

УДК 629.331.017

С.В. Огрызков, ст. преподаватель,

А.А. Ветрогон, доцент, канд. техн. наук,

А.А. Крячков, магистрант

Севастопольский национальный технический университет, г. Севастополь, Украина

СОВМЕСТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПОДВЕСКИ И КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ

Предложена методика идентификации системой управления плавностью хода дорожного покрытия по вероятностным характеристикам ускорений колебаний поддресоренных и неподдресоренных масс автомобиля. Приведены результаты экспериментальных исследований совместных колебаний подвески и кузова автомобиля в различных условиях движения.

Ключевые слова: подвеска автомобиля, колебания, плавность хода.

Постановка проблемы. Подвеска автомобиля выполняет одновременно несколько важных функций, от ее конструкции и рабочих характеристик зависят управляемость, устойчивость, плавность хода и другие свойства автомобиля, определяющие его безопасность, комфортность, надежность и экономичность. От свойств подвески зависит физиологическое и эмоциональное состояние водителя и пассажиров, поскольку вибрации, быстрые и резкие изменения положения тела сильно утомляют человека, известно, что усталость напрямую зависит от изменений ускорения и частоты колебаний [1]. Учесть разносторонние требования позволяют только регулируемые подвески.

Анализ публикаций. Классификация и методы управления подвесок автомобилей рассмотрены в работах [2, 3, 4]. По методу регулирования подвески можно разделить на подвески с со статическим и динамическим регулированием. Цель статического регулирования – обеспечить рациональное соответствие параметров пассивных элементов подвески каждому из конкретных, необходимых в данный момент времени, стационарных режимах её работы. Динамическое регулирование осуществляется посредством переменного во времени дополнительного силового воздействия на корпус автомобиля со стороны подвески. В работе [5] разработана система управления автомобилем адаптирующая параметры подвески к конкретным дорожным условиям. Критерии определения оптимального сопротивления амортизатора с точки зрения плавности хода и безопасности движения рассмотрены в монографии [1].

Цель исследования. Задачей системы управления подвеской является адаптация ее параметров к дорожным условиям. При разработке системы управления необходимо разработать математическую модель объекта управления, определить цели управления, определить возмущающие воздействия. При идентификации дорожного покрытия необходимо определить статистические характеристики колебаний неподдресоренных и поддресоренных масс автомобилей. Целью исследования является разработка методики идентификации условий движения по ускорениям колебаний неподдресоренных и поддресоренных масс автомобилей.

Результаты исследования. Рассмотрим колебания одного колеса автомобиля с независимой подвеской. Для описания колебаний принимаем линейную двухмассовую модель.

С учетом ограничений и допущений [1] уравнения движения для нее будут иметь вид

$$\begin{cases} m_2 \ddot{u}_{z2} + \mu_2 (\dot{u}_{z2} - \dot{u}_{z1}) + c_2 (u_{z2} - u_{z1}) = 0; \\ m_1 \ddot{u}_{z1} + \mu_1 \dot{u}_{z1} + c_1 u_{z1} - \mu_2 (\dot{u}_{z2} - \dot{u}_{z1}) - c_2 (u_{z2} - u_{z1}) = \mu_1 \dot{q} + c_1 q, \end{cases} \quad (1)$$

где m_1, m_2 – неподдресоренная и поддресоренные массы; u_{z1}, u_{z2} – вертикальные перемещения неподдресоренной и поддресоренной масс; c_1, c_2 – жесткость колеса и упругого элемента подвески соответственно; μ_1, μ_2 – коэффициенты сопротивления колеса и демпфирующего элемента подвески; $q = q(t)$ – возмущение от дорожного покрытия.

Перейдя к операторной форме, из уравнения (1) получим передаточную функцию [6], описывающую поведение поддресоренной $W_{z2}(p)$ и неподдресоренной $W_{z1}(p)$ частей системы

$$W_{z2}(p) = \frac{(\mu_1 p + c_1)(\mu_2 p + c_2)}{m_1 m_2 p^4 + (\mu_1 m_1 + \mu_2 m_1 + \mu_1 m_2) p^3 + (\mu_1 \mu_2 + c_2 m_1 + c_1 m_1 + c_1 m_2) p^2 + (c_1 \mu_2 + c_2 \mu_1) p + c_1 c_2}; \quad (2)$$

$$W_{z1}(p) = \frac{(\mu_2 p + c_2)(m_1 p^2 + \mu_1 p + c_1)}{m_1 m_2 p^4 + (\mu_1 m_1 + \mu_2 m_1 + \mu_1 m_2) p^3 + (\mu_1 \mu_2 + \mu_2 m_1 + \mu_1 m_1 + c_1 m_2) p^2 + (c_1 \mu_2 + c_2 \mu_1) p + c_1 c_2}. \quad (3)$$

где $p = i\omega$; i – мнимая единица; ω – циклическая частота возмущающего воздействия.

