

УДК 681.5

С.В. Огрызков,**В.Н. Торлин, профессор, д-р техн. наук,****В.В. Мешков, канд. техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**Ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: auto@sevntu.sebastopol.ua***ПОСТРОЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ ТРЕХМАССОВОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА, С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Разработана методика расчета динамической системы управляемой подвески, в основу которой положено аналитическое решение системы трех дифференциальных уравнений. Разработана математическая модель объекта управления, исследованы переходные процессы, показано влияние на время и характер переходного процесса основных характеристик динамической системы.

Введение. Автоматическое регулирование различных систем автомобильных транспортных средств в настоящее время стало эффективным благодаря оснащению этих объектов микропроцессорными системами управления, в связи с чем актуальными стали задачи совершенствования математических моделей объектов управления и алгоритмов их функционирования. Одна из таких систем – система подвески, обычно рассматривалась как одно или двухмассовый объект ввиду сложности аналитического представления и оперативного анализа уравнений большой размерности.

Анализ публикаций. Впервые система подвески была описана в [1, 2], где представлены различные модели динамического объекта, получены дифференциальные уравнения, рассмотрены методы их интегрирования. В работе [3] приводится обзор последних достижений в области расчета и проектирования регулируемых подвесок автомобиля. Рассмотренные математические модели и алгоритмы управления этими системами представлены двухмассовыми объектами с двумя степенями свободы.

Цель и постановка задачи. Целью исследования является совершенствование методики расчета динамической системы управляемой подвески, позволяющей улучшить ее основные характеристики. Для достижения этой цели необходимо рассмотреть модели с дополнительными степенями свободы. В связи с чем в традиционную систему, описываемую двумя дифференциальными уравнениями для двух масс – поддрессоренной и неподдрессоренной, введем третье уравнение, описывающее движение третьей массы – человека, движение которой должно соответствовать нормативным значениям.

Математическая модель трехмассового объекта управления. Поведение динамического объекта (рисунок 1) представим следующей системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} m_1 \ddot{Z}_1 + p_1(\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2) + c_1(Z_1 - Z_2) = 0, \\ m_2 \ddot{Z}_2 + p_2(\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3) + c_2(Z_2 - Z_3) - p_1(\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2) - c_1(Z_1 - Z_2) = 0, \\ m_3 \ddot{Z}_3 + p_3(\dot{Z}_3 - \dot{q}) + c_3(Z_3 - q) - p_2(\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3) - c_2(Z_2 - Z_3) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где m_1, m_2, m_3 – массы колебательной системы; Z_1, Z_2, Z_3 – степени свободы колебательной системы; p_1, p_2, p_3 – сопротивления подвески кресла водителя, амортизатора и шины; c_1, c_2, c_3 – жесткость подвески кресла водителя кресла водителя, пружин подвески и шины соответственно, $q = q_0 \sin \omega t$, – функция, описывающая профиль дороги, q_0, ω – амплитуда и частота воздействия дороги.

Решение задачи (1) было получено с помощью пакета MATLAB методом преобразований Лапласа. Решение получено при следующих исходных данных: $m_1 = 300$ кг, $m_2 = 800$ кг, $m_3 = 100$ кг, $p_1 = 5000$ Н·м/с, $p_2 = 28000$ Н·м/с, $p_3 = 4000$ Н·м/с, $c_1 = 15000$ Н/м, $c_2 = 80000$ Н/м, $c_3 = 40000$ Н/м, $Z_0 = -0,03$ м, $\dot{Z}_0 = 0$ м/с, $q_0 = 0,01$ м, $\omega = 10$ с⁻¹.

Система (1) была проинтегрирована при следующих начальных условиях:

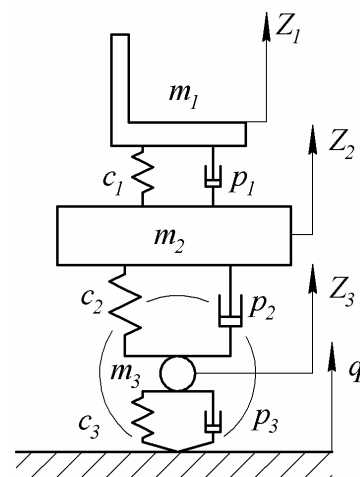


Рисунок 1 – Модель объекта управления

$$-npu \quad t=0: \quad Z_1 = Z_2 = 0; \quad \dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 = 0; \quad Z_3 = Z_0; \quad \dot{Z}_3 = \dot{Z}_0.$$

