -0,5 \text{ м/с}$, $q = 0,5 \text{ м/с}$ и осью ординат. Она включает бесчисленное множество кривых r_i и отрезок R. Таким образом, диапазон D регулирования амортизатора представляет собой совокупность бесчисленного множества кривых r_i и отрезка R:

$$D \in \sum_{i=1}^{\infty} (r_i ; R). \quad (5)$$

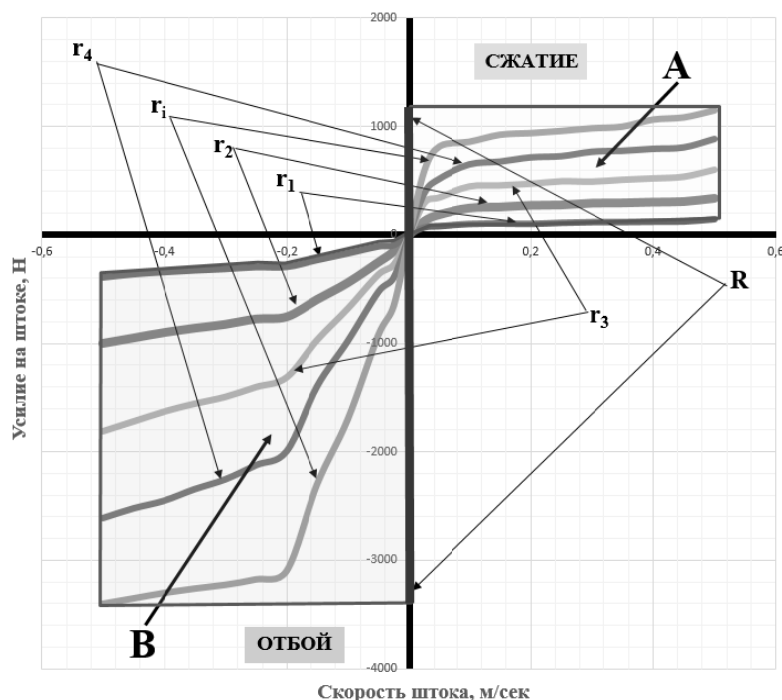


Рис. 4. Рабочая характеристика адаптивного амортизатора

Отметим, что характеристика строилась в следующем диапазоне d изменения скорости \dot{q} штока:

$$\dot{q} \in d \equiv [-0,5 \text{ м/с}; 0,5 \text{ м/с}]. \quad (6)$$

При этом важно, что пространство (5) на множестве (6) непрерывно. Это, в частности, указывает на то, что:

1) регулирование рабочих характеристик адаптивного амортизатора – непрерывно (в отличие от ступенчатого);

2) практически можно реализовать любую точку множества (5).

Подчеркнем, что пространство D рабочих характеристик адаптивного амортизатора содержит также отрезок R , который описывает блокировочный режим, когда поршень блокируется с рабочим цилиндром и амортизатор представляет собой единое жёсткое звено, т. е. при этом функция (1) имеет вид

$$\forall \dot{q} \in d : Q = Q(\dot{q}, p) \equiv \text{const.} \quad (7)$$

Необходимо иметь в виду, что пространство D содержит также (рис. 4) и характеристику r_2 – рабочую характеристику штатного амортизатора задней подвески автомобиля «Лада Калина». Из этого непосредственно видно, что штатный амортизатор позволяет реализовать только одну характеристику из бесчисленного множества характеристик нашего адаптивного амортизатора.

5. Что даёт использование наших конструкций

Теоретический анализ, конструктивные проработки, испытания опытных образцов и их сравнительный анализ позволил нам с уверенностью сделать ряд практических выводов, касающихся оценки технических и эксплуатационных преимуществ разработанных нами конструкций адаптивных амортизаторов и упругих элементов. В целом, основное содержание выводов сводится к следующему [8, 21].

Использование разработанных нами конструкций адаптивных амортизаторов и упругих элементов с нелинейной характеристикой в подвесках транспортных средств позволит:

1. Значительно, не менее чем на 85 %, увеличить плавность хода транспортного средства без снижения средних скоростей движения и без увеличения хода подвески; такого ещё не удавалось никому в мировой практике конструирования ТС; данное обстоятельство автоматически будет способствовать повышению комфортабельности ТС.

