

У ДК 681.32

А.О. Харченко, проф., канд. техн. наук,

Г.Ф. Косова, доцент, канд. техн. наук,

А.Г. Остренко, аспирант

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

auto@sevgtu14.sebastopol.ua

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ АНАЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ АМОРТИЗАТОРОВ ПОВЫШЕННОЙ НАДЁЖНОСТИ

Разработана конструкция регулируемого амортизатора с дифференцированным усилием растяжения–сжатия, обеспечивающего заданные параметры нелинейной силовой характеристики, на основе применения метода электромеханических аналогий.

Одной из важнейших задач по обеспечению безопасности движения автомобильного транспорта является оптимизация характеристик рабочего цикла амортизатора. Для решения задачи параметрической оптимизации используются различные методы, известные из научно-технической литературы. В данной работе предлагается использовать метод электромеханических аналогий, основы которого рассмотрены в работе [1]. Данный метод применительно к элементам подвески автомобиля ранее не использовался. Выпускавшиеся ранее автомобили не имели таких скоростных и динамических характеристик, как современные, в связи с чем к параметрам амортизаторов предъявлялись существенно меньшие требования.

Амортизаторы относятся к демпфирующим элементам системы подвески автомобиля, которые служат для гашения колебаний кузова транспортного средства. Управляемость автомобиля и безопасность водителей и пассажиров зависят от надёжной, устойчивой и качественной работы амортизаторов.

Эффективность гашения колебаний влияет на такие параметры, как длина тормозного пути автомобиля, скорость вхождения в поворот, устойчивость и управляемость. Задача создания амортизаторов, в которых жёсткость (сопротивление усилию растяжения – сжатия) менялась бы в соответствии с дорожными условиями, является весьма важной и актуальной.

Особенностью таких амортизаторов является нелинейная силовая характеристика (рисунок 1), имеющая ярко выраженные зоны возрастания рабочих усилий на штоке амортизатора в

конечных точках его перемещения. Такая характеристика амортизатора предотвратит его «пробой», а, следовательно, повысит его надёжность, а также управляемость автомобиля на дорогах с некачественным покрытием. Целью исследований

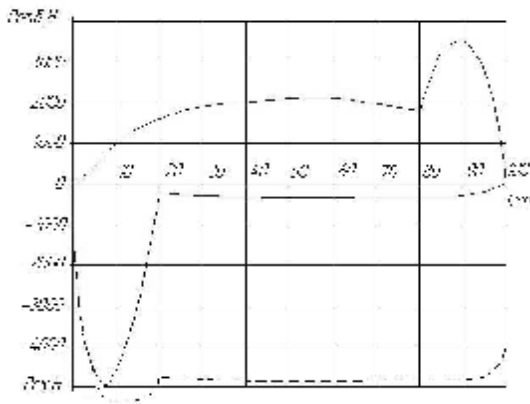


Рисунок 1 – Силовая характеристика амортизатора

является параметрический синтез гидравлических амортизаторов повышенной надёжности.

Для решения задачи параметрической оптимизации проектируемого амортизатора воспользуемся методом электромеханической аналогии, так как физические явления, происходящие в различных средах сложно, и весьма громоздко описывать по законам гидравлики, теплоотдачи и т.п.

Сущность метода заключается в представлении механических элементов технического объекта в виде электрических параметров, действие которых на электрический ток эквивалентно действию рассматриваемых механических параметров: массы, жёсткости и т.д. При этом моделирование динамики механической системы сводится к исследованию электромагнитных процессов в её электрическом аналоге [3], что позволяет привлечь к решению задачи существующий математический аппарат анализа электрических цепей.

В данном случае аналогом гидромеханической модели амортизатора может служить электрический демпфирующий контур (рисунок 2). Электрические ёмкости $C1...C3$ являются аналогом гидравлических резервуаров. Роль перепускных клапанов выполняют участки $r12 - L12, r13 - L13, r21 - L21, r31 - L31$. Регулируемый резистор $r21$ обеспечивает изменения рабочих

характеристик хода сжатия. Резисторы r_{14} и r_{24} , изменяющие значение своего сопротивления в зависимости от соответствующих ёмкостей C_3 и C_1 , играют роль устройств, обеспечивающих увеличения сопротивления перемещению штока в конечных участках его хода.

Смена хода сжатия амортизатора ходом отбоя моделируется путём переключения идеальных вентилях $VS_1...VS_4$. В контур также введены активные сопротивления $R_5...R_7$, учитывающие потери на трение в узлах амортизатора. Аналогом механической силы $F(t)$ служит источник, генерирующий электродвижущую силу $E(t)$. Связь между гидравлическими и электрическими параметрами приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Соотношение механических и электрических параметров

