

УДК 629.11. 012.813.001

**Л.А. Черепанов**  
**ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АМОРТИЗАТОРОВ**  
**ПОДВЕСКИ НА ПЛАВНОСТЬ ХОДА КОРОТКОБАЗОВОГО**  
**ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ**

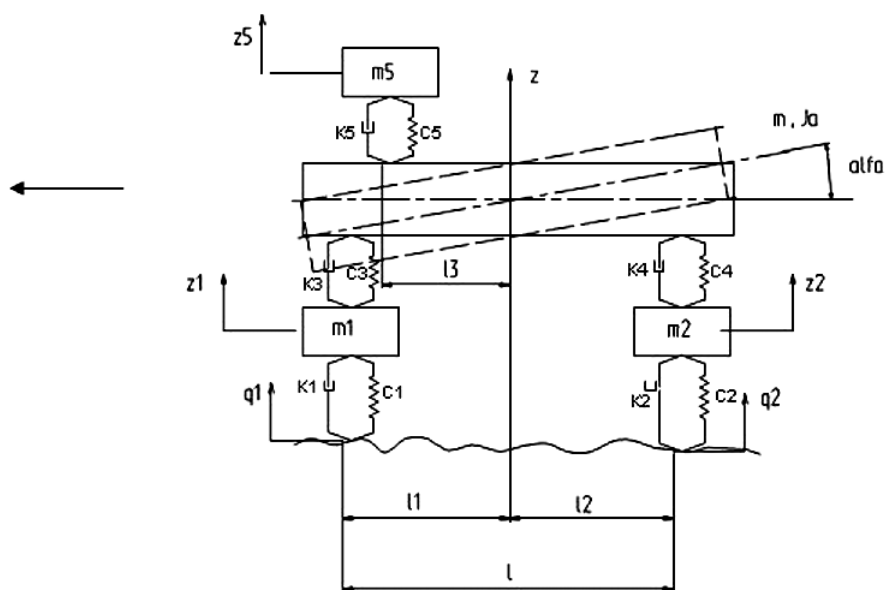
*Тольяттинский государственный университет*

Представлены результаты исследования продольно-угловых колебаний короткобазового легкового автомобиля при моделировании его движения в различных эксплуатационных условиях.

**Ключевые слова:** модель, амортизатор, автомобиль, колебания, характеристика, расчет, плавность хода, скорость, масса.

Основной проблемой короткобазовых легковых автомобилей, у которых коэффициент распределения  $\varepsilon$  подрессоренных масс меньше единицы  $\varepsilon < 1$ , является в настоящее время повышенный уровень продольно-угловых колебаний, что объясняется связанностью колебаний передней и задней частей подрессоренной массы. Следовательно, возникает необходимость в их снижении, не повышая уровня вертикальных колебаний.

Для исследования данной проблемы была принята известная плоская четырехмассовая модель короткобазового легкового автомобиля с  $\varepsilon = 0,69$  с пятью степенями свободы (рис. 1), в подвеске которого моделировались нелинейные характеристики амортизаторов.



**Рис. 1. Динамическая модель автомобиля**

Дифференциальные уравнения второго порядка (1), описывающие поведение динамической модели, составлены с помощью уравнений Лагранжа второго рода. Уравнения движения получены при следующих допущениях:

- колебания кузова и колес малые;
- характеристики всех элементов линейны, кроме амортизаторов;
- контакт колес с поверхностью дороги точечный и безотрывный;
- кузов в местах крепления подвески представляет жесткое тело.

