

Рис. 5. Разметка испытательной площадки и начальное положение объекта при испытаниях:

а — поворот на 90°; б — поворот на 180°; в — движение задним ходом

На основании данных, занесенных в протоколы испытаний, на бланки с разметкой, идентичной натурной, наносится траектория движения характерных точек подвижного состава, позволяющие определить параметры маневренности: форму фактической и приведенной габаритных полос движения и величину фактора M .

Испытание объекта с использованием маневрографа проводится по этой же методике, за исключением необходимости измерений и переноса траекторий на специальные бланки.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 6875—54 «Автомобили грузовые. Методы контрольных испытаний».
2. Краткий автомобильный справочник. М., «Транспорт», 1972.
3. Лаптев С. А. Дорожные испытания автомобилей. М., Машгиз, 1962.
4. Закин Я. Х. Прикладная теория движения автопоезда. М., «Транспорт», 1967.

УДК 629.113.073

Исследование влияния микрорельефа дорог на заносы автопоезда при поворотах

Канд. техн. наук А. В. ЖУКОВ

Белорусский технологический институт

ПРИ ДВИЖЕНИИ автомобиля или автопоезда радиальные реакции, действующие на колеса, непрерывно изменяются [1 и 2] ввиду неизбежного наличия неровностей на дорогах. Это приводит к изменению сил сцепления колес с дорогой. При поворотах или в других случаях, когда на звенья автопоезда действуют боковые силы, сцепление колес с дорогой препятствует сдвигу системы в сторону.

В практике вождения автомобилей и автопоездов часто встречаются случаи, когда на ровной дороге автомобиль или автопоезд без заметного заноса проходит поворот, а на неровной дороге, при прочих одинаковых условиях, наблюдается заметный занос к обочине. Это заставляет снижать скорости движения. Такое явление наблюдается особенно часто при наличии на закруглении дорог неровностей небольшой длины и происходит вследствие того, что сцепной динамический вес из-за колебаний поддресоренных и неподдресоренных масс автопоезда в некоторые моменты времени становится недостаточным для противодействия боковой центростремительной силе $F_{ц}$.

Рассмотрим устойчивость против заноса седельного пассивного автопоезда, состоящего из двухосного тягача и одноосного полуприцепа (рис. 1). При этом автопоезд будет дви-

гаться с постоянной скоростью по кривой постоянного радиуса R и с силой $F_{ц} = \text{const}$.

Устойчивость движения автопоезда нарушается, если ось полуприцепа теряет сцепление с дорогой в боковом направлении. В таком случае условие устойчивости седельного автопоезда против заноса будет

$$F_{ц} a_2 < R_k \varphi L_2, \quad (1)$$

где R_k — вертикальная реакция на колесах полуприцепа;

L_2 — база полуприцепа;

φ — коэффициент сцепления;

a_2 — расстояние от оси шкворня до вертикали, проходящей через центр тяжести полуприцепа.

Без учета неподдресоренных масс вертикальная реакция дороги на колеса оси полуприцепа от вертикальных колебаний масс автопоезда выразится

$$R_{z3} = -2C_3(z_3 - q_3) - 2k_3(\dot{z}_3 - \dot{q}_3), \quad (2)$$

где C_3 , k_3 — приведенная вертикальная жесткость и соответственно коэффициент сопротивления подвески оси полуприцепа;

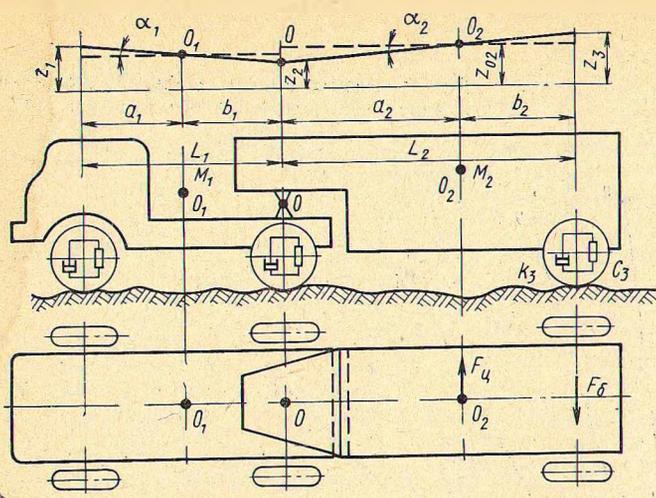


Рис. 1. Схема колебаний седельного автопоезда

z_3 — вертикальное перемещение части платформы полуприцепа, лежащей над его осью, соответствующее плоскости, проходящей через OO_2 ;
 q_3 — перемещение колес, вызванные неровностями пути.

