

– расчет площади дроссельных отверстий с использованием схемы расположения управляющего клапана на корпусе амортизатора (рис. 3).

Анализ полученной в результате расчетов таблицы «Площади дроссельных отверстий электромагнитного клапана» позволяет делать вывод, в каких пределах следует изменять площадь сечения пропускных отверстий ( $f_{\min}$  и  $f_{\max}$  отдельно для каждой оси) для того, чтобы обеспечить изменение сопротивления амортизатора.

Методика позволяет произвести расчет управляемой подвески для любого легкового автомобиля, что может существенно сократить затраты на последующее проектирование, имея предварительные данные компьютерного расчета. Это, в свою очередь, повлияет на возможность использования управляемых амортизаторов не только на автомобилях высокого класса, но и на экономически более доступных, делая их более безопасными за счет стабильного движения в любых дорожных условиях.

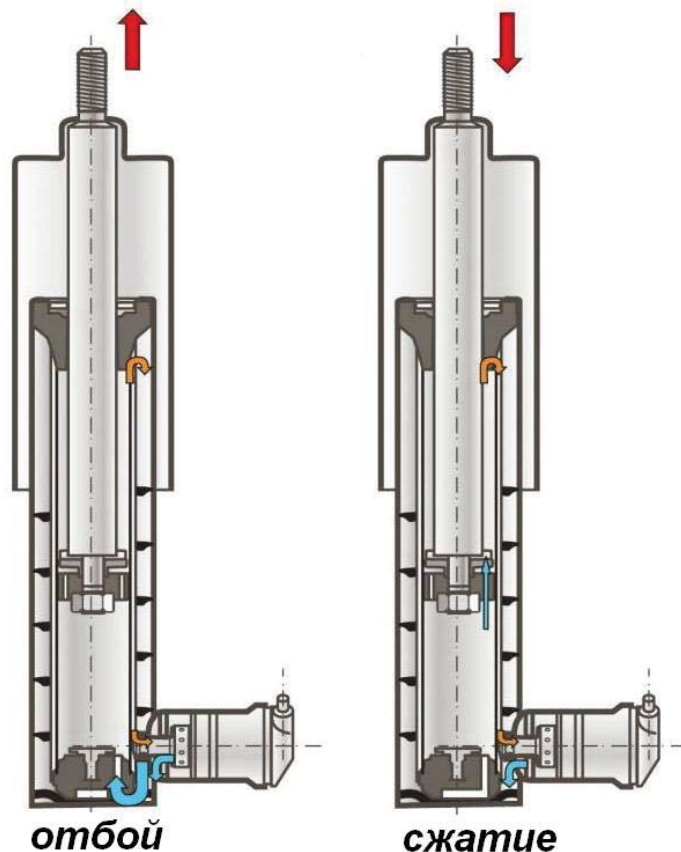


Рис. 3. Схема расположения и работы электромагнитного клапана амортизатора

УДК 629.113.012.82/83

С.Н. Подболотов, В.Е. Ролле, А.Г. Семенов  
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,  
г. Санкт-Петербург

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВЫКЛАДКИ К РАСЧЕТНОЙ МЕТОДИКЕ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЯЕМОГО АМОРТИЗАТОРА

Цель работы – разработка расчетно-теоретического аппарата к методике расчета характеристик управляемого амортизатора. Объект исследования – легковой автомобиль с управляемыми амортизаторами.

В исследованиях используется двухмассовая схема подвески с учетом деформации шин, так как она позволяет провести расчеты отдельно для передней и задней осей автомобиля. Схема подвески с учетом колебаний водителя на сиденьи показана на рис. 1.

Уравнение динамического равновесия подрессоренной массы в приращениях:

$$M_n \ddot{z} = 2P + 2R. \quad (1)$$

где  $P = C f = C(-z + \lambda)$  – приращение упругой силы;

$R = k \dot{f} = k(-\dot{z} + \dot{\lambda})$  – приращения демпфирующей силы.