2. В широком диапазоне скоростного режима движения, значительно (более чем на 50 %) повысить скорость движения ТС по дорогам с существенными неровностями, при условии обеспечения нормативных значений виброскоростей и виброускорений поддресоренных и неподдресоренных масс; это качество привлекательно для ТС любых типов, но особенно востребовано у быстроходных гусеничных машин, в высокоскоростном железнодорожном транспорте и до настоящего времени не реализовано в полной мере ни в одной из конструкций подвесок ТС; данное обстоятельство автоматически будет способствовать повышению комфортабельности ТС.

3. В широком диапазоне скоростного режима движения, значительно, не менее чем на 65 % снизить уровни динамической и вибрационной нагруженности водителя, пассажиров ТС, перевозимых грузов, характерных элементов шасси и кузова ТС и транспортного средства в целом, при условии сохранения его скоростных параметров; это качество до настоящего времени не реализовано в полной мере ни в одной из конструкций подвесок ТС; данное обстоятельство автоматически будет способствовать повышению комфортабельности ТС.

4. Значительно повысить устойчивость ТС, увеличить критическую скорость ТС по боковому опрокидыванию не менее чем на 62 %; увеличить более чем на 50 % критический угол опрокидывания ТС; увеличить более чем на 45 % критическую скорость ТС по курсовой устойчивости. Это качество, так же как и предыдущее, привлекательно для ТС любых типов, но особенно востребовано у быстроходных гусеничных машин, в высокоскоростном железнодорожном транспорте и до настоящего времени не реализовано в полной мере ни в одной из конструкций подвесок ТС; данное качество также способствует значительному повышению безопасности движения ТС, комфортабельности ТС.

5. В широком диапазоне скоростного режима движения более чем на 60 % увеличить устойчивость и повысить эффективность стабилизации ТС при его резком торможении и разгоне; данное качество также способствует значительному повышению безопасности движения ТС, комфортабельности ТС.

6. Значительно повысить управляемость транспортным средством: увеличить более чем на 42 % величину предельной скорости входа ТС в заданный поворот; увеличить более чем на 48 % величину предельной скорости входа ТС в момент входа в «переставку» и т. п.; данное качество также способствует значительному повышению безопасности движения ТС, комфортабельности ТС.

Расчет и конструирование

7. Ускорить не менее чем на 60 % стабилизацию положения кузова ТС во время движения на поворотах, во время движения по неровностям, после выполнения, например, технологических операций, связанных с возникновением значительных импульсных нагрузок на корпус ТС, что особенно важно для быстроходных гусеничных машин; данное качество также способствует значительному повышению безопасности движения ТС, комфортабельности ТС.

8. Полностью исключить явление «пробоя» амортизатора, повысив тем самым надежность конструкции подвески; это качество до настоящего времени не реализовано в полной мере ни в одной из конструкций подвесок ТС.

9. За счет улучшения контакта шин с дорожным полотном на 50 % улучшить тормозные качества ТС, повысив тем самым и безопасность движения ТС.

10. Исключить из схемы подвески стабилизирующий элемент – стабилизатор поперечной устойчивости, так как его функции успешно выполняют адаптивные амортизаторы.

11. Исключить использование в подвеске буферов сжатия и отбоя.

12. Вследствие снижения уровня динамических нагрузок, уровня вибраций увеличить не менее чем в 1,7 раза долговечность наиболее нагруженных элементов подвески: сайлентблоков, опор амортизаторов, рычагов направляющих устройств.

13. Вследствие снижения уровня динамических нагрузок, уровня вибраций увеличить не менее чем в 1,5 раза надежность (увеличить межремонтные периоды) основных крепежных элементов кузова и агрегатов шасси.

14. Оптимизировать частотный диапазон собственных колебаний кузова ТС в широком скоростном диапазоне движения ТС и широком диапазоне нагруженности ТС; данное обстоятельство автоматически будет способствовать повышению комфортабельности ТС, плавности хода ТС.

Следует также отметить и такие достоинства наших конструкций:

15. Одним из существенных положительных свойств наших амортизаторов является то, что в энергетическом отношении они относятся к пассивному типу: для их функционирования практически не требуется какого-либо дополнительного подвода энергии. Потребление электроэнергии в режиме управления составляет не более 6 Вт.

16. К достоинству наших конструкций можно смело отнести и то, что их установка на ТС не предполагает какую-либо перекомпоновку кузова ТС: существующие конструкции мы просто «вписываем» в штатную подвеску. Примечательно, что наши адаптивные амортизаторы широко реализуют «принцип преемственности» конструкции: в качестве цилиндрического узла можно использовать существующие штатные конструкции обычных амортизаторов, которые предварительно несколько упрощаются; основные усилия в изготовлении амортизаторов связаны с созданием электрогидравлического клапана.

