

Зависимость размахов крутящего момента, измеренного на первичном валу коробки передач автомобилей ГАЗ-53А и ГАЗ-66, от скорости движения и числа оборотов двигателя (шкалы согласованы для четвертой передачи) показана на рис. 4. Аналогичные характеристики для автомобиля ГАЗ-51 приведены в работе [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Успенский И. Н., Вайсман М. И. Труды Горьковского сельскохозяйственного института. Т. XXII. Вып. 2, 1968.

- 2. Веселый Е. С. «Автомобильная промышленность», 1965, № 12.
- 3. Симakov Ф. Ф. «Известия вузов. Машиностроение», 1963, № 3.
- 4. Куприянов А. А. «Известия вузов. Машиностроение», 1966, № 11.
- 5. Терских В. П. Расчет крутильных колебаний силовых установок. Машгиз, 1954—1955.
- 6. Стефанович Ю. Г., Москалев В. Н., Лунев И. С. «Автомобильная промышленность», 1960, № 10.

УДК 629.114.3:625.7.033.4.001.5

Влиянии неровностей дорог на продольное взаимодействие звеньев автопоезда

Канд. техн. наук А. В. ЖУКОВ

Белорусский политехнический институт

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ продольные перемещения звеньев сцепного автопоезда носят ярко выраженный колебательный характер [1] из-за наличия в сцепке упругих элементов. Горизонтальные продольные колебания происходят под действием изменяющихся тяговых или тормозных сил при неустановившихся режимах движения. При установившемся движении возникают вынужденные колебания звеньев автопоезда.

Основной причиной, вызывающей эти колебания, является непрерывное изменение силы сопротивления движению автопоезда. Силы сопротивления изменяются потому, что угловые и вертикальные колебания поддресоренных и неподдресоренных масс тягача и прицепных звеньев вызывают изменение суммарной динамической силы взаимодействия колес с поверхностью дороги.

Схема горизонтальных продольных колебаний, а также колебаний поддресоренных масс в продольной плоскости при движении автомобиля с двухосным прицепом по неровной дороге показана на рис. 1.

где

$$2a = \frac{k_{cu}(M_a + M_n)}{M_a M_n} \text{ — коэффициент затухания;}$$

$$b = \sqrt{C_{cu} \frac{M_a + M_n}{M_a M_n}} \text{ — круговая частота собственных колебаний системы;}$$

k_{cu} — коэффициент сопротивления сцепки;
 C_{cu} — жесткость упругого элемента сцепки;

M_a и M_n — массы тягача и прицепа;
 $x = x_2 - x_1$ — деформация упругого элемента сцепки;

$$P_f = \frac{P_{fn}}{M_n} - \frac{P_{fa}}{M_a} \text{ — сила сопротивления движению автопоезда.}$$

Движение автопоезда рассматривается на дороге, микро-рельеф которой носит случайный характер, и представляется стационарной случайной функцией. Следовательно, рассматриваемые силы сопротивления движению также носят случайный характер $P_{fn} = f_1(t)$ и $P_{fa} = f_2(t)$. После преобразования Лапласа уравнения (2) имеем

$$(s^2 + 2as + b^2)x(s) = \frac{1}{M_n} F_1(s) - \frac{1}{M_a} F_2(s). \quad (3)$$

В частном случае предполагаем, что продольные колебания автопоезда в горизонтальной плоскости происходят только под действием силы сопротивления движению прицепа, т. е. $f_2(t) = 0$. Тогда, разделив на $F_1(s)$ правую и левую части уравнения (3) и перейдя затем от преобразования Лапласа к преобразованию Фурье, получим выражение амплитудно-фазовой частотной характеристики продольных горизонтальных колебаний автопоезда, модуль которой

$$|W_x(t, \omega)| = \frac{1}{M_n} \sqrt{\frac{1}{(b^2 - \omega^2)^2 + 4a^2 \omega^2}}, \quad (4)$$

где ω — круговая частота возмущения.

