

ТРАНСПОРТНОЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

629.113

ВЫБОР ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ ПОДРЕССОРИВАНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Асп. А.А. АЛЕКСЕЕВ

Рассматривается дискретная адаптивная система поддресоривания автомобиля при наличии неопределенности внешних возмущений. Расчетная схема эквивалентной динамической системы учитывает пространственные колебания кузова, колебания неподдресоренных масс и сиденья с человеком. Цель управления — это повышение плавности хода при отсутствии отрыва шины от опорной поверхности. Проведен расчет оценочных показателей плавности хода и безопасности движения при случайном возмущении.

In this paper, the adaptive discrete vehicle suspension system with uncertain terrain disturbance functioning is investigated. Dynamic scheme accounts for space oscillations of the body and oscillations of unsprung masses and seat with a person. The aim of control is regarded as improvement of ride comfort when tires do not separate from the road surface. Simulation results under random disturbance were used to estimate values of ride comfort and road handling.

Современный автомобиль представляет собой сложную структуру, которая характеризуется большим числом параметров и призвана отвечать ряду разнообразных, зачастую противоречивых, требований, особенно к подвеске. Таковыми являются плавность хода и безопасность движения. Характеристики наилучшей подвески зависят не только от наложенных на нее ограничений, но и от характеристик дорожной поверхности и скорости движения автомобиля [1]. Одна из существенных особенностей управления вибрацией автомобиля состоит в том, что статистические свойства возмущений неизвестны заранее. Ввиду наличия неопределенности внешних возмущений, действующих на автомобиль, необходимо разрабатывать такую управляемую систему поддресоривания, в которой параметры регулятора настраивались бы так, чтобы качество виброизоляции удовлетворяло заданным требованиям. Такие системы поддресоривания относятся к адаптивным [2]. Далее рассматривается вибрационная безопасность только в отношении человека, а безопасность движения — как отсутствие потери контакта шины с дорожной поверхностью.

Известно, что для санитарного нормирования и контроля интенсивности вибрации используется среднее квадратическое отклонение σ_z вертикального виброускорения. Оценивается безопасность движения величиной, представляющей собой флуктуацию P_i нормальной силы в пятне контакта шины i -го колеса с опорной поверхностью. Вычислить ее можно согласно расчетной схеме динамической системы, эквивалентной системе поддресоривания автомобиля, представленной на рис. 1, согласно выражению:

$$P_i = m_i \ddot{z}_i - F_i, \quad (1)$$

где $F_i = h_i(k_i, c_i, u_i)$ — полная восстанавливающая сила подвески.