Выводы

1. В работе подробно рассмотрены функциональные свойства и рабочие характеристики адаптивных амортизаторов нового принципа действия. Отмечается, что существует четыре режима организации процесса оперативного управления диссипативными характеристиками предложенного амортизатора. Каждый из режимов описан подробно с указанием их особенностей и характеристик осуществляемых процессов. Разработанные конструктивные решения позволяют регулировать рабочие характеристики подвесок непосредственно во время движения транспортного средства в зависимости от дорожных условий либо в автоматическом режиме, либо в режиме ручного управления.

2. Проведен сравнительный анализ предложенных адаптивных амортизаторов с существующими зарубежными аналогами. Показано, что рассмотренные в статье амортизаторы обладают явными преимуществами по сравнению с известными конструкциями амортизаторов ведущих фирм по их производству. Дано подробное пояснение, какие преимущества дает применение рассмотренных в статье амортизаторов нового типа.

3. При использовании в подвесках транспортных средств разработанных и описанных в статье конструкций адаптивных амортизаторов транспортное средство по ходовым эксплуатационным характеристикам качественно превзойдет известные мировые бренды, оставив позади основных мировых конкурентов.

Обсуждение и применение

Использование полученных результатов при проектировании автомобилей способствует высокоэффективному решению задачи кардинального улучшения комфортабельности, увеличения плавности хода транспортного средства, значительного снижения уровня динамических нагрузок на перевозимый груз, пассажиров, экипаж, узлы и звенья транспортного средства. Особенно это важно при перемещении по дорожному покрытию пониженного качества, что характерно, в частности, для дорожных условий Российской Федерации. Область применения конструкций, при проектировании которых могут быть использованы результаты проведенных исследований, очень широкая: подвески практически любых транспортных средств, кроме «водоплавающих»: это и автомобили (грузовые, легковые, автобусы), и быстроходные гусеничные машины, в том числе специального назначения, и прицепы, летательные аппараты различного назначения, железнодорожный транспорт, в особенности высокоскоростной, мотоциклы и т. п. Использование результатов проведенных исследований позволит оптимально согласовать различные требования к эксплуатационным характеристикам транспортных средств. При их применении транспортное средство будет снабжено подвеской, которая может по своим технико-экономическим показателям качественно превзойти известные бренды.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Германской службы академических обменов DAAD, государственное задание № 9.12812.2018/12.2.

Литература

1. Properties of New Adaptive Suspension of Vehicles / A.F. Dubrovskiy, S.V. Aliukov, S.F. Dubrovskiy, A.S. Alyukov // Proceedings of the World Congress on Engineering, WCE 2017, London, UK. – 2017. – Vol. II. – P. 900–905.
2. Observer-Based Hybrid Control Algorithm for Semi-Active Suspension Systems / H. Ren, S. Chen, Y. Zhao et al. // Journal of Central South University. – 2016. – Vol. 23. – № 9. – P. 2268–2275.
3. Соломатин, Н.С. Особенности моделирования системы поддресоривания силового агрегата переднеприводного легкового автомобиля методом конечных элементов / Н.С. Соломатин, Л.А. Черепанов, А.П. Окунев // Проведение научных исследований в области машиностроения: сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с элементами научной школы для молодежи. – Тольятти: ТГУ. – 2009. – Ч. 2. – С. 364.
4. Sharifi, M. Pareto Optimization of Vehicle Suspension Vibration for a Nonlinear Halfcar Model Using a Multi-Objective Genetic Algorithm / M. Sharifi, B. Shahriari // Research Journal of Recent Sciences. – 2012. – Vol. 1. – № 8. – P. 17–22.
5. Adaptive Suspension of Vehicles with Wide Range of Control / A.F. Dubrovskiy, S.V. Aliukov, A.V. Keller et al. // SAE Technical Papers, SAE Commercial Vehicle Engineering Congress. – 2016. – Vol. 2016-October.
6. Гидропневматическая подвеска Hydractive. – <http://systemsauto.ru/pendant/hydroactive.html> (дата обращения: 19.11.2018).
7. Программа самообучения 406. Система адаптивного управления ходовой части DCC. Конструкция и принцип действия. – http://vwts.ru/pps/pps_406_adapt_podveska_dcc_rus.pdf (дата обращения: 19.11.2018).
8. Basic Characteristics of Adaptive Suspensions of Vehicles with New Principle of Operation / A.F. Dubrovskiy, S.V. Aliukov, S.F. Dubrovskiy, A.S. Alyukov // SAE International Journal of Commercial Vehicles, the USA. – 2017. – Vol. 10, № 1. – P. 193–203.
9. Пат. 2232316 Российская Федерация. Магнитореологический амортизатор / Е.П. Гусев, А.М. Плотников, С.Ю. Воеводов; заявитель и патентообладатель ЗАО «Плаза Плюс»; заявл. 20.02.2002; опубл. 10.07.2004.
10. Kuznetsov, A. Optimization of a Quarter-Car Suspension Model Coupled with the Driver Biomechanical Effect / A. Kuznetsov, M. Mammadov, S. Hajilarov // Journal of Sound and Vibration. – 2011. – Vol. 330. – № 12. – P. 2937–2946.
11. Basic Characteristics of Adaptive Suspensions / A.F. Dubrovskiy, S.V. Aliukov, S.F. Dubrovskiy, A.S. Alyukov // WCX™ 17: SAE World Congress Experience, Location: Detroit Michigan, United States. – 2017. – Date: 2017-4-4 to 2017-4-6.