На основании рис. 1 получим $z_3 = z_{02} + \alpha_2 b_2$ (z_{02} и α_2 — вертикальное и продольно-угловое перемещения поддресоренной массы полуприцепа). Выразив в уравнении (2) z_3 через z_{02} и α_2 и выполнив некоторые преобразования, получим

$$R_{z3}(t) = (2kp + 2C)q(t) - (2kp + 2C)[z_{02}(t) + \alpha_2(t)b_2].$$

После преобразований Лапласа и Фурье, умножив полученное уравнение на $L_2\Phi$ и разделив на $q(s)$, получим выражение амплитудно-фазовой частотной характеристики бокового удерживающего момента, возникающего вследствие вертикальных и продольно-угловых колебаний полуприцепа от микропрофиля пути:

$$W_{Mz}(i\omega) = \{2ki\omega + 2C - (2ki\omega + 2C)[W_{z_{02}}(i\omega) + W_{\alpha_2}(i\omega)b_2]\} \varphi L_2, \quad (3)$$

где $W_{z_{02}}(i\omega)$ и $W_{\alpha_2}(i\omega)$ — соответственно амплитудно-фазовые частотные характеристики вертикальных и продольно-угловых колебаний полуприцепа.

Полученное с применением основной формулы спектральной теории поддресоривания транспортных машин [3] выражение спектральной плотности для удерживающего бокового момента от колебаний системы в вертикальной продольной плоскости будет следующим:

$$S_{Mz}(\omega) = \varphi^2 L_2^2 [2ki\omega + 2C - (2ki\omega + 2C)[W_{z_{02}}(i\omega) + W_{\alpha_2}(i\omega)b_2]]^2 \cdot \Phi(\omega), \quad (4)$$

где $\Phi(\omega)$ — спектральная плотность воздействия от неровностей пути.

Вертикальные динамические реакции на задней оси полуприцепа складываются из двух составляющих: реакции от колебаний в продольной вертикальной плоскости и реакции от поперечно-угловых колебаний полуприцепа.

Выведенное по той же методике, что и равенство (4), выражение спектральной плотности для удерживающего бокового момента от поперечно-угловых колебаний имеет вид

$$S_{M\beta}(\omega) = \varphi^2 L_2^2 [ki\omega + C - 2d(ki\omega + C)W_{\beta 2}(i\omega)]^2 \cdot \Phi_{\beta}(\omega), \quad (5)$$

где $W_{\beta 2}(i\omega)$ — амплитудно-фазовая частотная характеристика поперечно-угловых колебаний полуприцепа;

$\Phi_{\beta}(\omega)$ — спектральная плотность воздействия в поперечной вертикальной плоскости от неровностей пути.

По формулам (4) и (5) были осуществлены вычисления для седельного автопоезда с тягачом типа МАЗ-501 и одноосным полуприцепом с безрессорной подвеской осей колес. Основные параметры полуприцепа следующие: $M_2 = 17,5$ кгс·с²/см;

$J_x = 1,6 \cdot 10^6$ кгс·см·с²; $C = 1934$ кгс/см; $k = 19$ кгс·с/см; $L_2 = 8,6$ м; $a_2 = 5,16$ м. С данным автопоездом были проведены также экспериментальные исследования. Испытания проходили на дорогах с разными типами покрытий и различной степенью ровности, широко варьировались скорости движения. При этом регистрировались вертикальные реакции на осях полуприцепа и другие параметры.

На рис. 2 приведены расчетные энергетические спектры суммарного удерживающего момента полуприцепа, возникающего при движении автопоезда по опытному участку дороги с булыжным покрытием и неровностями среднеквадратичной высотой $\sigma_n = 0,92$ см.

Энергетические спектры удерживающего бокового момента были вычислены и получены также экспериментально и для опытных участков дорог с грунтовым ($\sigma_n = 4,8 \div 8$ см), гравийным ($\sigma_n = 2,0 \div 4,27$ см) и асфальтобетонным ($\sigma_n = 1,3$ см) покрытиями.