Подставляем выражения для  $P$  и  $R$  в уравнение (1), все члены уравнения делим на  $M_n$  и производим разделение переменных:

$$\ddot{z} + 2 \frac{k}{M_n} \dot{z} + 2 \frac{C}{M_n} z = 2 \frac{k}{M_n} \dot{\lambda} + 2 \frac{C}{M_n} \lambda.$$

Введем обозначения:

$$a1 = 2 \frac{k}{M_n}; \quad a = 2 \frac{C}{M_n}.$$

С учетом принятых обозначений записываем уравнение (1) в операторной форме:

$$(p^2 + a1 p + a) z = (a1 p + a) \lambda. \quad (2)$$

Уравнение динамического равновесия неподрессоренной массы в приращениях:

$$m \ddot{\lambda} - 2P - 2R = 2P_u + 2R_u, \quad (3)$$

где упругая сила деформации шины  $P_u = C_u h = C_u(-\lambda + y)$ ;

$R_u = k_u \dot{h} = k_u(-\dot{\lambda} + \dot{y})$  – демпфирующая сила шины.

Раскрываем уравнение (3):

$$m \ddot{\lambda} - 2C(-z + \lambda) - 2k(-\dot{z} + \dot{\lambda}) = 2C_u(-\lambda + y) + 2k_u(-\dot{\lambda} + \dot{y})$$

или после разделения переменных

$$m \ddot{\lambda} + 2(k + k_m) \dot{\lambda} + 2(C + C_m) \lambda = 2kz + 2Cz + 2k_m \dot{y} + 2C_m y.$$

Делим все члены последнего уравнения на  $m$  и вводим новые обозначения:

$$d1 = \frac{2(k + k_m)}{m}; \quad d = \frac{2(C + C_m)}{m}; \quad dz1 = \frac{2k}{m};$$

$$dz = \frac{2C}{m}; \quad dyl = \frac{2k_m}{m}; \quad dy = \frac{2C_m}{m}.$$

Тогда  $\ddot{\lambda} + d1 \dot{\lambda} + d \lambda = dz1 \dot{z} + dz z + dyl \dot{y} + dy y$

или в операторной форме

$$(p^2 + d1 p + d) \lambda = (dz1 p + dz) z + (dyl p + dy) y.$$

Записываем уравнение относительно  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{(dz1 \cdot p + dz)}{(p^2 + d1 \cdot p + d)} z + \frac{(dyl \cdot p + dy)}{(p^2 + d1 \cdot p + d)} y$$

и далее подставляем его в уравнение (2):

$$(p^2 + a1 p + a) z = (a1 p + a) \left[ \frac{(dz1 p + dz)}{(p^2 + d1 p + d)} z + \frac{(dyl p + dy)}{(p^2 + d1 p + d)} y \right].$$

Производим разделение переменных:

$$[(p^2 + a1 p + a) - \frac{(a1 p + a)(dz1 p + dz)}{(p^2 + d1 p + d)}] \cdot z = \frac{(a1 p + a)(dyl p + dy)}{(p^2 + d1 p + d)} y.$$

После приведения к общему знаменателю:

$$[(p^2 + a1 p + a)(p^2 + d1 p + d) - (a1 p + a)(dz1 p + dz)] z = (a1 p + a)(dyl p + dy) y.$$