12. Pareto Optimization of a Two-Degree of Freedom Passive Linear Suspension Using a New Multiobjective Genetic Algorithm / A. Bagheri, M. Mahmoodabadi, H. Rostami, S. Kheybari // International Journal of Engineering, Transactions A: Basics. – 2011. – Vol. 24. – № 3. – P. 291–299.
13. Marzbanrad, J. Optimization of a Passive Vehicle Suspension System for Ride Comfort Enhancement with Different Speeds Based on Design of Experiment Method (DOE) Method // J. Marzbanrad, M. Mohammadi, S. Mostaani // Journal of Mechanical Engineering Research. – 2013. – Vol. 5. – № 3. – P. 50–59.
14. Anirban, C. Optimization of Automotive Suspension System by Design of Experiments: A Nonderivative Method / C. Anirban, S. Tanushri, G. Kiranchand // Advances in Acoustics and Vibration. – 2016. – Vol. 2016, article ID 3259026. DOI: 10.1155/2016/3259026
15. Jayasuriya, H. Dynamic Performance and Ride Comfort Evaluation of the Seat Suspension System in a Small Agricultural Tractor to Attenuate Low-Frequency Vibration Transmission / H. Jayasuriya, K. Sangpradit // Agricultural Engineering International: CIGR Journal. – 2014. – № 16 (1). – P. 207–216.
16. Double Wishbone Suspension System / R. Rohith, R. Raja, V. Suraj, P. Ratna // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2017. – № 8 (5). – P. 249–264.
17. Sherje, N. Preparation and Characterization of Magnetorheological Fluid for Damper in Automobile Suspension / N. Sherje, S. Deshmukh // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2016. – № 7 (4). – P. 75–84.
18. Jing, H. Output-Feedback Based H_∞ Control for Active Suspension Systems with Control Delay / H. Jing, X. Li, H. Karimi // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2014. – Vol. 61. – № 1. – P. 436–446.
19. Reza, N. Vehicle Dynamics: Theory and Application / N. Reza // Spring. – 2012. – P. 455.
20. Дубровский, А.Ф. Выбор параметров подвески грузовых автомобилей «УРАЛ» для повышения скорости движения по изношенным грунтовыми дорогам / А.Ф. Дубровский, М.И. Абрамов, Ю.А. Сакулин // Вестник Оренбург. гос. ун-та. Технические науки. – 2014. – № 10 (171). – С. 66–75.
21. Adaptive Suspension of Vehicles and its Characteristics / A.F. Dubrovskiy, S.V. Aliukov, S.F. Dubrovskiy, A.S. Alyukov // The World Congress on Engineering and Computer Science, WCECS 2017, San Francisco, USA. – 2017. – Vol. II.
22. Singh, D. Passenger Seat Vibration Control of a Semi-Active Quarter Car System with Hybrid Fuzzy-PID Approach / D. Singh, M. Aggarwal // International Journal of Dynamics and Control. – 2017. – Vol. 5. – № 2. – P. 287–296.

Дубровский Анатолий Федорович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, duanf@mail.ru.

Алюков Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры «Управление инновациями в бизнесе», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, alysergey@gmail.com.

