

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КОЛЕБАНИЙ СОЧЛЕНЕННОГО АВТОБУСА

Л. ИЛОШВАИ—Т. МАРКУШ

Кафедра автомобилей
Будапештского Технического Университета

(Поступила 20 марта 1973 г.)

Представлена проф. д-р З. Леван

В ходе работ по улучшению плавности хода сочлененного автобуса возникла мысль гашения относительных угловых колебаний вертикального направления тягача и полуприцепа гидравлическим амортизатором. Учитывая то обстоятельство, что сочлененный автобус представляет собой сложную колебательную систему (1), обладающую большей степенью свободы, большей связью перемещений и связью ускорения, но свойства колебаний, которые еще недостаточно выяснены, казалось целесообразно исследовать действие колебаний гидравлического амортизатора, расположенного в точке сочленения, путем математического анализа колебаний.

Параллельно этой работе целесообразным казалось также проведение работ, выясняющих некоторые особенности колебательной системы.

Авторы этой статьи, принимая во внимание вышеуказанное, поставили целью проведение следующих исследований:

1. Исследование влияния сухого трения в точке сочленения на колебания.

2. Исследование влияния гидравлического амортизатора, расположенного в точке сочленения и реагирующего на относительную угловую скорость, на колебания.

3. Исследование влияния пружины, расположенной в точке сочленения и реагирующей на относительное угловое отклонение, на колебания.

Основой анализа колебаний служила колебательная система с тройной степенью свободы (фиг. 1), построенная уже известным способом (2). При построении колебательной системы были приняты следующие основные исходные условия:

1. Исходя из типа автобуса, исследования ограничивались только вертикальными колебаниями.

2. Исходя из характера исследования, пренебрегалась неподрессоренная масса.

3. Принимая за основу комбинированную подвеску (листовые + воздушные рессоры), пренебрегалось сухое трение подвески.

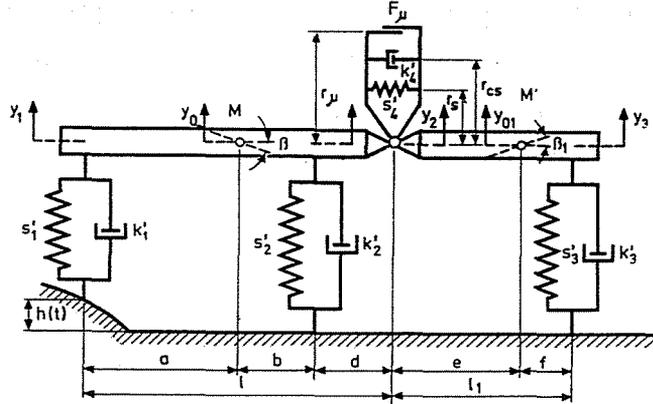


Рис. 7. Система колебаний тройной степени свободы сочлененного автобуса

4. Пренебрегалось амортизирующее свойство автомашин.
5. Кузов предполагался абсолютно жестким телом.

Принимая во внимание перечисленные основные исходные условия, вертикальные колебания колебательной системы с тройной степенью свободы сочлененного автобуса могут быть выражены следующей нелинейной, неоднородной дифференциальной системой уравнений:

$$M_1 \cdot \ddot{y}_1 + k_1 \cdot \dot{y}_1 + s_1 \cdot y_1 + M_4 \cdot \ddot{y}_2 + k_2 \cdot \dot{y}_2 + s_2 \cdot y_2 + k_3 \cdot \dot{y}_3 + s_3 \cdot y_3 + F_\mu \cdot n_1 \operatorname{sign} A - k'_1 \cdot h_1(t) - s'_1 \cdot \dot{h}_1(t) - k_4 \cdot \dot{h}_2(t) - s_4 \cdot h_2(t) = 0$$