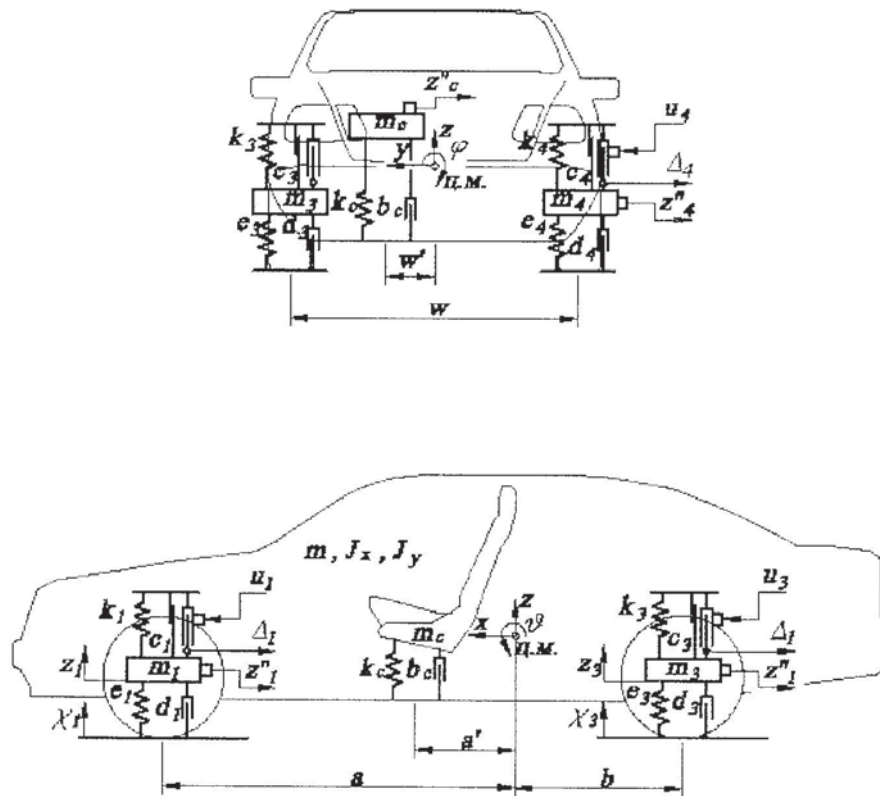


Рис. 1. Расчетная схема динамической системы, эквивалентной системе поддрессоривания автомобиля:
 $z, z_1, z_2, \theta, \varphi$ — обобщенные координаты, характеризующие перемещения динамической системы;
 χ_i — возмущение от дорожной поверхности; m, m_i и m_c — масса поддрессоренной, неподдрессоренных частей автомобиля и человека с сиденьем; J_x, J_y — моменты инерции поддрессоренной массы относительно осей x и y ; a, b, a', w' и w — расстояния от п. м. до осей автомобиля, сиденья и колея автомобиля;
 k_i и c_i — приведенные к центру контакта нелинейные характеристики жесткости и трения в подвеске;
 k_c и b_c — характеристики жесткости и демпфирования сиденья; u_i — управляющее воздействие; λ_i — сигнал обратной связи, соответствующий прогибу подвески

Алгоритмы адаптивного управления, как правило, реализуются цифровым вычислительным комплексом. Это приводит к тому, что измерение информации и выдача ее для управления происходит в дискретные моменты времени, т.е. система управления оказывается дискретной. Фактически адаптивная система поддрессоривания функционирует непрерывно, а измерения выходных сигналов $\bar{y}(t)$ и подача управляющих воздействий $\bar{u}(t)$ происходит в дискретные моменты $t = t_k, k = 0, 1, 2, \dots$. При этом обычно $t_k = k\tau$, где $\tau > 0$ — шаг дискретности. Тогда в соответствии с изложенным адаптивная система поддрессоривания описывается уравнением

$$y_{jk} = f_j(u_k, r_k, \xi_j) + \chi_{jk}, j = 1, 1..l, \quad (2)$$

при $|\chi_{jk}| \leq \Delta_{\chi_j}$. При этом выход y_{0k} нужно минимизировать, а остальные параметры не должны превышать заданных значений. Величине y_0 соответствует сила $F_c = m_c \ddot{z}_c$, передаваемая виброзащитной системой в результате ускорения массы m_c [3], а величинам y_j соответствуют оценки безопасности движения P_j .

Тогда задача адаптивного оптимального управления колебаниями колесной машины может быть формализована как обеспечение цели управления

$$f_0(\bar{u}_k, \bar{r}_k, \bar{\xi}_0) \leq f_k^* + \Delta_0, \quad (3)$$

при ограничениях

$$f_j(\bar{u}_k, \bar{r}_k, \bar{\xi}_j) \leq \Delta_j, \quad j = 1, \dots, l, \quad (4)$$

$$\bar{u}_k \in U, \quad (5)$$

где $f_k^* = \inf_{\bar{u} \in U_k} f_0(\bar{u}_k, \bar{r}_k, \bar{\xi}_0)$, Δ_0 — погрешность оптимизации [4].

Нагрузочная характеристика пассивного амортизатора является, в общем случае, нелинейной функцией скорости прогиба подвески. Восстанавливающая сила регулируемого амортизатора определяется управляющим сигналом регулятора. Следует учитывать, что при использовании в качестве исполнительного органа амортизатора в системе отсутствует источник энергии и усилие создается полуактивным способом. Поэтому восстанавливающая сила, создаваемая исполнительным устройством, должна совпадать по направлению с прогибом подвески [5]. Для этого необходимо определить закон, в соответствии с которым исполнительное устройство должно распределять энергию колебаний,

$$\begin{aligned} F_{ia} &= u_i; \quad \text{при } u_i \Delta_i > 0 \\ F_{ia} &= 0; \quad \text{при } u_i \Delta_i \leq 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Очевидно, что управляемый амортизатор представляет собой нелинейный элемент, причем его нагрузочная характеристика на ходах сжатия и отбоя является полем мгновенных значений коэффициента сопротивления.