$$\begin{cases} m1 \cdot \ddot{z1} + C1 \cdot (\dot{z1} - q1) - C3 \cdot (z - l1 \cdot \alpha - z1) + k1 \cdot (z1 - q1) - k3 \cdot (\dot{z} - l1 \cdot \dot{\alpha} - \dot{z1}) = 0 \\ m2 \cdot \ddot{z2} + C2 \cdot (\dot{z2} - q2) - C4 \cdot (z + l2 \cdot \alpha - z2) + k2 \cdot (z2 - q2) - k4 \cdot (\dot{z} + l2 \cdot \dot{\alpha} - \dot{z2}) = 0 \\ m \cdot \ddot{z} + C3 \cdot (z - l1 \cdot \alpha - z1) + C4 \cdot (z + l2 \cdot \alpha - z2) - C5 \cdot (z5 - z + l3 \cdot \alpha) + \\ + k3 \cdot (\dot{z} - l1 \cdot \dot{\alpha} - \dot{z1}) + k4 \cdot (\dot{z} + l2 \cdot \dot{\alpha} - \dot{z2}) - k5 \cdot (z5 + l3 \cdot \dot{\alpha} - \dot{z}) = 0 \\ J_a \cdot \ddot{\alpha} - C3 \cdot l1 \cdot (z - l1 \cdot \alpha - z1) + C4 \cdot l2 \cdot (z + l2 \cdot \alpha - z2) + C5 \cdot l3 \cdot (z5 - z + l3 \cdot \alpha) - \\ - k3 \cdot l1 \cdot (\dot{z} - l1 \cdot \dot{\alpha} - \dot{z1}) + k4 \cdot l2 \cdot (\dot{z} + l2 \cdot \dot{\alpha} - \dot{z2}) + k5 \cdot l3 \cdot (z5 + l3 \cdot \dot{\alpha} - \dot{z}) = 0 \\ m5 \cdot \ddot{z5} + C5 \cdot (z5 - z + l3 \cdot \alpha) + k5 \cdot (z5 - \dot{z} + l3 \cdot \dot{\alpha}) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где

$m1$  – неподдресоренная масса передней оси автомобиля;

$m2$  – неподдресоренная масса задней оси автомобиля;

$m$  – поддресоренная масса автомобиля;

$J_a$  – момент инерции поддресоренной массы относительно поперечной оси автомобиля, проходящей через центр его масс;

$m5$  – масса сидения с водителем;

$C1$  и  $K1$  – жесткость и коэффициент демпфирования передних шин;

$C2$  и  $K2$  – жесткость и коэффициент демпфирования задних шин;

$C3$  и  $K3$  – жесткость и коэффициент демпфирования передней подвески;

$C4$  и  $K4$  – жесткость и коэффициент демпфирования задней подвески;

$C5$  и  $K5$  – жесткость и коэффициент демпфирования сидения автомобиля;

$l$  – база автомобиля ;

$l1$  и  $l2$  – расстояние от центра масс до передней и задней осей автомобиля;

$l3$  – расстояние от центра масс автомобиля до крепления сидения;

$Zi, qi$  – обобщенные координаты.

$z1$  – вертикальное перемещение неподдресоренной массы передней оси автомобиля;

$z2$  – вертикальное перемещение неподдресоренной массы задней оси автомобиля;

$z$  – вертикальное перемещение центра масс автомобиля;

$\alpha$  – угол поворота поддресоренной массы относительно центра масс автомобиля;

$z5$  – вертикальное перемещение водителя.

Характеристики амортизаторов являются нелинейными и они аппроксимированы в виде кусочно-линейных функций (рис. 2).