$$M_4 \cdot \ddot{y}_1 + k_5 \cdot \dot{y}_1 + s_5 \cdot y_1 + M_2 \cdot \ddot{y}_2 + k_6 \cdot \dot{y}_2 + s_6 \cdot y_2 + M_5 \cdot \dot{y}_3 - k_7 \cdot \dot{y}_3 - s_7 \cdot y_3 - F_\mu \cdot n_2 \operatorname{sign} A - k_8 \cdot \dot{h}_2(t) - s_8 \cdot h_2(t) = 0$$

$$k_9 \cdot \dot{y}_1 + s_9 \cdot y_1 + M_5 \cdot \ddot{y}_2 - k_7 \cdot \dot{y}_2 - s_7 \cdot y_2 + M_3 \cdot \ddot{y}_3 + k_{11} \dot{y}_3 + s_{11} \cdot y_3 + F_\mu \cdot n_3 \operatorname{sign} A - k'_3 \cdot \dot{h}_3(t) - s'_3 \cdot h_3(t) = 0$$

где:

приведенные массы:

$$M_1 = M \frac{(b+d)^2 + e^2}{l^2}$$

$$M_2 = M \frac{a^2 + e^2}{l^2} + M' \frac{f^2 + e_1^2}{l_1^2},$$

$$M_3 = M' \frac{e^2 + e_1^2}{l_1^2}$$

$$M_4 = M \frac{(b+d) \cdot a - e^2}{l^2},$$

$$M_5 = M' \frac{e \cdot f - e_1^2}{l_1^2}$$

- M — масса тягача,
 M' — масса полуприцепа,
 e — радиус инерции, приведенный к центру тяжести тягача,
 e_1 — радиус инерции, приведенный к собственному центру тяжести полуприцепа

a, b, c, d, e, f, l и l_1 — геометрические размеры (фиг. 1). Приведенные коэффициенты затухания:

$$k_1 = k'_1 + \frac{d^2}{l^2} \cdot k'_2 + \frac{r_{cs}^2}{l^2} \cdot k'_4,$$

$$k_2 = \frac{(l-d) \cdot d}{l^2} \cdot k'_2 - \frac{l+l_1}{l^2 \cdot l_1} \cdot r_{cs}^2 \cdot k'_4$$

$$k_3 = \frac{r_{cs}^2}{l \cdot l_1} \cdot k'_4$$

$$k_4 = \frac{d}{l} \cdot k'_2,$$

$$k_5 = \frac{d(l-d)}{l^2} \cdot k'_2 - \frac{l+l_1}{l_2+l_1} \cdot r_{cs}^2 \cdot k'_4,$$

$$k_6 = \frac{(l-d)^2}{l^2} \cdot k'_2 + \frac{(l+l_1)^2}{l^2 \cdot l_1^2} \cdot r_{cs}^2 \cdot k'_4,$$

$$k_7 = \frac{l+l_1}{l \cdot l_1^2} \cdot r_{cs}^2 \cdot k'_4,$$

$$k_8 = \frac{l-d}{l} \cdot k'_2,$$

$$k_9 = \frac{r_{cs}^2}{l \cdot l_1} \cdot k'_4,$$

$$k_{10} = k_7,$$

$$k_{11} = k_3 + \frac{r_{cs}^2}{l_1^2} \cdot k'_4$$

$$\left. \begin{aligned} k'_1 &= f_1 \cdot [\dot{y}_1 - \dot{h}_1(t)] \\ k'_2 &= f_2 \cdot [\dot{y}_2 - \dot{h}_2(t)] \\ k'_3 &= f_3 \cdot [\dot{y}_3 - \dot{h}_3(t)] \end{aligned} \right\} \text{нелинейные коэффициенты затухания подвесок}$$

k'_4 — коэффициент затухания амортизатора, расположенного в точке сочленения

r_{cs} — плечо силы затухания

Приведенные коэффициенты жесткости:

$$s_1 = s'_1 + \frac{d^2}{l^2} \cdot s'_2 + \frac{r_s^2}{l^2} \cdot s'_4,$$

$$s_2 = \frac{(l-d) \cdot d}{l^2} \cdot s'_2 - \frac{l+l_1}{l^2 \cdot l_1} \cdot r_s^2 \cdot s'_4,$$