Усилие в сцепке автопоезда можно выразить в виде

$$P_{cu} = C_{cu}x + k_{cu}\dot{x}. \quad (5)$$

Из уравнения (5) с помощью преобразования Лапласа и Фурье получаем выражение модуля амплитудной частотной характеристики усилия в сцепном устройстве автопоезда

$$|W_{cu}(i\omega)| = \sqrt{C_{cu}^2 \omega^2 + k_{cu}^2} |W_x(t, \omega)|. \quad (6)$$

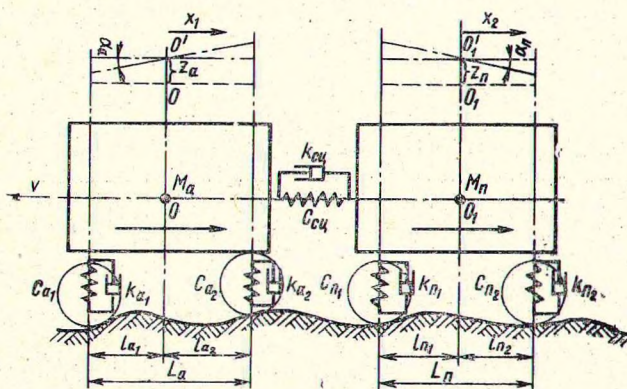


Рис. 1. Схема колебаний автопоезда

Считая характеристику упругого элемента сцепного устройства линейной и пренебрегая зазором в сцепке, общезвестными приемами получаем дифференциальные уравнения продольных горизонтальных колебаний автопоезда.

$$M_a \ddot{x}_1 + k_{cu} \dot{x}_1 + C_{cu} x_1 - k_{cu} \dot{x}_2 - C_{cu} x_2 = P_{fa}; \quad (1)$$

$$M_n \ddot{x}_2 + k_{cu} \dot{x}_2 + C_{cu} x_2 - k_{cu} \dot{x}_1 - C_{cu} x_1 = P_{fn}.$$

Уравнения (1) преобразуются в одно следующее дифференциальное уравнение:

$$\ddot{x} + 2ax + b^2x = P_f, \quad (2)$$

ВЕРСИЯ
 ПОДАТЬ
 1970

Спектральная плотность $S_{cu}(\omega)$ реакции в сцепке:

$$S_{cu}(\omega) = |W_{cu}(i\omega)|^2 S_{P_{fn}}(\omega), \quad (7)$$

где $S_{P_{fn}}(\omega)$ — спектральная плотность воздействия или энергетический амплитудный спектр сопротивления движению прицепа.

Спектральная плотность воздействия $|S_{P_{fn}}(i\omega)|$, в свою очередь, определяется произведением квадрата модуля $|W_{P_{fn}}(i\omega)|$ амплитудной частотной характеристики сопротивления движению прицепа на энергетический спектр воздействия $\Phi(\omega)$ от дороги на прицеп, т. е.

$$S_{P_{fn}}(\omega) = |W_{P_{fn}}(i\omega)|^2 \Phi(\omega). \quad (8)$$

Чтобы определить сопротивление движению прицепа, запишем

$$P_{fn} = Rf,$$

где R — суммарная динамическая вертикальная реакция на всех колесах прицепа от дороги;

f — удельное сопротивление передвижению прицепа по дороге.

Динамическая вертикальная реакция определяется взаимодействием поддресоренных и неподдресоренных масс транспортной системы с неровностями дороги:

$$R = \sum_{i=1}^n m_n \ddot{y}_i + \sum_{i=1}^n R_i + \sum_{i=1}^n N_i + G_n,$$

где \ddot{y}_i — ускорение оси колеса, обусловленное микропрофилом дороги;

$\sum_{i=1}^n R_i$ — равнодействующая упругих сил рессор;

$\sum_{i=1}^n N_i$ — равнодействующая упругих сопротивлений;

m_n и G_n — масса и вес неподдресоренных частей транспортной системы;

n — число осей.