Выражения для колебаний масс m_1, m_2, m_3 имеют вид:

$$\begin{aligned} Z_1 &= 1,82 \cdot 10^{-6} e^{-348t} - 4,03 \cdot 10^{-3} e^{-19,4t} + 3,95 \cdot 10^{-2} e^{-3,89t} - 2,91 \cdot 10^{-3} e^{-3,06t} + \\ &- (1,44 \cdot 10^{-2} - 5,30 \cdot 10^{-3} i) e^{(-1,81-4,65i)t} - (1,44 \cdot 10^{-2} + 5,30 \cdot 10^{-3} i) e^{(-1,81+4,65i)t} - \\ &- 3,70 \cdot 10^{-3} \cos 10t - 3,42 \cdot 10^{-3} \sin 10t; \\ Z_2 &= -3,66 \cdot 10^{-5} e^{-348t} + 1,52 \cdot 10^{-3} e^{-19,4t} - 7,01 \cdot 10^{-4} e^{-3,89t} + 2,37 \cdot 10^{-2} e^{-3,06t} + \\ &- (9,73 \cdot 10^{-3} - 6,36 \cdot 10^{-3} i) e^{(-1,81-4,65i)t} - (9,73 \cdot 10^{-3} + 6,36 \cdot 10^{-3} i) e^{(-1,81+4,65i)t} - \\ &- 4,97 \cdot 10^{-3} \cos 10t - 8,00 \cdot 10^{-4} \sin 10t; \\ Z_3 &= 3,22 \cdot 10^{-4} e^{-348t} + 1,51 \cdot 10^{-3} e^{-19,4t} - 6,57 \cdot 10^{-3} e^{-3,89t} - 5,88 \cdot 10^{-3} e^{-3,06t} + \\ &- (7,16 \cdot 10^{-3} - 6,60 \cdot 10^{-3} i) e^{(-1,81-4,65i)t} - (7,16 \cdot 10^{-3} + 6,60 \cdot 10^{-3} i) e^{(-1,81+4,65i)t} - \\ &- 5,04 \cdot 10^{-3} \cos 10t + 1,04 \cdot 10^{-4} \sin 10t, \end{aligned} \quad (3)$$

где i – мнимая единица.

Одним из критериев плавности хода является ускорение перемещения водителя [1]. Дважды дифференцируя выражение (3), получаем ускорение водителя в виде

$$\begin{aligned} \ddot{Z}_1 &= 2,20 \cdot 10^{-1} e^{-348t} - 1,52 e^{-19,4t} + 5,98 \cdot 10^{13} e^{-3,89t} - 2,72 \cdot 10^{-3} e^{-3,06t} + \\ &+ (1,75 \cdot 10^{-1} - 3,40 \cdot 10^{-1} i) e^{(-1,81-4,65i)t} + (1,75 \cdot 10^{-1} + 3,40 \cdot 10^{-1} i) e^{(-1,81+4,65i)t} - \\ &- 3,70 \cdot 10^{13} \cos 10t + 3,42 \cdot 10^{-1} \sin 10t. \end{aligned}$$

Графики перемещений колеблющихся масс и ускорения водителя показаны на рисунках 2 и 3.

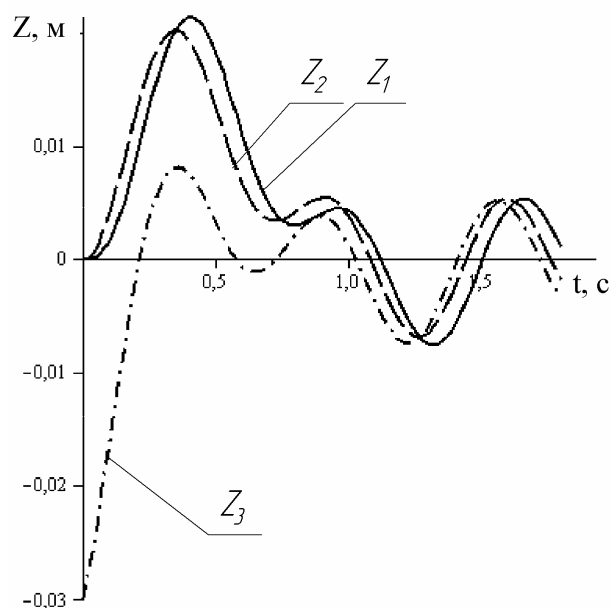


Рисунок 2 – Графики перемещения поддресоренных масс

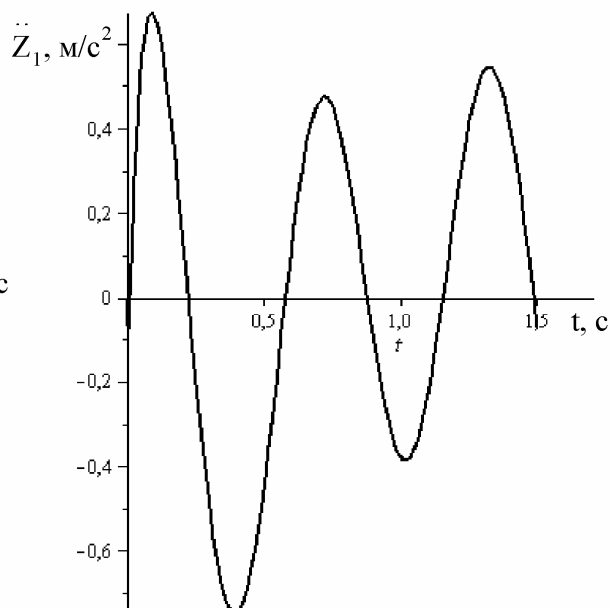


Рисунок 3 – График ускорения водителя

Исследование переходных процессов. Основной характеристикой плавности хода автомобиля является ускорение водителя $\ddot{Z}_1$. В современных конструкциях подвесок автомобилей применяется управление плавностью хода с помощью регулирования коэффициента сопротивления амортизаторов [3]. Рассмотрим влияние на эту характеристику изменения управляющей переменной p_2 (рисунок 4).