$$s_3 = \frac{r_s^2}{l \cdot l_1} \cdot s'_4,$$

$$s_4 = \frac{d}{l} \cdot s'_2,$$

$$s_5 = \frac{d(l-d)}{l^2} \cdot s'_2 - \frac{l+l_1}{l^2 \cdot l_1} \cdot r_s^2 \cdot s'_4,$$

$$s_6 = \frac{(l-d)^2}{l^2} \cdot s'_2 + \frac{(l+l_1)^2}{l^2 \cdot l_1^2} \cdot r_s^2 \cdot s'_4,$$

$$s_7 = \frac{l+l_1}{l \cdot l_1^2} \cdot r_s^2 \cdot s'_4,$$

$$s_8 = \frac{l-d}{l} \cdot s'_2,$$

$$s_9 = \frac{r_s^2}{l \cdot l_1} \cdot s'_4,$$

$$s_{10} = s_7,$$

$$s_{11} = s'_3 + \frac{r_s^2}{l_1^2} \cdot s'_4$$

$$\left. \begin{aligned} s'_1 &= f'_1 \cdot [y_1 - h_1(t)] \\ s'_2 &= f'_2 \cdot [y_2 - h_2(t)] \\ s'_3 &= f'_3 \cdot [y_3 - h_3(t)] \\ s'_4 & \end{aligned} \right\}$$

нелинейные коэффициенты жесткости подвесок

r_s

— коэффициент жесткости пружины, расположенной в точке сочленения

$y_1; y_2; y_3$

— плечо силы пружины

F_μ

— общие координаты

r_μ

— сила трения

$h_1(t); h_2(t); h_3(t)$

— плечо силы трения

— высота микропрофиля дороги под передней, средней и задней подвесками

Для определения высот микропрофиля дороги использовались следующие уравнения:

$$h_1(t) = h(t)$$

$$h_2(t) = \begin{cases} 0 & \text{если } t < t'_0 \\ h(t - t'_0), & t'_0 = \frac{l}{V} \end{cases}$$

$$h_3(t) = \begin{cases} 0 & \text{если } t < t''_0 \\ h(t - t''_0), & t''_0 = \frac{l + l_1}{V} \end{cases}$$

где:

- V — скорость автобуса
 l, l_1 — геометрические данные (фиг. 1)

Функция микропрофиля дороги — $h(t)$ — была выведена (3) с помощью аналоговой электронно-вычислительной машины типа МЕДА из произведенного генератором «белого» шума, с использованием соответствующих фильтров.

Статические данные полученной таким образом функции микропрофиля дороги (средняя величина, среднее квадратичное отклонение, энергетический спектр) совпадают с литературными данными (4) этого типа дороги.

Решение второстепенной, неоднородной, нелинейной дифференциальной системы уравнений вертикальных колебаний сочлененного автобуса было проведено цифровой электронно-вычислительной машиной типа «Раздан-3». В качестве числового метода был применен видоизмененный Мерзоном метод Рунге—Кутты [5].

В качестве показателя плавности хода были использованы среднее квадратичные отклонения вертикальных перемещений передней подвески (y_1), точки сочленения (y_2) задней подвески y_3 и среднее квадратичное отклонение вертикальных ускорений $D\ddot{y}$.

В наших вычислениях были использованы относящиеся сюда данные пустого сочлененного автобуса «Икарус-180» [1].

Программу исследования мы составили соответственно тематике дорожных испытаний.

Скорость колебательной системы сочлененного автобуса по бетону, затем по булыжнику, была 60 км/час, но один из нижеуказанных параметров мы постепенно увеличивали, оставляя неизменными два других параметра.

Переменными параметрами были следующие:

1. F_μ — сухое трение, возникающее в точке сочленения, в интервале 0—3000 кг
2. K_4 — коэффициент затухания амортизатора, расположенного в точке сочленения, в интервале 0—3000 кгсм⁻¹

3. s_4 — коэффициент жесткости пружины, расположенной в точке сочленения, в интервале 0—3000 кгсм⁻¹

Плечо гашения, трения и силы пружины было принято за 25 см.