При установке датчиков ускорения на неподрессоренную и поддрессоренную массу позволит упростить описание системы и решать каждое уравнение в отдельности. Рассмотрим случаи вертикальных колебаний автомобиля. В таком случае критериями управления могут служить требования к обеспечению плавности хода и безопасности движения.

Для колебаний поддрессоренной массы в качестве возмущающего воздействия можно использовать ускорение неподрессоренной массы $d_2(t) = \ddot{u}_{z_2}$.

Тогда передаточная функция для перемещений поддрессоренной массы будет равна:

$$W_{z_{21}}(p) = \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)} = \frac{\mu_1 p + c_1}{m_1 p^2 + \mu_1 p + c_1}. \quad (4)$$

Если в качестве входной и выходной величины использовать ускорения масс, то передаточная функция будет иметь такой же вид, так как

$$W_{\ddot{z}_{21}}(p) = \frac{\ddot{Z}_2(p)}{\ddot{Z}_1(p)} = \frac{p^2 Z_2(p)}{p^2 Z_1(p)} = \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)} = W_{z_{21}}(p). \quad (5)$$

Передаточная функция для третьей производной будет равна

$$W_{\ddot{\ddot{z}}_{21}}(p) = \frac{\ddot{\ddot{Z}}_2(p)}{\ddot{\ddot{Z}}_1(p)} = \frac{p \ddot{Z}_2(p)}{\ddot{Z}_1(p)} = p W_{\ddot{z}_{21}}(p) = \frac{\mu_1 p^2 + c_1 p}{m_1 p^2 + \mu_1 p + c_1}. \quad (6)$$

На больших скоростях движения система должна контролировать вероятность отрыва шин от дороги. Для этого необходимо свести к минимуму деформацию шин Δ_{III} , которая определяется выражением

$$\Delta_{III} = u_{z1} - q. \quad (7)$$

Перепишем уравнения (1) в следующем виде

$$\begin{cases} m_2 \ddot{u}_{z2} + \mu_2 (\dot{u}_{z2} - \dot{u}_{z1}) + c_{k2} (u_{z2} - u_{z1}) = 0; \\ m_1 \ddot{u}_{z1} + \mu_1 \dot{\Delta}_{III} - \mu_2 (\dot{u}_{z2} - \dot{u}_{z1}) + c_1 \Delta_{III} - c_2 (u_{z2} - u_{z1}) = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Из второго уравнения системы (8) получаем передаточную функцию от ускорения неподрессоренной массы к деформации шин

$$\begin{aligned} W_{III} &= - \frac{m_1 p^2 - \mu_2 W_{z_{21}}(p)p - \mu_2 p - c_2 W_{z_{21}}(p) + c_2}{W_{z_{21}}(p)(\mu_1 p + c_1)p^2} = \\ &= - \frac{m_1 m_2 p^3 + (m_1 \mu_2 - m_2 \mu_2) p^2 + (m_1 c_2 + m_2 c_2 - 2\mu_2^2) p - 2\mu_2 c_2}{p(\mu_1 p + c_1)(\mu_2 p + c_2)}. \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, все условия можно определить по показаниям датчика ускорения неподрессоренных масс и управлять подвеской изменяя коэффициент сопротивления амортизатора.

Для нахождения коэффициента сопротивления амортизатора μ_2 оптимального по соответствующему критерию необходимо определить оценку дисперсии выбранного критерия в дорожных условиях

$$\hat{D}_i = \frac{1}{T} \int_{\omega_{\min}}^{\omega_{\max}} |W_{z_{21}}(i\omega)|^2 \hat{S}_{\ddot{z}_1}(\omega) d\omega, \quad (10)$$

где $\hat{S}_{\ddot{z}_1}(\omega)$ – оценка плотности спектра ускорений неподрессоренной массы $S_{\ddot{z}_1}(\omega)$; $\omega_{\min}, \omega_{\max}$ – минимальная и максимальная частота возмущений от дорожного покрытия.

Затем решается уравнение

$$\frac{d\hat{D}_i}{d\mu_2} = 0. \quad (11)$$

где $\hat{D}_{z_1}$ – оценка дисперсии ускорений неподрессоренной массы на конкретном дорожном покрытии; W_i – передаточная функция для выбранного критерия.