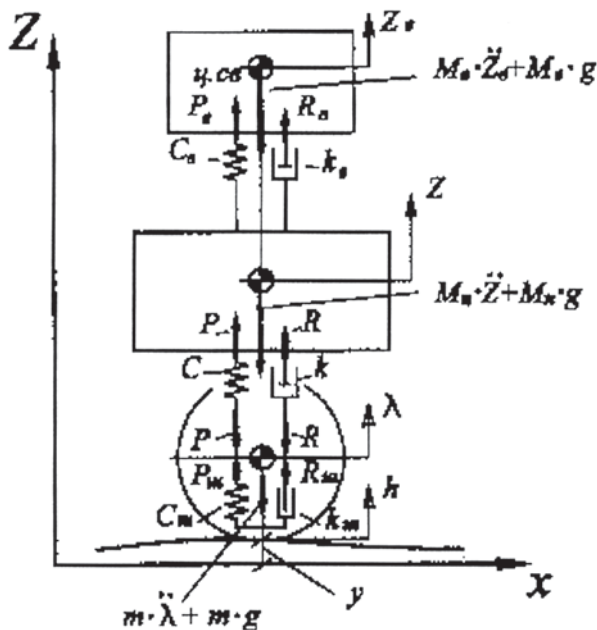


Рис. 1. Расчетная схема подвески с учетом деформации шин

Передаточная функция:

$$W(p) = \frac{z(p)}{y(p)} = \frac{(a1 p + a)(dyl p + dy)}{(p^2 + a1 p + a)(p^2 + d1 p + d) - (a1 p + a)(dz1 p + dz)} \quad (4)$$

Записываем числитель и знаменатель относительно степени оператора  $p$ , для чего раскрываем скобки:

– для числителя

$$M(p) = (a1 p + a)(dyl p + dy) = a1 dyl p^2 + a1 dy p + dyl a p + a dy = a1 dyl p^2 + (a1 dy + dyl a) p + a dy.$$

Примем обозначения:

$$a_2 = a1 dyl; \quad a_1 = a1 dy + dyl a; \quad a_0 = a dy,$$

тогда  $M(p) = a_2 p^2 + a_1 p + a_0$ .

– для знаменателя

$$N(p) = (p^2 + a1 p + a)(p^2 + d1 p + d) - (a1 p + a)(dz1 p + dz) = p^4 + d1 p^3 + d p^2 + a1 p^3 + a1 d1 p^2 + a1 d p + a p^2 + a d1 p + a d - a1 dz1 p^2 - a1 dz p - a dz1 p - a dz = p^4 + (d1 + a1) p^3 + (a1 d1 - a1 dz1 + a + d) p^2 + (a1 d + a d1 - a1 dz - a dz1) p + (a d - a dz).$$

Обозначим:

$$b_3 = d1 + a1; \quad b_2 = a1 d1 - a1 dz1 + a + d; \quad b_1 = a1 d + a d1 - a1 dz - a dz1; \quad b_0 = a d - a dz$$

или с учетом обозначений

$$N(p) = p^4 + b_3 p^3 + b_2 p^2 + b_1 p + b_0.$$

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(p) = \frac{z(p)}{y(p)} = \frac{M(p)}{N(p)} = \frac{a_2 p^2 + a_1 p + a_0}{p^4 + b_3 p^3 + b_2 p^2 + b_1 p + b_0}.$$

Частотная характеристика:

$$W(j\omega) = \frac{z(j\omega)}{y(j\omega)} = \frac{M(j\omega)}{N(j\omega)} = \frac{a_2 (j\omega)^2 + a_1 (j\omega) + a_0}{(j\omega)^4 + b_3 (j\omega)^3 + b_2 (j\omega)^2 + b_1 (j\omega) + b_0} = \frac{(-a_2 \omega^2 + a_0) + j a_1 \omega}{(\omega^4 - b_2 \omega^2 + b_0) j (-b_3 \omega^3 + b_1 \omega)}.$$

Запишем:  $A(\omega) = a_0 - a_2 \omega^2;$   $B(\omega) = a_1 \omega;$

$C(\omega) = b_0 - b_2 \omega^2 + \omega^4;$   $D(\omega) = b_1 \omega - b_3 \omega^3.$

В этом случае амплитудно-частотную характеристику определяем как

$$Az(\omega) = \sqrt{\frac{A^2(\omega) + B^2(\omega)}{C^2(\omega) + D^2(\omega)}} \quad (5)$$

Частотная характеристика для ускорения:

$$Wz2(\omega) = \omega^2 Az(\omega) y_0.$$

Составлена программа расчета для передней подвески с использованием математической системы *MATCAD* (не приведена).