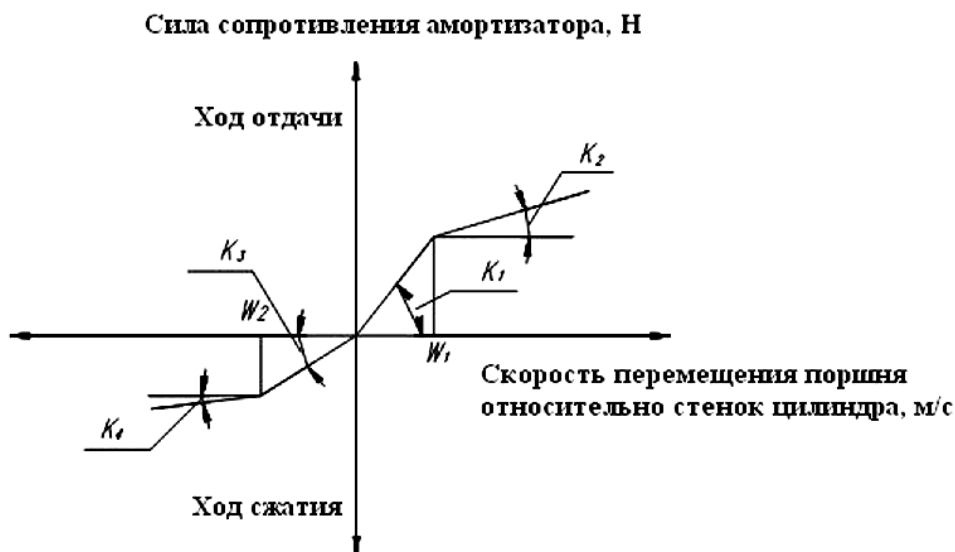


Рис. 2. Схема нелинейной характеристики амортизатора

Возмущающая функция (случайный микропрофиль дороги) задаётся в виде массива чисел по специально разработанной программе. Дифференциальные уравнения, описывающие поведение динамической модели решались численным методом Рунге-Кутты. При исследовании стационарных установившихся колебаний автомобиля находились дисперсии перемещений, скоростей, ускорений подрессоренной и неподрессоренных масс, угловые перемещения подрессоренной массы. Для расчетов использовались параметры коротко-базового легкового автомобиля, а также характеристики семи амортизаторов, от ведущих фирм производителей (табл. 1).

*Таблица 1*

**Величины коэффициентов демпфирования  $K_i$  исследуемых амортизаторов и скорости  $W_i$  вступления в работы ограничительных клапанов**

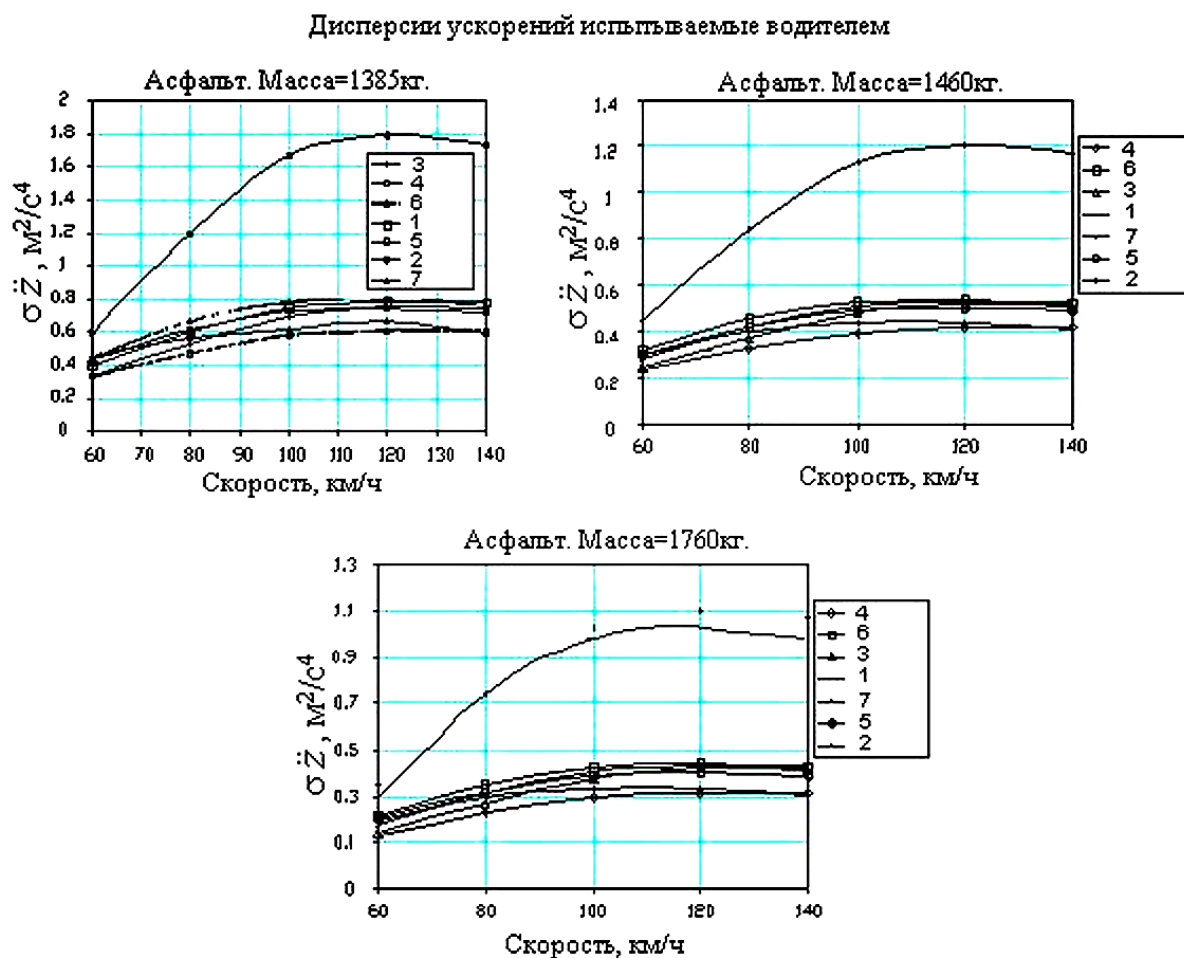
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
$K_1^п$	5000	8570	6875	5000	4375	6500	2070
$K_2^п$	2860	5000	940	1400	1765	1110	1120
$K_3^п$	2000	2915	3750	3125	2140	3335	290
$K_4^п$	415	665	500	208	625	220	180
$K_1^3$	5000	8570	5000	5000	7500	6500	5150
$K_2^3$	2860	5000	1025	1220	1470	1110	2725
$K_3^3$	2000	2915	1250	1670	2500	3335	730
$K_4^3$	415	1330	240	285	415	220	454
$W_1^п$	0,15	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15	0,105
$W_2^п$	-0,15	-0,125	-0,1	-0,1	-0,175	-0,075	-0,2
$W_1^3$	0,15	0,2	0,15	0,125	0,1	0,15	0,105
$W_2^3$	-0,15	-0,125	-0,15	-0,1	-0,075	-0,075	-0,2