Многочисленные исследования показали, что автомобильные дороги состоят из участков, которые можно считать реализацией нормальных стационарных случайных процессов.

В работе [1] показано, что спектральная плотность дисперсии возмущений $S_q(\omega)$ от большинства типов дорожных покрытий может быть описана выражением

$$S_q(\omega) = D_0 v_a \frac{\omega^2 + \omega_1^2}{\omega(\omega^2 + \omega_2^2)}, \quad (12)$$

где D_0 – дисперсия неровностей дорожного покрытия; $\omega_1 = v_a \lambda_1$; $\omega_2 = v_a \lambda_2$; λ_1, λ_2 – минимальная и максимальная дорожные частоты, м^{-1} .

По результатам показаний датчика ускорений неподрессоренной массы можно получить оценку плотности спектра ускорений неподрессоренной массы $\hat{S}_{z_1}(\omega)$ и использовать ее в качестве возмущающего воздействия на колебательную систему автомобиля.

Определение спектральной плотности будем производить по корреляционной функции $R_x(\tau)$ [7]

$$S_x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau = 2 \int_0^{\infty} R_x(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau, \quad (13)$$

где $\tau = t_1 - t_2$, t_1, t_2 – границы временного интервала (рисунок 1).

Практически корреляционная функция может определяться по полученной экспериментально кривой случайного процесса при достаточной длительности записи (рисунок 1) [8].

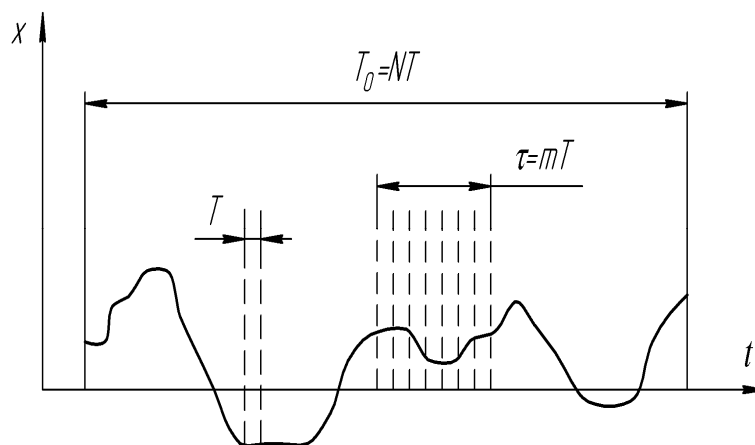


Рисунок 1 – Пример обработки осциллограммы

Для получения корреляционной функции из осциллограммы при длительности записи T_0 весь этот интервал делится на N равных отрезков, длительность которых равна периоду дискретности T . Затем задаются различными значениями $\tau = mT$ и для каждого из них находят среднее значение произведений ординат записанной кривой

По этим значениям, взятым для всех интервалов τ , строится кривая корреляционной функции в зависимости от τ . Далее для этой кривой уже может быть подобрана наиболее близкая к ней функциональная зависимость. Она и представляет собой приближенно искомое аналитическое выражение корреляционной функции (14):

$$R(m) = \frac{1}{N-m} \sum_{n=1}^{N-m} x_n x_{n+m} . \quad (14)$$

Если полученная корреляционная функция имеет постоянную составляющую $\bar{x} = \sqrt{R(\infty)}$, то выделив ее можно перейти к корреляционной функции

$$K(\tau) = R(\tau) - (\bar{x})^2 . \quad (15)$$

По корреляционной функции определялись следующие вероятностные характеристики дорожных покрытий: среднее значение случайной функции, или момент первого порядка

$$\bar{x} = \tilde{x} = \sqrt{R(\infty)} ; \quad (16)$$

средний квадрат, или начальный момент второго порядка

$$\bar{x}^2 = \tilde{x}^2 = R(0) , \quad (17)$$

где $\tilde{x} = M\{x(N)\}$ – математическое ожидание случайной величины.