Результаты исследований

1. Исследование влияния сухого трения, возникающего в точке сочленения

Сухое трение практически не влияет на отклонения вертикальных перемещений, при условии движения по бетону (фиг. 2).

С возрастанием силы трения несколько уменьшаются отклонения вертикальных перемещений при условии движения по булыжнику (за исключением задней подвески). Оптимальное положение (минимальное отклонение вертикальных перемещений) создается при силе трения, равной $F_{\mu} = 1000$ кг.

В противоположность отклонениям вертикальных перемещений, в результате действия силы трения значительно увеличиваются (фиг. 3) среднеквадратичные отклонения вертикальных ускорений (D_y).

Кроме этого, с возрастанием сухого трения частота преобладающих колебаний перемещается в область высоких частот, вредно влияющих на организм человека. На это указывает то обстоятельство, что наряду с возрастающим среднеквадратичным отклонением вертикальных ускорений величина среднеквадратичного отклонения вертикальных перемещений практически остается или постоянной, или имеет тенденцию понижения (фиг. 2). Это подтверждают также и результаты исследований другого направления в связи с влиянием сухого трения [3].

2. Исследование влияние гидравлического амортизатора в точке сочленения

Расположенный в точке сочленения гидравлический амортизатор не влияет заметно (фиг. 4) на среднеквадратичные отклонения вертикальных перемещений, за исключением точки сочленения (где наблюдается некоторое уменьшение), при условии движения автобуса по бетону.

Но при условии движения по булыжнику уже заметно уменьшаются среднеквадратичные отклонения вертикальных перемещений передней подвески (около 10%) и точки сочленения (прибл. 27%).

Рассматривая соединенные квадратичные отклонения вертикальных ускорений, нужно отметить, что они заметно уменьшаются, за исключением задней подвески, в результате действия гидравлического амортизатора. Самое большое снижение можно заметить в точке сочленения. По бетону оно прибл. 26%, по булыжнику прибл. 33% (фиг. 5).

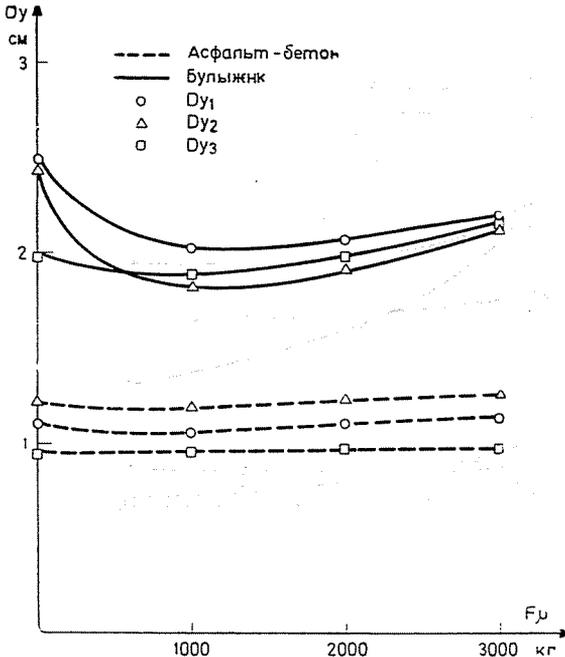


Рис. 2. Изменение среднеквадратичных отклонений вертикальных перемещений в зависимости от сухого трения