Механический параметр		Электрический параметр	
Наименование	Обозначение, формула	Наименование	Обозначение, формула
Объём жидкости, $м^3$	V	Заряд, Кл	Q
Давление жидкости, Па	p	Напряжение, В	u
Расход жидкости, $\frac{м^3}{с}$	$G = \frac{dV}{dt}$	Сила тока, А	$i = \frac{dQ}{dt}$
Гидравлическая ёмкость, $\frac{м^3}{Па}$	$C_h = \frac{V}{p}$	Ёмкость, Ф	$C = \frac{Q}{u}$
Гидравлическое сопротивление, $\frac{Па \cdot с}{м^3}$	$R_h = \frac{\Delta p}{G}$	Активное сопротивление, Ом	$R = \frac{u}{i}$
Инерционность, $\frac{Па \cdot с^2}{м^3}$	$M = \frac{\Delta p}{\frac{dG}{dt}}$	Индуктивность, Гн	$L = \frac{u}{\frac{di}{dt}}$

На основе указанных в таблице 1 соотношений составлена система дифференциальных уравнений, описывающая состояние контура, изображённого на рисунке 2:

$$\begin{cases} i = C_1 \cdot \frac{\partial U_{C_1}}{\partial t} + C_2 \cdot \frac{\partial U_{C_2}}{\partial t}, \\ i_2 = C_3 \cdot \frac{\partial U_{C_3}}{\partial t} + C_2 \cdot \frac{\partial U_{C_2}}{\partial t}, \\ E = U_{C_1} + C_1 \cdot \frac{\partial U_{C_1}}{\partial t} \cdot R_1, \\ E = L_1 \cdot C_2 \cdot \frac{\partial^2 U_{C_2}}{\partial t^2} + C_2 \cdot \frac{\partial U_{C_1}}{\partial t} \cdot r_1 + U_{C_2} + C_2 \cdot \frac{\partial U_{C_2}}{\partial t} \cdot R_2, \\ U_{C_2} = C_2 \cdot \frac{\partial U_{C_2}}{\partial t} \cdot R_2 + L_2 \cdot C_3 \cdot \frac{\partial^2 U_{C_3}}{\partial t^2} + C_3 \cdot \frac{\partial U_{C_3}}{\partial t} \cdot r_2 + U_{C_3} + C_3 \cdot \frac{\partial U_{C_3}}{\partial t} \cdot R_3. \end{cases}$$

Решая систему с помощью математического программного пакета Maple 7.0 или при помощи программы Electronic Workbench 5.12, получаем зависимость напряжения U_{C_3} от времени t (рисунок 3), которая является аналогом рабочей характеристики (сжатия)

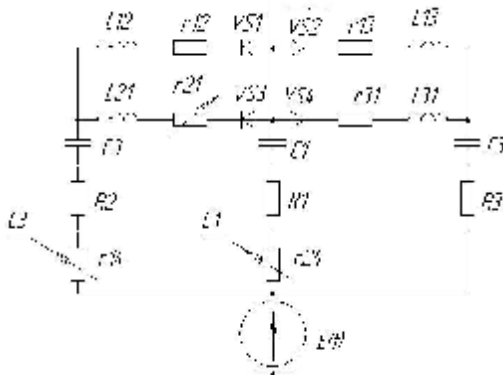


Рисунок 2 – Электрический демпфирующий контур – аналог гидромеханической модели амортизатора автомобильного амортизатора в PI координатах.

Задавая различные начальные условия и закон изменения внешней нагрузки $E(t)$, можно получить возможность исследовать поведение амортизатора при различных условиях эксплуатации. Кроме того, особый интерес представляет решение обратной задачи моделирования: задавая определённый закон $I = f(E(t), t)$ и изменяя схему электрического аналога, можно получить

принципиально новые конструкции амортизаторов, позволяющие более эффективно решать задачи повышения надёжности и безопасности транспортного средства.

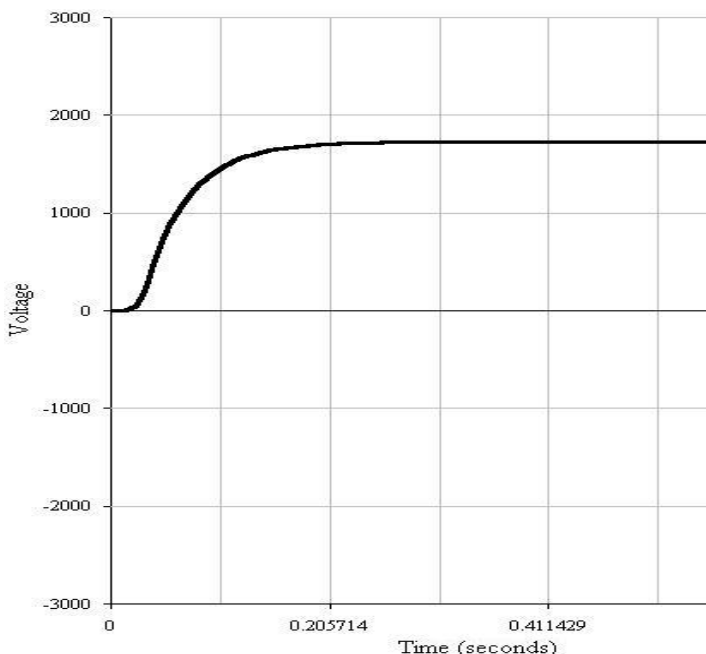


Рисунок 3 – Зависимость напряжения U_{C_3} от времени t

На основе анализа, синтеза и расчёта показателей надёжности при помощи применения метода электромеханических аналогий разработана конструкция регулируемого амортизатора с дифференцированным усилием растяжения–сжатия (рисунок 4) [2,3].