Согласно данной методике были обработаны экспериментальные данные, для определения характеристики колебаний неподрессоренных и поддрессоренных масс для различных дорожных покрытиях на различных скоростях движения. В таблице 1 приведены характеристики абсолютных значений ускорений колебаний на участке дороги с асфальтовым покрытием в удовлетворительном состоянии. Экспериментальные данные получены для задних колес автомобиля ВАЗ-1183 "Калина". Дискретность измерения ускорений $T = 20$ мс. Индекс 1 относится к неподрессоренным массам, 2 – к поддрессоренным. Начальные моменты второго порядка и момент первого порядка для разных скоростей движения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики колебаний автомобиля

Скорость, км/ч	$R_1(0), (м/с^2)^2$	$R_1(\infty), (м/с^2)^2$	$R_1(0), (м/с^2)^2$	$R_2(\infty), (м/с^2)^2$
30	10,96	5,38	1,48	0,87
40	24,87	11,95	2,01	1,24
50	40,81	20,12	2,87	1,79
60	16,43	7,58	2,11	1,27
70	59,60	30,79	4,22	2,67
80	63,64	30,22	4,43	2,83

Корреляционные функции $R(\tau)$ аппроксимировались функциями вида (рисунок 2):

$$R(\tau) = \frac{aR(0)}{\tau R(0) + a} + R(N) , \quad (18)$$

где a – коэффициент, зависящий от скорости автомобиля и частот колебаний неподрессоренной и поддрессоренной массы.

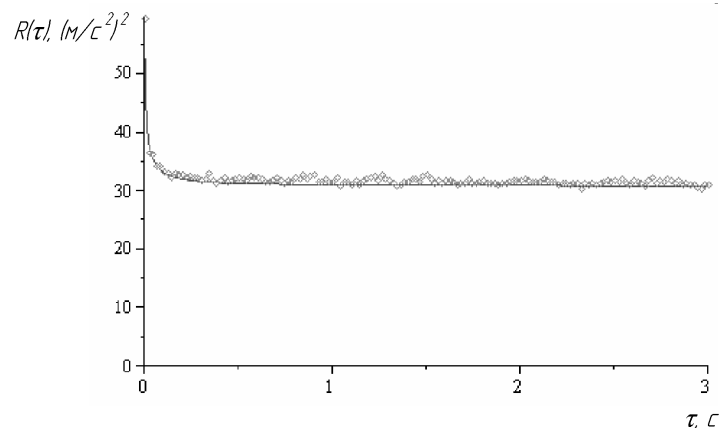


Рисунок 2 – Аппроксимация корреляционной функции

После этого осуществлялся переход к корреляционной функции $K(\tau)$ и определение спектральной плотности по формуле (13). Спектральные плотности при различных скоростях движения показаны на рисунке 3. Спектральные плотности для различных дорожных покрытий приведены на рисунке 4.

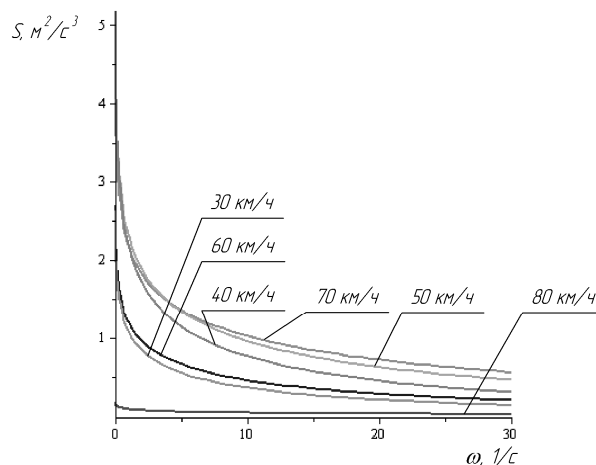


Рисунок 3 – Спектральные плотности вертикальных ускорений неподдресоренных масс при движении по асфальтовому покрытию в удовлетворительном состоянии