Пренебрегая массой и весом неподдресоренных частей и выражая $\sum_{i=1}^n R_i$ и $\sum_{i=1}^n N_i$ через линейные демпфирующие со-

противления k_i , жесткости C_i упругих элементов и обобщенные координаты z и a вертикальных и продольно-угловых колебаний (прицепа или автомобиля), после преобразований получаем выражение для модуля амплитудной частотной характеристики сопротивления движению двухосного прицепа:

$$|W_{P_{fn}}(i\omega)| = f \sum_{i=1}^2 \left\{ \sqrt{(C_{ni} - m_n \omega^2)^2 + k_{ni}^2 \omega^4} - \sqrt{C_{ni} + k_{ni}^2 \omega^2} [|W_{zn}(i\omega)| + |W_{an}(i\omega)| l_{ni}] \right\}, \quad (9)$$

где $W_{zn}(i\omega)$ и $W_{an}(i\omega)$ — амплитудно-фазовые частотные характеристики соответственно вертикальных и продольно-угловых колебаний прицепа от неровностей микрорельефа дороги;

l_{ni} — расстояние от центра тяжести поддресоренной массы прицепа до соответствующей оси.

Формула (7) для спектральной плотности усилия в сцепке автопоезда при подстановке в нее выражений (4), (6) и (8) принимает вид

$$S_{cu}(\omega) = \frac{k_{cu}^2 \omega^2 + C_{cu}}{M_n^2 [(b^2 - \omega^2)^2 + 4a^2 \omega^2]} |W_{P_{fn}}(i\omega)|^2 \Phi(\omega). \quad (10)$$

Спектральная плотность воздействия $\Phi(\omega)$ определяется [2, 3] путем статистической обработки записей микропрофиля дорог. Модуль $|W_{P_{fn}}(i\omega)|$ амплитудно-частотной характери-

стики сопротивления движению прицепа находится по уравнению (9), а входящие в него амплитудно-фазовые характеристики $W_{zn}(i\omega)$ и $W_{an}(i\omega)$ могут быть получены общими методами расчета, изложенными, например, в работе [2].

Рассмотрим, как изменяются усилия в сцепке автопоезда при движении по грунтовой дороге со среднеквадратичным значением высоты неровностей $\sigma_n = 3,33$ см, энергетический спектр которой представлен в работе [3]. Учитываются только силы сопротивления движению прицепа в продольной плоскости.

Приняты следующие параметры: $M_a = 7$ кг·сек²/см; $M_n = 17,5$ кг·сек²/см; $L_n = 8,6$ м; $C_{n1} = 953$ кг/см; $C_{n2} = 967$ кг/см; $C_{cu} = 1300$ кг/см; $k_{n1} = 25,6$ кг·сек/см; $k_{n2} = 19$ кг·сек/см; $k_{cu} = 16$ кг·сек/см; $l_{n1} = 15,6$ м.

На рис. 2 приведены модули амплитудно-частотных характеристик сопротивления движению прицепа (кривые 1 и 2) для скоростей движения 10 и 30 км/ч, вычисленные по формуле (9), а также модуль $|W_{cu}(i\omega)|$ (кривые 3, 4 и 5), вычисленный по формулам (4) и (6). Амплитудно-частотная характеристика сопротивления движению меняется с изменением скорости движения в связи с тем, что в выражении (9) входят амплитудно-фазовые характеристики вертикальных и продольно-угловых колебаний прицепа, которые зависят от скорости движения поэтому, что воздействие на задние колеса запаздывает по отношению к передним. Модуль $|W_{cu}(i\omega)|$ не зависит от скорости движения, так как рассматриваем продольное взаимодей-

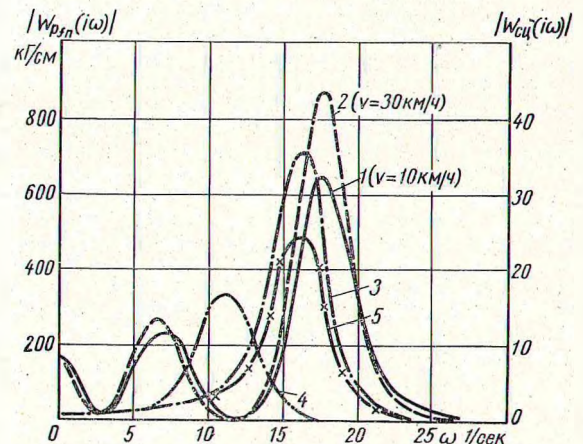


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики

ствие звеньев автопоезда при действии возмущающей силы P_{fn} только на прицеп (запаздывание воздействия отсутствует).