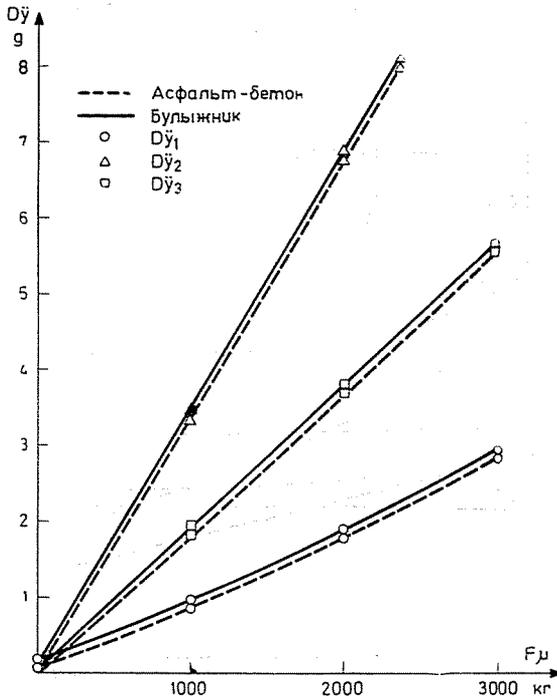


Рис. 3. Изменение среднеквадратичных отклонений вертикальных ускорений в зависимости от сухого трения

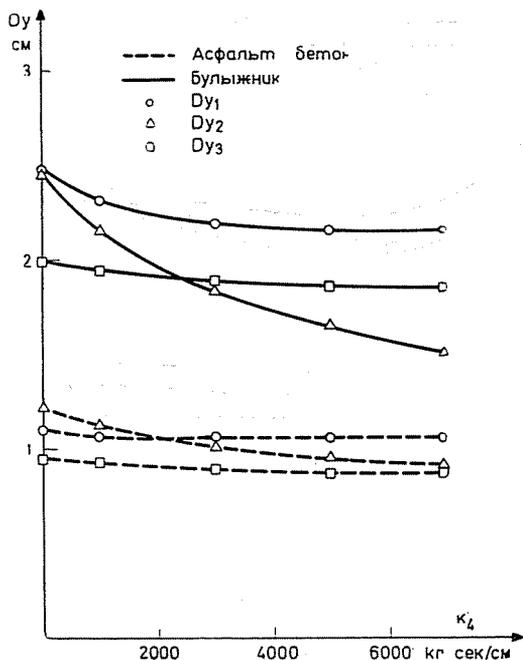


Рис. 4. Изменение средневквдратичных отклонений вертикальных перемещений в зависимости от коэффициента затухания

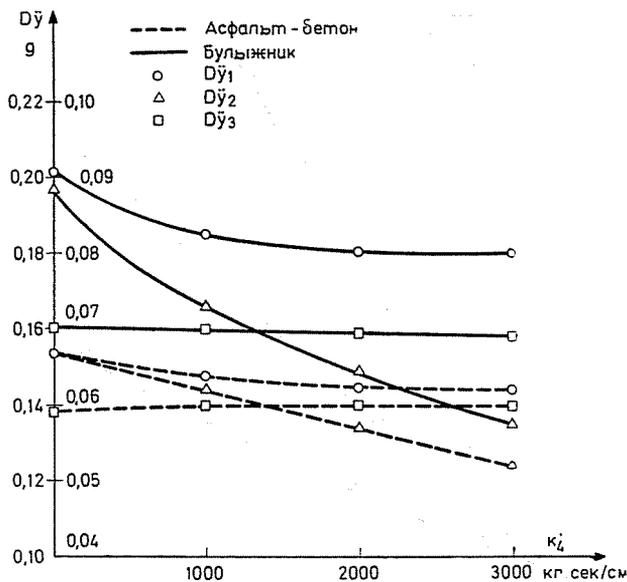


Рис. 5. Изменение средневквдратичных отклонений вертикальных ускорений в зависимости от коэффициента затухания

3. Исследование влияния пружины, расположенной в точке сочленения

Изменение жесткости пружины, расположенной в точке сочленения, практически не влияет на среднеквадратичные отклонения вертикальных перемещений автобуса (фиг. 6).