Технический результат достигается за счёт того, что амортизатор содержит рабочий цилиндр и внешний резервуар для рабочей жидкости, рабочий поршень со штоком, перепускным клапаном и клапаном отдачи, клапан сжатия и впускной клапан. В бесштоковой полости рабочего цилиндра на пружине установлен дополнительный поршень, аналог резистора r_{24} , с упругим кольцом на верхнем торце. В штоковой полости рабочего цилиндра расположен с возможностью осевого перемещения, поршень

отдачи, верхняя часть которого взаимодействует посредством конической телескопической пружины с втулкой установленной с возможностью осевого перемещения относительно штока. В нижней части поршня отдачи выполнена внутренняя коническая поверхность с углом образующей, равным углу образующей обращённой к ней наружной конической поверхности втулки, закреплённой на штоке между рабочим поршнем и поршнем отдачи и имеющей сквозные калиброванные канавки вдоль указанной конической поверхности. В бесштоковой полости в дополнительном поршне (аналог резистора $r14$), выполнено сквозное осевое калиброванное отверстие и упругое кольцо постоянного профиля.

Для осуществления регулирования усилия сжатия между верхним торцом рабочего поршня и тарелкой, закреплённой на штоке, установлена система регулирования жёсткости (аналог резистора $r21$), включающая в себя тарельчатую пружину, размещённую внутри конической пружины, длина которой в сжатом состоянии не превышает высоты сжатой тарельчатой пружины, а длина её в свободном состоянии больше высоты свободной тарельчатой пружины не менее чем в 1,5...2 раза. Обе пружины попеременно (в зависимости от выбранного режима жёсткости) взаимодействуют с клапаном сжатия, препятствуя его открытию. Сжатие конической и тарельчатой пружин осуществляется путём осевого перемещения дополнительного регулировочного штока, расположенного внутри сквозного

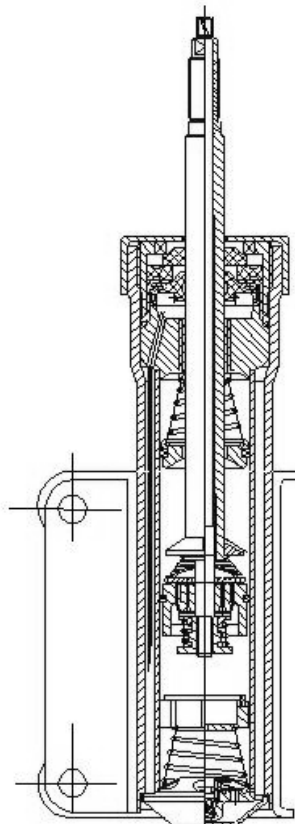


Рисунок 4 - Регулируемый амортизатор с дифференцированным усилием растяжения - сжатия

ступенчатого осевого отверстия рабочего штока. Нижняя часть регулировочного штока взаимодействует с поршнем, а верхняя – с резьбовой поверхностью отверстия рабочего штока.

Возможность автоматической широкодиапазонной регулировки усилия сжатия амортизатора обеспечивается при установке в верхней части каждого амортизатора, например, зубчато-реечной передачи, приводящейся в движение соленоидом.

Амортизаторы данной конструкции могут применяться на легковых автомобилях различных марок. Относительная простота конструкции сводит к минимуму возможность отказа при эксплуатации и снижает стоимость амортизатора по сравнению с зарубежными и отечественными аналогами.

Таким образом, применение метода электромеханической аналогии позволяет разрабатывать новые конструкции автомобильных амортизаторов, обеспечивающих заданные параметры нелинейных силовых характеристик. Рассмотренный метод проектирования может быть использован как в учебном процессе, при курсовом и дипломном проектировании, так и на производстве, на стадии разработки конструкции.

Перспективой дальнейших исследований в данной области является разработка программного комплекса по проектированию автомобильных амортизаторов повышенной надёжности.

Библиографический список:

1. Тетельбаум И.М. Практика аналогового моделирования динамических систем: Справоч. пособие / И.М. Тетельбаум, Ю.Р. Шнейдер. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 384 с.
2. Пат. 25874 Украины, МКИ³ В 60 G 17/08. Амортизатор с дифференцированием усилий стиснения / Д. Чулков А. Харченко, Ю. Новосёлов, А. Чулков (Украина). — №2782807/25-06; Заяв. 25.08.99; Опубл. 23.03.2001, Бюл.№1. — 3 с.
3. Пат. 25876 Украины, МКИ³ В 60 G 17/80. с регулированием усилий стиснения / Д. Чулков А. Харченко, Ю. Новосёлов, А. Чулков (Украина). — №2714807/25-06; Заяв. 24.11.99; Опубл. 14.07.2002, Бюл.№1. — 3 с.