Как видно из рис. 2 (кривые 1 и 2), $W_{P_{fn}}(i\omega)$ имеет два максимума, которые проявляются на частотах, близких к собственным частотам вертикальных и продольно-угловых колебаний прицепа. Кривая 3 — $W_{cu}(i\omega)$ имеет один максимум на частоте $\omega = 16,1$ 1/сек собственных продольных горизонтальных колебаний звеньев автопоезда.

По данным расчетов по формуле (10) построены графики энергетических спектров усилия в сцепке для скоростей движения 10 и 30 км/ч по грунтовой дороге и 30 км/ч по булыжному шоссе, показанные на рис. 3.

Максимумы кривых спектральной плотности $S_{cu}(\omega)$ проявляются в области частот собственных колебаний поддресоренных масс прицепа. Максимальные значения $S_{cu}(\omega)$ для $v = 30$ км/ч при движении по грунтовой дороге достигают $250 \cdot 10^3$ кг²·сек при $v = 10$ км/ч — $60 \cdot 10^3$ кг²·сек. Спектральная плотность зависит от характера микрорельефа дороги (рис. 3), например, на дороге с булыжным покрытием при $v = 30$ км/ч $S_{cu}(\omega)_{\max} = 180 \cdot 10^3$ кг²·сек, т. е. значительно меньше, чем при той же скорости движения, но на грунтовой дороге. Это объясняется характером протекания кривых спектральной плотности воздействия от дороги [3].

Кроме качества дороги, характер изменения энергетических спектров зависит от колебательных свойств звеньев автопоезда, которые оказывают влияние на амплитудно-частотные характеристики сопротивления движению (рис. 2). В значительной степени $S_{cu}(\omega)$ зависит от амплитудно-частотной характе-

ристки $|W_{сц}(i\omega)|$ усилия в сцепном устройстве, на которую сильно влияет соотношение масс тягача и прицепа, а также параметров сцепки.

При $C_{сц} = 1300 \text{ кг/см}$ и $k_{сц} = 16 \text{ кг·сек/см}$ частота максимума кривой $|W_{сц}(i\omega)|$ составляет $16,1 \text{ 1/сек}$ (рис. 2, кривая 3), максимальное ее значение равно $36,4$. При изменении жесткости сцепки частота ω изменяется. Так, при $C_{сц} = 600 \text{ кг/см}$ частота равняется 11 1/сек , максимальное значение составляет

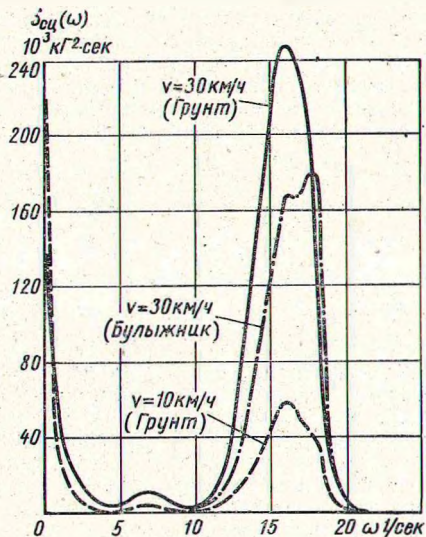


Рис. 3. Энергетические спектры усилий в сцепке автопоезда

в этом случае $17,3$ (рис. 2, кривая 4). При изменении коэффициента сопротивления сцепки частота остается неизменной, однако значение максимума изменяется (при $k_{сц} = 20 \text{ кг·сек/см}$ он становится меньше и равняется $24,8$).