Для получения дисперсии $D[M_y(t)]$ отклонения амплитуд удерживающего момента необходимо планиметрировать площадь между осью абсцисс и кривой спектральной плотности. Среднее квадратичное отклонение удерживающего момента

$$\sigma_M = \sqrt{D[M_y(t)]}. \quad (6)$$

Полученные данным методом значения σ_M приведены в таблице.

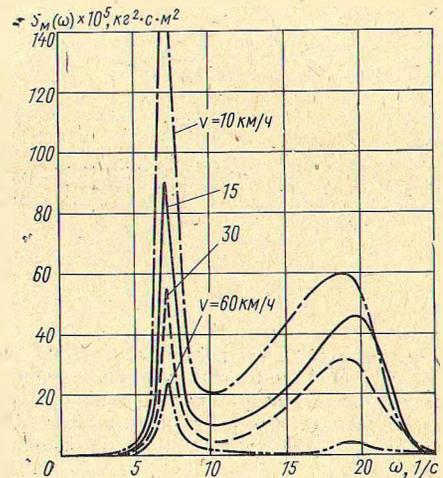


Рис. 2. Энергетические спектры удерживающего момента

Из таблицы видно, что величина σ_M в значительной мере зависит как от типа покрытия дороги и степени ее ровности, так и от скорости движения автопоезда. На всех опытных участках дорог, кроме дороги с булыжным покрытием, с увеличением скорости движения автопоезда значения σ_M возрастают.

Уменьшение средних квадратичных отклонений удерживающего момента на дороге с булыжным покрытием объясняется особенностью энергетических спектров воздействия этого участка дороги, т. е. в области частот, близких к частотам собственных вертикальных колебаний системы, амплитуды энергетических спектров булыжного шоссе с увеличением скорости становятся меньше. Поэтому при увеличении скорости автопоезда система слабее реагирует на возмущение.

Учитывая, что амплитуды колебаний вертикальных реакций на осях автопоезда распределяются по нормальному закону [3], можно считать, что и характер изменения кривой удерживающего момента также подчиняется нормальному закону распределения. В этом случае по соответствующему выражению работы [3] можно легко построить кривые распределения

№ участка	Покрытие	Значения σ_M в кгс·м для различных типов дорог при разных скоростях (в км/ч)			
		10	15	30	60
1	Асфальтобетонное, $\sigma_n = 1,03$ см	3 780	5 620	6 800	8 900
2	Гравийное, $\sigma_n = 3,33$ см	6 450	8 140	10 600	16 900
3	Гравийное, $\sigma_n = 2,45$ см	4 000	4 760	6 360	11 900
4	Булыжное, $\sigma_n = 0,92$ см	12 640	10 400	8 450	4 130
5	Грунтовое, $\sigma_n = 4,8$ см	8 470	9 860	15 100	23 100

значений удерживающего момента, которые дают наглядное представление о вероятности появления амплитуд той или другой величины.

На рис. 3 приведены кривые распределения, построенные для участка булыжной дороги.

При установившемся движении автопоезда на закруглении пути радиуса $R=25$ м момент от центробежной силы $M_{ц}$, действующий на полуприцеп, составляет 2,79; 6,28; 25,0; 100 тс·м при скоростях 10, 15, 30 и 60 км/ч соответственно.

Из рис. 3 видно, что при скорости 10 и 15 км/ч во время движения автопоезда на повороте дороги ($R=25$ м) вероятность снижения удерживающего момента, меньшего $M_{ц}$, ничтожно мала. Однако уже при скорости 30 км/ч возможен боковой занос полуприцепа. Вероятность того, что условие (1) будет нарушено, составляет примерно 1%.

При дальнейшем увеличении скорости вероятность появления удерживающего момента, меньшего, чем момент от центробежной силы, резко возрастает. При скорости 60 км/ч движение автопоезда без заноса при $R=25$ м невозможно. Чтобы при этой скорости автопоезда вероятность появления удерживающего момента составляла 50%, величина радиуса поворота должна быть не менее 60 м. В случае увеличения радиуса поворота вероятность бокового заноса звеньев автопоезда становится меньшей.