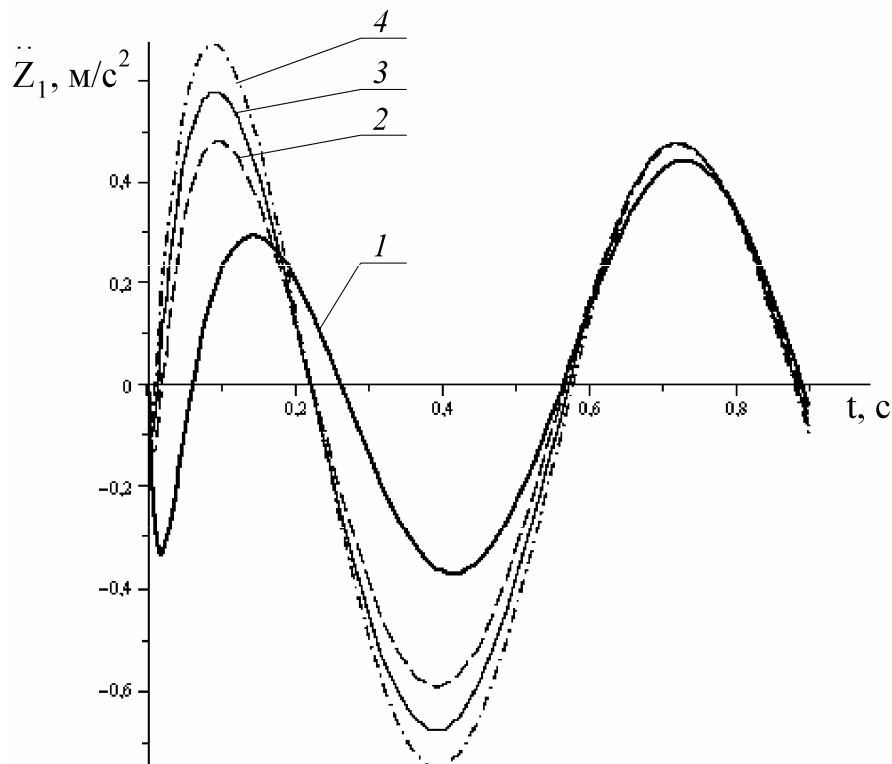


Рисунок 4 — Зависимость ускорения водителя от коэффициента сопротивления амортизатора:
 1 — $p_2 = 5000 \text{ Н·м/с}$, 2 — $p_2 = 14000 \text{ Н·м/с}$, 3 — $p_2 = 20000 \text{ Н·м/с}$, 4 — $p_2 = 28000 \text{ Н·м/с}$,

Из рисунка 4 видно, что при увеличении коэффициента сопротивления амортизатора увеличивается ускорение водителя при переходных процессах, но уменьшается время переходного процесса. В работе [1] показано, что уменьшение коэффициента сопротивления амортизатора может привести к потере устойчивости движения при криволинейном движении автомобиля и потере контакта колеса с дорогой. Значение коэффициента сопротивления амортизатора при котором возможен отрыв колеса от дороги зависит от типа дорожного покрытия, т.е. от q_0 и ω . Поэтому при регулировании плавности хода необходимо учитывать условия, обеспечивающие безопасность движения автомобиля.

Выводы. Трехмассовая система при реальных значениях масс m_1, m_2, m_3 , сопротивлений p_1, p_2 и p_3 , жесткостей c_1, c_2, c_3 имеет характеристику $\ddot{Z}_1$, допускаемые нормами, которые устанавливаются регулированием p_2 .

Направление дальнейших исследований. В дальнейшем следует исследовать влияние на $\ddot{Z}_1$ характеристик c_1, c_2, c_3 и p_3 при изменении условий движения задаваемых q_0 и ω , определить оптимальные значения p_2 с точки зрения плавности хода и безопасности движения автомобиля.

Библиографический список

1. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель / А.А. Хачатуров [и др.]; под ред. Хачатурова А.А. — М.: Машиностроение, 1976. — 535 с.
2. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля / Р.В. Ротенберг. — М.: Машиностроение, 1972. — 392 с.
3. Жданов А.А. AdCAS – система автономного адаптивного управления активной подвеской автомобиля / А.А. Жданов, Д.Б. Липкевич // Труды Института системного программирования: Новые подходы в нейроподобных и основанных на знаниях системах. — М., 2004. — Т. 7. — С. 119–159.

Поступила в редакцию 28.07.2008 г.