Дубровский Сергей Анатольевич, преподаватель, Южно-Уральский университет дополнительного образования, г. Челябинск, duanf@mail.ru.

Алюков Александр Сергеевич, аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, alyukovalexandr@gmail.com.

Прокопьев Кирилл Валерьевич, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, duanf@mail.ru.

Якупов Олег Рифкатович, главный конструктор ОАО «АЗ УРАЛ», г. Миасс, yakupov@mail.uralaz.ru.

Поступила в редакцию 12 октября 2018 г.

NEW-MODE ADAPTIVE SHOCK ABSORBERS OF VEHICLES

A.F. Dubrovskiy¹, duanf@mail.ru,
S.V. Aliukov¹, alysergey@gmail.com,
S.A. Dubrovskiy², duanf@mail.ru,
A.S. Alyukov¹, alyukovalexandr@gmail.com,
K.V. Prokopiev¹, duanf@mail.ru,
O.R. Yakupov³, yakupov@mail.uralaz.ru

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

²South Ural University of Further Education, Chelyabinsk, Russian Federation,

³JSC "URAL AZ", Miass, Russian Federation

Development of any vehicle requires strict compliance with certain pre-set performance characteristics. So-called vehicle performance characteristics are especially important. These characteristics do not involve estimation of traction and dynamic parameters of vehicles, their fuel efficiency, etc. Our research aims to develop new-mode adaptive suspensions of vehicles. Currently, a team of leading researchers supervised by professor A.F. Dubrovskiy of the Automobile and Tractor Faculty at South Ural State University has completed a large scope of fundamental research work on development of new-mode adaptive suspensions (suspension systems) of vehicles that can be adjusted to road conditions on the move either automatically or manually. We have developed, studied, designed, manufactured, and tested the following main assemblies of adaptive suspensions of vehicles: adaptive lockable shock absorbers and elastic elements with non-linear characteristics. Their combined functional properties and performance characteristics significantly outperform the existing foreign analogues, let alone domestic designs. To demonstrate these advantages, we made a full-scale stand of the chassis of a VW PASSAT CC "right front quarter" and conducted comparative simulation tests of the "vehicle riding on uneven road surface" with the operational suspension and with a suspension equipped with the developed elastic elements and adaptive shock absorbers. This paper analyzes the prospects of using adaptive shock absorbers with an ultra-wide range of performance adjustment in vehicle suspensions.

Keywords: vehicles, performance characteristics, shock absorbers.

References

1. Dubrovskiy A.F., Aliukov S.V., Dubrovskiy S.F., Alyukov A.S. Properties of New Adaptive Suspension of Vehicles. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, WCE 2017, 2017, London, UK, vol. II, pp. 900–905.
2. Ren H., Chen S., Zhao Y., Liu G., Yang L. Observer-Based Hybrid Control Algorithm for Semi-Active Suspension Systems. *Journal of Central South University*, 2016, vol. 23, no. 9, pp. 2268–2275.
3. Solomatin N.S., Cherepanov L.A., Okunev A.P. [Features of the Simulation of the Suspension System of the Power Unit of a Front-Wheel Drive Passenger Car by the Finite Element Method]. *Provedenie nauchnykh issledovanij v oblasti mashinostroeniya: sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferenciej s ehlementami nauchnoj shkoly dlya molodezhi* [Conducting research in the field of mechanical engineering: a collection of materials of the All-Russian Scientific-Technical Conference with elements of a scientific school for young people], 2009, vol. 2, p. 364. (in Russ.)
4. Sharifi M., Shahriari B. Pareto Optimization of Vehicle Suspension Vibration for a Nonlinear Halfcar Model Using a Multi-Objective Genetic Algorithm. *Research Journal of Recent Sciences*, 2012, vol. 1, no. 8, pp. 17–22.
5. Dubrovskiy A.F., Aliukov S.V., Keller A.V., Dubrovskiy S.F., Alyukov A.S. Adaptive Suspension of Vehicles with Wide Range of Control. *SAE Technical Papers*, 2016, SAE Commercial Vehicle Engineering Congress, COMVEC 2016, vol. 1, 2016. DOI: 10.4271/2016-01-8032
6. *Gidropnevmaticheskaya podveska Hydractive* [Suspension Hydractive]. Available at: <http://systemsauto.ru/pendant/hydroactive.html> (accessed: 19.11.2018).
7. *Programma samoobucheniya 406. Sistema adaptivnogo upravleniya khodovoy chasti DCC. Konstruktsiya i printsip deystviya* [Self-study program 406. DCC undercarriage adaptive steering system.