Планиметрирование площади кривых спектральной плотности дает возможность найти дисперсию усилий в сцепном устрой-

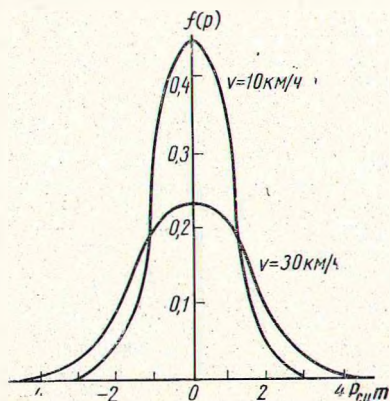


Рис. 4. Распределения амплитуд усилий в сцепке автопоезда

стве. Средние квадратичные отклонения усилий в сцепке σ_p для скоростей движения 10 и 30 км/ч при движении автопоезда по грунтовой дороге получились равными соответственно 895 и 1670 кг . Значения σ_p для различных скоростей движения автопоезда и типов покрытий даны в таблице.

Тип покрытия дороги	Краткая характеристика покрытия	Средняя квадратичная высота неровности в см	Скорость движения в км/ч	Средние квадратичные значения усилий в сцепке в кг при жесткости $C_{сц}$ в кг/см			
				600	900	1300	2000
Грунтовое	Состояние плохое, грунт местами перемешан с гравием, поверхность неровная с нарезанной колеей	8,00–10,00	10 15 30	520 772 1070	870 1500 2350	1450 2500 3860	1550 2680 4000
Грунтовое	Качество удовлетворительное, местами встречаются неровности большой высоты	4,50–5,00	10 15 30	423 706 1090	712 1220 1920	1180 2000 3160	1410 2450 3600
Грунтовое	Качество удовлетворительное, поверхность волнистая, неровности значительной длины	3,00–4,27	10 15 30	300 473 598	498 820 1050	895 1370 1670	1000 1640 2070
Гравийное	Покрытие в хорошем состоянии с отдельными выбоинами и волнами большой длины	2,00–2,45	10 15 30 60	134 223 298 219	226 386 524 389	373 646 864 630	445 774 970 770
Асфальто-бетонное	Поверхность в основном ровная, выпуклости и впадины большой длины, местами встречаются трещины и короткие неровности	0,70–1,03	15 30 60	141 173 219	244 303 389	410 500 630	488 598 770
Булыжное	Поверхность в основном ровная, местами неровности малой высоты, длиной около 2 м ; булыжник крепкой породы размером по диаметру $10\text{--}15 \text{ см}$	0,92–1,15	15 30 60	665 547 209	1100 820 335	1500 950 515	2030 1500 860

По значениям σ_p , пользуясь формулой нормального закона распределения, можно рассчитать [2] кривые распределения амплитуд усилий в сцепном устройстве, которые дают возможность охарактеризовать вероятность появления различных по величине амплитуд усилий в сцепке.

Построенные для скорости движения 10 и 30 км/ч (грунтовая дорога) кривые распределения приведены на рис. 4, где видно, что в сцепке автопоезда возможно появление значительных по величине усилий. При движении со скоростью 30 км/ч в сцепке могут возникнуть усилия до 4000 кг , однако вероятность этого невелика. Вероятность того, что будут возникать усилия величиной $2000\text{--}3000 \text{ кг}$, составляет $0,06\text{--}0,10$. При скорости движения 10 км/ч вероятность таких нагрузок меньше и равна $0,01\text{--}0,05$.

Анализ и проведенные вычисления показывают, что при установившемся движении автопоезда возможно появление в его сцепном устройстве значительных усилий, обусловленных воздействием неровностей дороги. Величина и характер изменения этих усилий зависят от скорости движения автопоезда, качества, типа и состояния дороги, а также от параметров подвески тягача и прицепных звеньев, параметров сцепного устройства.

Изложенный расчет продольного горизонтального взаимодействия тягача с прицепом дает возможность согласовать вопросы выбора параметров сцепного устройства с характером взаимодействия звеньев автопоезда и неровной дороги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шук и н М. М. Сцепные устройства автомобилей и тягачей. Машгиз, 1961.
2. С и л а е в А. А. Спектральная теория поддрессирования транспортных машин. Машгиз, 1963.
3. Ж у к о в А. В., Д а в ы д у л и н Г. Г. Сб. «Вопросы лесозаготовок и транспорта леса». Труды Белорусского технологического института им. С. М. Кирова, 1967.