Индексы «П» и «3» означают, что параметры относятся к передним и задним амортизаторам соответственно. По разработанной программе рассчитаны дисперсии ускорений и деформаций для различных вариантов: характеристик амортизаторов (табл. 1), скорости движения, нагрузки автомобиля и типа дорог (асфальт и булыжник). Нагрузка менялась от минимальной массы автомобиля до полной. Моделировалось движение автомобиля на асфальте при скоростях от 30 км/час до 120 км/час, на булыжнике – от 30 км/час до 50 км/час.

На первом этапе работы по результатам расчётов были построены зависимости параметров колебаний от характеристик амортизаторов в передней и задней подвесках, от скорости движения автомобиля и его загрузки. В качестве критерия оценки плавности хода автомобиля принята дисперсия вертикальных ускорений, испытываемых водителем.

Для примера представлены зависимости дисперсий ускорений от скорости движения и загрузки автомобиля для различных амортизаторов (рис. 3). Из графиков (рис. 3) следует, что все исследуемые амортизаторы примерно одинаково влияют на выходные параметры, за исключением амортизатора 2. При движении по асфальту дисперсии ускорений возрастают с увеличением скорости движения автомобиля от 60 км/ч до 100 км/ч, что объясняется возрастанием силового воздействия от дороги, после 100 км/ч уровень ускорений становится примерно постоянным. Это объясняется тем, что время между возмущениями сокращается, и

подвеска не способна обрабатывать все воздействия неровностей дороги. С увеличением подрессоренной массы ускорения заметно снижаются, что объясняется уменьшением собственной частоты подрессоренной массы.



**Рис. 3. Зависимость дисперсий ускорений от скорости движения и загрузки автомобиля для различных амортизаторов**

Из графиков также видно, что комплект амортизаторов с более высокими сопротивлениями (номер 2 со «спортивным характером») увеличивает уровень ускорений по сравнению с остальными амортизаторами. Это объясняется тем, что воздействие от микропрофиля дороги начинает передаваться в большей степени через амортизатор, чем через упругий элемент.