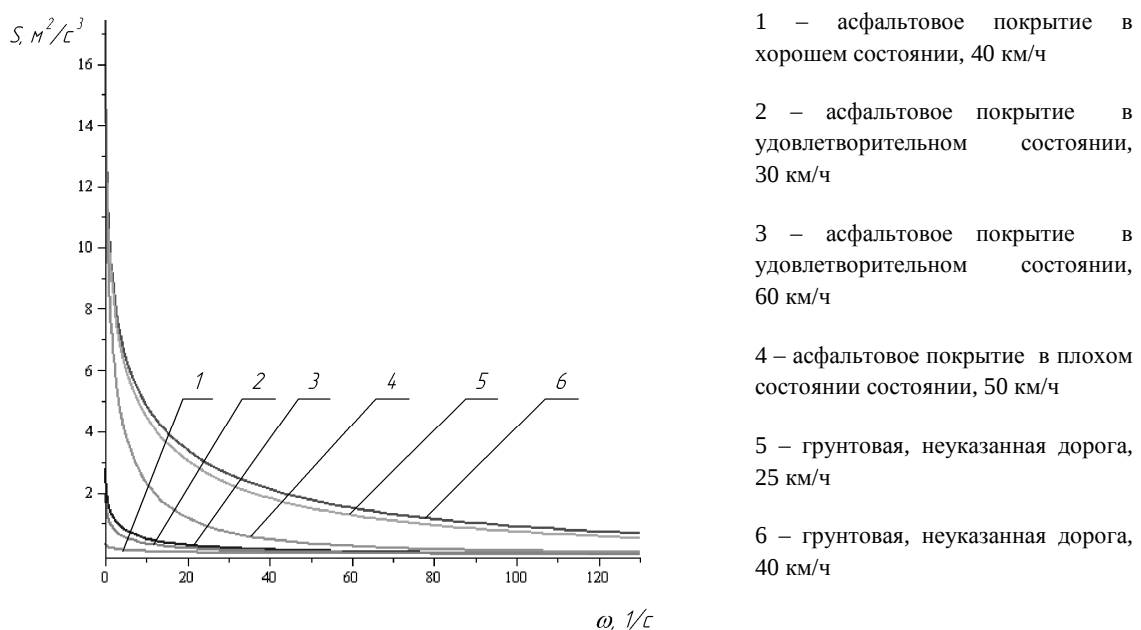


Рисунок 4 – Спектральные плотности вертикальных ускорений неподдресоренных масс при движении по различным покрытиям

Выводы. Результаты исследований показали, что вероятностные характеристики ускорений колебаний поддресоренных и неподдресоренных масс автомобиля зависят от типа дорожного покрытия, скорости движения автомобиля. Что позволит использовать данные с датчиков ускорений в качестве возмущающих воздействий в системе управления подвеской автомобиля.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку алгоритма управления подвеской учетом критериев (5), (6), (9) и изучение влияния скорости движения автомобиля, частот колебания подвески и кузова автомобиля на коэффициент определяющий вид корреляционной функции.

Библиографический список использованной литературы

1. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель / Под ред. А.А. Хачатурова. — М.: Машиностроение, 1976. — 535 с.
2. Белоусов Б.Н. Управляемые подвески автомобилей / Б.Н. Белоусов, И.В. Меркулов, И.В. Федотов // Автомобильная промышленность. — 2004. — № 1. — С. 23–24.
3. Жданов А.А. AdCAS – система автономного адаптивного управления активной подвеской автомобиля / А.А. Жданов, Д.Б. Липкевич // Труды Института системного программирования: Том 7, Новые подходы в нейроноподобных и основанных на знаниях системах / Под ред. А.А. Жданова. — М.: ИСП РАН, 2004. — С. 119–159.
4. Дентон Т. Автомобильная электроника / Т. Дентон; пер. с англ. В.М. Александрова. — М.: НТ Пресс, 2008. — 576 с.
5. Огрызков С.В. Стабилизация параметров плавности хода автомобиля на дорогах с различным покрытием / С.В. Огрызков, В.Н. Торлин // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля. — Луганськ, 2008. — Вып. 7 (125). — С. 131–134.
6. Долгин В.П. Анализ реакции подвески автомобиля при случайном воздействии/ В.П. Долгин, И.В. Долгин, С.В. Огрызков// Вестник СевНТУ. Сер. Автоматизация процессов и управление: сб. науч. тр. — Севастополь, 2010. — Вып. 108. — С. 114–118.
7. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н.Н. Иващенко. — М.: Машиностроение, 1973. — 606 с.
8. Бесекерский В.А. Микропроцессорные системы автоматического управления / В.А. Бесекерский [и др]; под ред. В.А. Бесекерского. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. — 365 с.

Поступила в редакцию 05.05.2011 г.

Огрызков С.В., Ветрогон О.А., Крячков А.А. Сумісні коливання підвіски і кузова автомобіля

Запропонована методика ідентифікації системою управління плавністю ходу дорожнього покриття по вірогіднісних характеристиках прискорень коливань підресорених і непідресорених мас автомобіля. Приведені результати експериментальних досліджень сумісних коливань підвіски і кузова автомобіля в різних умовах руху.

Ключові слова: підвіска автомобіля, коливання, плавність ходу.

Ogryzkov S.V., Vetrogon A.A. Krjachkov A.A. Joint vibrations car suspension and body

The method of authentication by the control system by the smoothness of motion of road coverage by probabilistic recommendations of accelerations of vibrations of sprung and unsprung the masses of car is offered. The results of experimental researches of joint vibrations of pendant and body of car are resulted under various conditions movements.

Keywords: pendant of car, oscillation, ride softness.