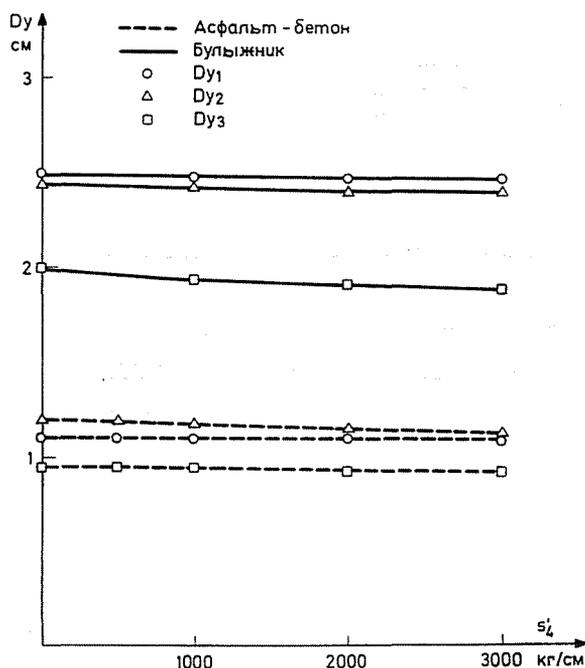


Рис. 6. Изменение среднеквадратичных отклонений вертикальных перемещений в зависимости от коэффициента жесткости

Увеличение жесткости пружины также не дало значительного изменения среднеквадратичных отклонений вертикальных перемещений передней и задней подвесок (фиг. 7).

Но в точке сочленения, наряду с практически постоянной амплитудой колебаний, можно заметить значительное увеличение среднеквадратичного отклонения вертикальных ускорений (по булыжнику почти 16%). Последнее означает то, что с увеличением жесткости пружины здесь тоже увеличивается частота преобладающих колебаний.

Выводы

1. Сухое трение, возникающее в точке сочленения, увеличивая среднеквадратичные отклонения вертикальных ускорений и частоту преобладаю-

щих колебаний, отрицательно влияет на плавность хода. Поэтому необходимо уменьшать сухое трение в точке сочленения.

2. *Гидравлический амортизатор*, расположенный в точке сочленения, несколько улучшает плавность хода. Но для достижения значительных

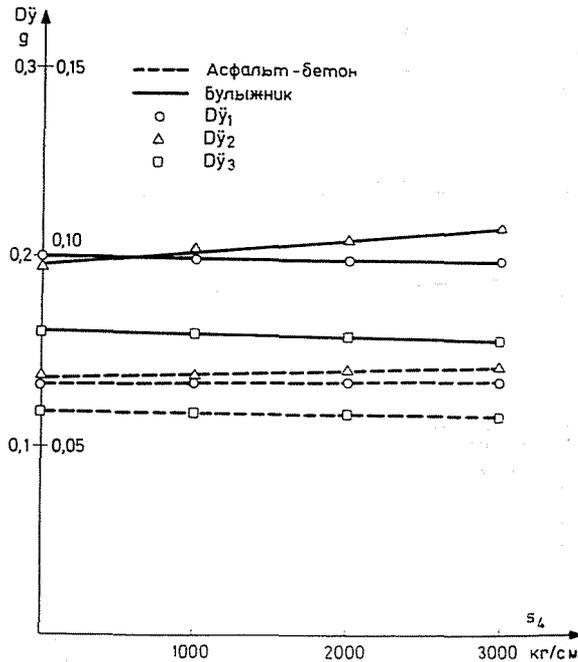


Рис. 7. Изменение среднеквадратичных отклонений вертикальных ускорений в зависимости от коэффициента жесткости

результатов необходимо усиленное гашение, что трудно выполнимо с конструкционной точки зрения.

3. *Пружина*, расположенная в точке сочленения, тоже отрицательно влияет на плавность хода, так как увеличивает среднеквадратичные отклонения вертикальных ускорений и частоту преобладающих колебаний.

Резюме

Из свойств, влияющих на плавность хода сочлененного автобуса, статья рассматривает влияние сухого трения в точке сочленения, гидравлического амортизатора, реагирующего на угловую скорость, а также пружины на колебания. Основой математического анализа служит нелинейная стохастическая система дифференциальных уравнений, решение которой осуществляется на ЭЦВМ.