Управляющее воздействие u_{ik} каждого исполнительного органа определяется согласно выражению

$$u_{ik} = c_{ik}^T z_{ik}, \quad (7)$$

где вектор c_{ik} — неизвестный вектор настраиваемых параметров, поскольку зависит от коэффициентов объекта a_{ij} и b_{ij} , тогда как компоненты вектора z_{ik} (вектора наблюдений) зависят от измеряемых величин: текущих и прошлых выходов объекта, а также управлений

$$\begin{aligned} c_{ik} &= \left\{ \frac{a_{i0}}{b_{i0}}, \dots, \frac{a_{im}}{b_{i0}}, -\frac{b_{i1}}{b_{i0}}, \dots, -\frac{b_{im}}{b_{i0}} \right\}, \\ z_{ik} &= \{ y_{jk}, \dots, y_{jk-n}, u_{ik-1}, \dots, u_{ik-m} \}, \quad j = 1..l. \end{aligned} \quad (8)$$

Для систем с полуактивным исполнительным устройством максимальная рассеиваемая мощность также не должна превышать установленного ограничения, поэтому должно выполняться условие

$$|u_{ik}| \leq \rho^0 Q_{im}, \quad (9)$$

где ρ^0 — число, которое характеризует «запас», с которым оптимальные параметры адаптивной системы удовлетворяют требуемым ограничениям Q_{im} , $\rho^0 < 1$.

Для задания цели управления, в также вспомогательной цели — цели адаптации используются оценочные функции

$$Q_{k+1} = Q(\delta_{k+1}), \quad (10)$$

где $Q(\delta_{k+1})$ — некоторая выпуклая функция (например $Q(\delta) = \|\delta\|^2 / 2$), а δ_{k+1} — так называемая «невязка», малость которой соответствует достижению цели.

Цель адаптации (совпадающая с целью оптимального управления) предполагает уменьшение величины $|\delta_{k+1}|$, поэтому удобен общий подход к синтезу алгоритма адаптации, а именно градиентный подход. Градиентные алгоритмы, обеспечивающие достижение целей управления (3) и (9), имеют соответственно вид

$$c_{i,k+1} = \begin{cases} c_k, & |\delta_{k+1}| \leq \Delta \\ c_k - \gamma \frac{\text{sign } b_0 \delta_{k+1} z_k}{\|z_k\|^2}, & |\delta_{k+1}| > \Delta \end{cases} \quad (11)$$

$$c_{k+1} = \begin{cases} c_k, & |c_{k+1}^T z_k| \leq Q_{ui} \\ c_k - \frac{[c_{k+1}^T z_k - \rho^0 Q_u \text{sign}(c_{k+1}^T z_k)] z_{k+1}}{\|z_{k+1}\|^2}, & |c_{k+1}^T z_k| > Q_{ui} \end{cases} \quad (12)$$

Достижение цели адаптации при учете дополнительных ограничений на исполнительное устройство определяется [6] суперпозицией алгоритмов (11) и (12).

Сравнение оценочных показателей плавности хода и безопасности движения для систем на пассивных элементах и с адаптивным оптимальным управлением амортизаторами выполнено при возмущении от дорожной поверхности, односторонняя спектральная плотность которого аппроксимируется выражением

$$G_\chi(\omega) = \begin{cases} 2 \frac{4D_\chi}{\omega_*} \frac{1+x_0^2}{[1+(x+x_0)^2][1+(x-x_0)^2]} \\ x = \frac{\omega}{\omega_*}; \quad x_0 = \frac{\omega_0}{\omega_*} \end{cases}$$

где ω_* и ω_0 — коэффициенты аппроксимации, D_χ — дисперсия возмущения.

При расчетах пространственных колебаний автомобиля учитывается, что возмущение от дорожной поверхности под колесами левого χ_1 и правого χ_2 бортов автомобиля коррелированы между собой. В качестве примера на рис. 2 и 3 представлены средние квадратические отклонение σ_z вертикального виброускорения и оценки σ_p безопасности движения, рассчитанные при различных скоростях движения автомобиля.