Точность методики по оценке устойчивости транспортных систем против боковых заносов проверялась сопоставлением расчетных и экспериментальных кривых спектральных плотностей и кривых распределения вертикальных реакций, действующих на ось полуприцепа. Результаты сравнения, про-

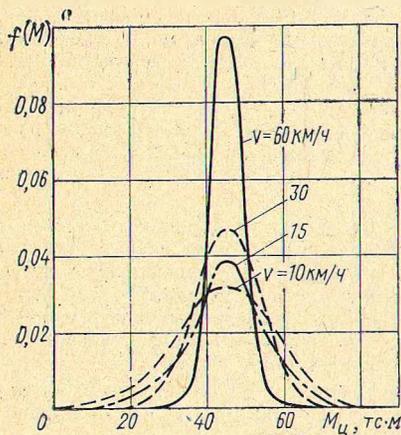


Рис. 3. Кривые распределения удерживающего бокового момента $M_{ц}$ при движении автопоезда по участку дороги с булыжным покрытием

веденного на основании критерия согласия Пирсона, указывают на хорошую согласованность опытных и расчетных данных [вероятность $P(\chi^2)$ изменяется от 0,94 до 0,96].

Для наглядности на рис. 4 показаны расчетные и экспериментальные энергетические спектры реакций на правых колесах оси полуприцепа при движении автопоезда со скоростью 15 км/ч по участку дороги с гравийным покрытием.

На дорогах с различными типами покрытий, как показали исследования, величины удерживающих моментов различны. Установлено, что при движении автопоезда по опытным участ-

Рис. 4. Энергетические $S_R(\omega) \times 10^3, \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$



кам 1 и 2 с увеличением скорости движения вероятность возникновения амплитуд удерживающего момента, соответствующего статической нагрузке на ось, уменьшается. Вероятность появления моментов, величина которых значительно отличается от момента, соответствующего статической нагрузке на ось, при увеличении скорости на всех участках, кроме участка 4 (см. таблицу), увеличивается (кривые распределения становятся шире).

Вероятность появления удерживающих моментов, меньших моментов от центробежной силы, на различных опытных участках разная, она в значительной степени зависит от скорости движения, радиуса поворота и степени ровности пути.

Как показали экспериментальные записи, при движении автопоезда по всем рассматриваемым участкам дорог колеса не отрывались от поверхности пути, однако, несмотря на это, вероятность боковых заносов полуприцепа при $R=25-30$ м значительная.

Для негруженого автопоезда момент $M_{ц}$ уменьшается, однако уменьшаются также и значения удерживающего момента. При этом соотношение между $M_{ц}$ и M_y становится более неблагоприятным, чем для груженого автопоезда. Для негруженого и даже для наполовину груженого автопоезда становится вероятным отрыв колеса от поверхности дороги.

Таким образом, проведенные исследования показали, что микропрофиль дороги значительно влияет на устойчивость автопоезда против заносов на закруглениях дорог. По приведенной методике можно оценивать устойчивость седельного автопоезда против боковых заносов. Однако следует иметь в виду, что при практическом использовании рекомендуемого метода нужно учитывать вероятное некоторое увеличение левой части неравенства (1) за счет динамического изменения центробежного ускорения на траекториях переменной кривизны. Возможную ошибку на основании имеющихся данных можно приблизительно принять равной 5-7%, конечно, в зависимости от условий движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля и его колебания. М., Машгиз, 1960.
2. Тимошенко С. П. Теория колебаний в инженерном деле. М.—Л., ГИИ, 1932.
3. Силаев А. А. Спектральная теория поддресоривания транспортных машин. М., Машгиз, 1963.

УДК 629.113.028

Анализ морфологических показателей движителей наземных транспортных средств

Л. А. РОГОВА, И. А. БЕСКИН

Братский филиал Иркутского политехнического института

ОЦЕНОЧНЫМИ критериями движителя транспортного средства являются к. п. д., морфологические показатели и стоимость. Входными параметрами для движителя являются подведенные к нему крутящий момент и число оборотов, выходными — скорость и сила тяги. Таким образом, преобразование мощности в движителе происходит по двум каналам — силовому и скоростному. Более универсальным будет тот движитель, в котором оба канала имеют независимое регулирование и вместе с тем связь между ними обеспечивает максимизацию произведения их показателей, т. е. наибольшую мощность

Ранее [1], в целях сравнительного анализа различных транспортных средств, было предложено ввести безразмерные морфологические показатели: коэффициент использования длины K_d , представляющий собой отношение суммы длин всех опорно-тяговых поверхностей транспортного средства к его габаритной длине; коэффициент использования ширины $K_{ш}$; коэффициент использования площади $K_{п}$; коэффициент использования периметра K_p , представляющий собой отношение находящейся в контакте с грунтом части периметра движителя ко всему периметру.