Далее в работе проанализировано влияние параметров амортизаторов на вертикальные ускорения передней и задней осей, на деформацию передней и задней подвесок также при различных скоростях движения и нагрузках на разных типах дорог. По результатам исследования семи комплектов амортизаторов, имеющих различные характеристики, лучшим образом с точки зрения плавности хода автомобиля проявил себя комплект амортизаторов под номером 4.

Для этих амортизаторов была проведена оптимизация их характеристик, а именно, нахождение оптимального соотношения коэффициентов сопротивления передней и задней подвесок автомобиля при условии изменения только коэффициентов демпфирования на ходе отбоя и ходе сжатия до открытия разгрузочных клапанов.

Оптимизация проводилась с помощью метода Гаусса-Зейделя. В качестве целевой функции были приняты дисперсии вертикальных ускорений действующих на водителя и углов продольного крена поддрессоренной массы, которые должны стремиться к минимуму. При оптимизации были наложены следующие ограничения. На асфальтобетонном покрытии дисперсия деформации передней подвески  $\sigma_{x_{1i}}$  не должна превышать  $0,6 \times 10^{-4} \text{ м}^2$  и задней подвески  $\sigma_{x_{3i}}$   $0,7 \times 10^{-4} \text{ м}^2$ , на булыжнике дисперсия деформации передней подвески  $\sigma_{x_{1i}}$   $0,7 \times 10^{-4} \text{ м}^2$ , задней  $\sigma_{x_{3i}}$   $1,2 \times 10^{-4} \text{ м}^2$ .

Таким образом, можно записать следующую задачу оптимизации

$$\vec{k}_{opt} : I\sigma_{z_5}, \sigma_{\alpha}(\vec{k}_{opt}) = \min \sigma_{z_5}, \sigma_{\alpha}(\vec{k})$$

$$\sigma_{x_{1a}} \leq 0,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$\sigma_{x_{3a}} \leq 0,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$\sigma_{x_{1b}} \leq 0,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$\sigma_{x_{3b}} \leq 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

где  $i$  – передаточное число подвески.

Оптимизация проводилась при моделировании движения автомобиля по асфальту со скоростью 90 км/ч, при движении по булыжнику со скоростью 50 км/ч.

Из результатов оптимизации при движении по асфальту видно, что для минимальной массы автомобиля  $\frac{x_n}{x_3} = 0,3$ , следовательно  $x_n = 0,3x_3$ . При увеличении нагрузки до полной

это соотношение меняется  $\frac{x_n}{x_3} = 1,26$ .

Увеличивая скорость движения, зависимость соотношений коэффициентов практически не меняется, увеличиваются лишь значения соотношений. Для минимальной массы автомобиля  $\frac{x_n}{x_3} = 0,45$ , а при полной нагрузке  $\frac{x_n}{x_3} = 1,19$ .

На булыжном покрытии ситуация аналогичная. Значения соотношений увеличиваются еще больше, за счет того, что профиль такой дороги более неровный по сравнению с асфальтом.

Из полученных результатов следует, что для получения наилучшей плавности хода коротко базовых автомобилей при движении по дорогам с любым покрытием у передних и задних амортизаторов достаточно иметь две согласованных ступенчатых регулировки сопротивления в зависимости от нагрузки и скорости движения.

### Библиографический список

1. Соломатин, Н.С. Метод конечных элементов в задачах виброакустики автомобиля [Текст] / Н.С. Соломатин, В.Е. Крутолапов. – М.: Машиностроение, 2008. – 104 с.
2. Соломатин, Н.С. Метод компоновки рабочего места водителя легкового автомобиля с применением пространственной геометрической модели человека [Текст] / Н.С. Соломатин, Е.У. Исаев. – Тольятти: ТГУ, 2014. – 98 с.
3. Соломатин, Н.С. Испытания узлов, агрегатов и систем автомобиля [Текст] / Н.С. Соломатин. – Тольятти, ТГУ, 2013. – 142 с.