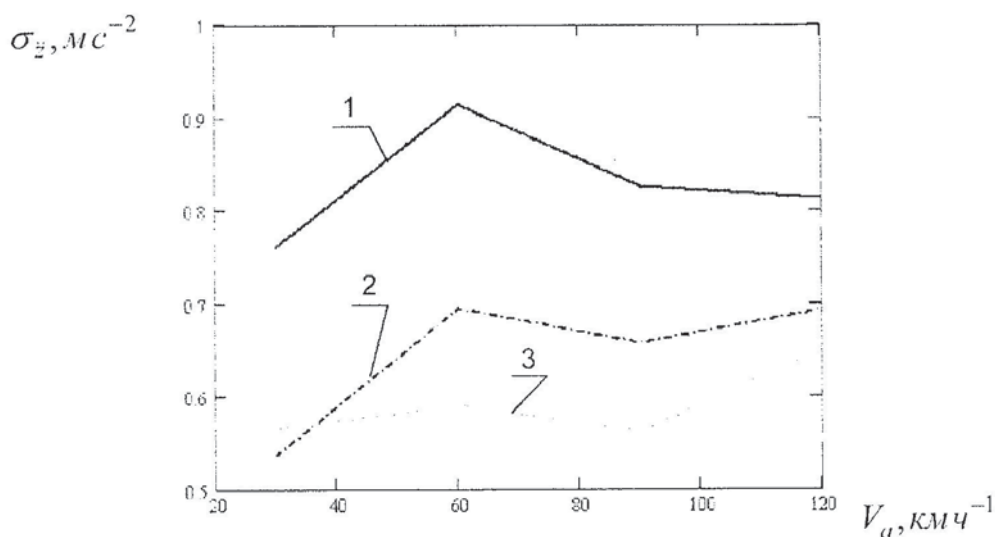


Рис. 2. Зависимость среднего квадратического отклонения σ_z вертикального виброускорения от скорости движения автомобиля: 1 — пассивная система; 2 — система типа «инерциальный демпфер»; 3 — адаптивная система

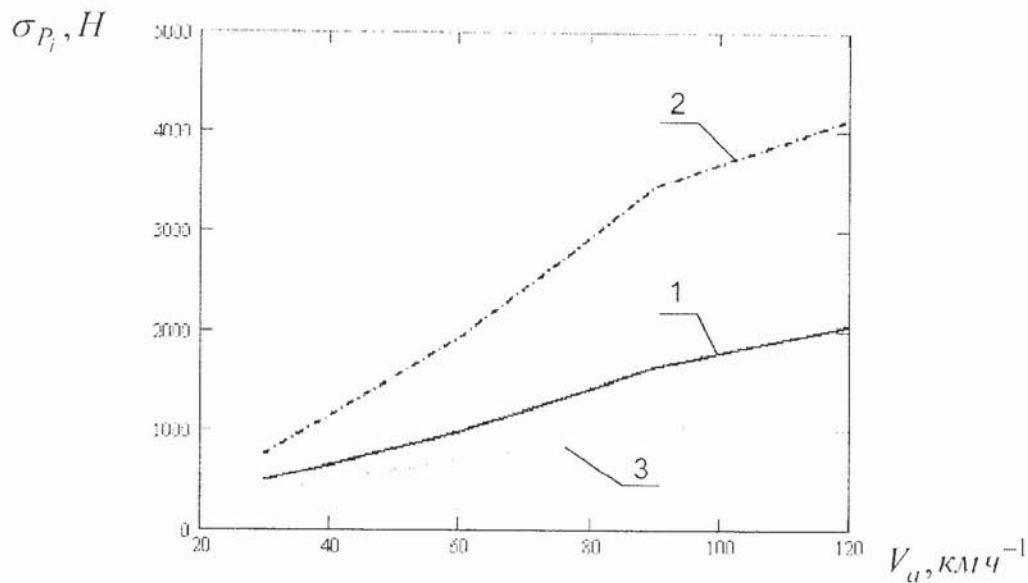


Рис. 3. Зависимость среднего квадратического отклонения σ_{P_i} оценки безопасности движения P_i ($i = 1$) от скорости движения автомобиля: 1 — пассивная система; 2 — система типа «инерциальный демпфер»; 3 — адаптивная система

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель/ Под ред. проф. Хачатурова А.А. — М.: Машиностроение, 1976/ — 536 с.
2. Медведев В. С. Адаптивные системы автоматического управления. Уч. пособие. Ч. I. — М.: Изд-во МГТУ. — 1994. 51 с.
3. Фурунжиев Р.И., Останин А. Н. Управление колебаниями многоопорных машин. — М.: Машиностроение, 1984, 384 с.
4. Фрадков А. Л. Адаптивное управление в сложных системах: беспоисковые методы. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. — 296 с.
5. Karnopp D, Crosby M. J, Harwood R. A. Vibration Control Using Semi-Active Force Generators, «Journal of Engineering for Industry», May 1974, Vol. 96. — No. 2. — TA 1.J6.34, pp. 619—626.
6. Адаптивное оптимальное управление динамическими объектами. Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. — 448 с.