Расчет и конструирование

The design and principle of operation]. Available at: http://vwts.ru/pps/pps_406_adapt_podveska_dcc_rus.pdf (accessed: 19.11.2018).

8. Dubrovskiy A.F., Aliukov S.V., Dubrovskiy S.F., Alyukov A.S. Basic Characteristics of Adaptive Suspensions of Vehicles with New Principle of Operation. *SAE International Journal of Commercial Vehicles*, 2017, vol. 10, iss. 1, pp. 193–203.

9. Gusev E.P., Plotnikov A.M., Voevodov S.Yu. *Magnitореологический амортизатор* [Magnetorheological shock absorber]. Patent RF, no. 2232316, 2004.

10. Kuznetsov A., Mammadov M., Sultan I., Hajilarov E. Optimization of a Quarter-Car Suspension Model Coupled with the Driver Biomechanical Effects. *Journal of Sound and Vibration*, 2011, vol. 330, no. 12, pp. 2937–2946.

11. Dubrovskiy A.F., Aliukov S.V., Dubrovskiy S.F., Alyukov A.S. Basic Characteristics of Adaptive Suspensions, 2017, *WCX™ 17: SAE World Congress Experience*, Location: Detroit Michigan, United States.

12. Bagheri A., Mahmoodabadi M., Rostami H., Kheybari S. Pareto Optimization of a Two-Degree of Freedom Passive Linear Suspension Using a New Multiobjective Genetic Algorithm. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 2011, vol. 24, no. 3, pp. 291–299.

13. Marzbanrad J., Mohammadi M., Mostaani S. Optimization of a Passive Vehicle Suspension System for Ride Comfort Enhancement with Different Speeds Based on Design of Experiment Method (DOE) Method. *Journal of Mechanical Engineering Research*, 2013, vol. 5, no. 3, pp. 50–59.

14. Anirban C., Tanushri S., Kiranchand G. Optimization of Automotive Suspension System by Design of Experiments: A Nonderivative Method. *Advances in Acoustics and Vibration*, 2016, vol. 2016, article ID 3259026. DOI: 10.1155/2016/3259026

15. Jayasuriya H., Sangpradit K. Dynamic Performance and Ride Comfort Evaluation of the Seat Suspension System in a Small Agricultural Tractor to Attenuate Low-Frequency Vibration Transmission. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 2014, no. 16 (1), pp. 207–216.

16. Rohith R., Raja R., Suraj V., Ratna P. Double Wishbone Suspension System. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2017, no. 8 (5), pp. 249–264.

17. Sherje N., Deshmukh S. Preparation and Characterization of Magnetorheological Fluid for Damper in Automobile Suspension. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2016, no. 7 (4), pp. 75–84.

18. Jing H., Li X., Karimi H. Output-Feedback Based H_∞ Control for Active Suspension Systems with Control Delay. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2014, vol. 61, no. 1, pp. 436–446.

19. Reza N. *Vehicle Dynamics: Theory and Application*. Springer, 2012, 455 p.

20. Dubrovskiy A.F., Abramov M.I., Sakulin Yu.A. [The Choice of Parameters of the Suspension of Trucks “Ural” to Increase the Speed of Movement on Worn out Dirt Roads]. *Bulletin of Orenburg State University. Technical science*, 2014, no. 10 (171), pp. 66–75. (in Russ.)

21. Dubrovskiy A.F., Aliukov S.V., Dubrovskiy S.F., Alyukov A.S. Adaptive Suspension of Vehicles and its Characteristics. *The World Congress on Engineering and Computer Science*, 2017, vol. II, WCECS 2017, San Francisco, USA.

22. Singh D., Aggarwal M. Passenger Seat Vibration Control of a Semi-Active Quarter Car System with Hybrid Fuzzy-PID Approach. *International Journal of Dynamics and Control*, 2017, vol. 5, no. 2, pp. 287–296.

Received 12 October 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Адаптивный амортизатор транспортных средств нового принципа действия / А.Ф. Дубровский, С.В. Алиуков, С.А. Дубровский и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 5–16. DOI: 10.14529/engin180401

FOR CITATION

Dubrovskiy A.F., Aliukov S.V., Dubrovskiy S.A., Alyukov A.S., Prokopiev K.V., Yakupov O.R. New-Mode Adaptive Shock Absorbers of Vehicles. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2018, vol. 18, no. 4, pp. 5–16. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin180401