

К вопросу о влиянии микрорельефа дороги на поперечную устойчивость полуприцепа

А. В. ЖУКОВ

Белорусский технологический институт им. Кирова

ДО НЕДАВНЕГО времени поперечная устойчивость полуприцепов оценивалась только предельным углом косога α_n [1], определяемым из условий статического нагружения. Такая оценка устойчивости не совпадает с действительностью, так как при движении автопоезда в реальных условиях эксплуатации подрессоренные массы полуприцепа имеют значительные поперечно-угловые перемещения вследствие воздействия микрорельефа дороги.

Так, запись (взятая из осциллограммы) поперечно-угловых перемещений в вертикальной плоскости опытного образца полуприцепа для перевозки тяжелых недеформируемых грузов показывает, что в отдельных случаях эти перемещения составляют 7—8°.

Итак, в расчетах поперечной устойчивости полуприцепов и других транспортных свойств необходимо учитывать встречающийся в эксплуатации угол наклона кузова, который является следствием колебаний.

Этому вопросу посвящена статья В. А. Рождова и др. [2]. В отличие от других в этой работе учитывается дополнительный угол β крена полуприцепа за счет поперечно-угловых колебаний.

Однако методика определения угла β , предлагаемая В. А. Рождовым и др., содержит допущение, которое в значительной степени может снизить точность получения конечного результата. Функция воздействия дороги, включенная в расчетные формулы, в этой методике принята периодической. Это положение не соответствует действительности [3, 4]. Уже доказано целым рядом исследований, что неровности дороги бывают различной высоты и длины и повторяются в самом разнообразном сочетании.

Рассмотрим (используя спектральную теорию подрессоривания) пределы изменения угла β ; считая, что характер микрорельефа дороги носит случайный характер, для простоты расчета не учитываем перераспределение нагрузки на правые и левые колеса. В качестве примера производим расчеты для опытного полуприцепа тяжеловоза Минского автозавода. Полуприцеп имеет одну ось, рессоры отсутствуют.

Спектральная плотность случайной стационарной функции, которой и является кривая изменения угла β поперечно-угловых колебаний полуприцепа при движении автопоезда по неровной дороге, находится по формуле

$$S_\beta(\omega) = |W_\beta(i\omega)|^2 \Phi(\omega), \quad (1)$$

где $\Phi(\omega)$ — спектральная плотность воздействия дороги на колеса полуприцепа в поперечной плоскости;

$|W_\beta(i\omega)|$ — модуль частотной характеристики поперечно-угловых колебаний полуприцепа.

Из формулы (1) видно, что амплитуда поперечно-угловых колебаний полуприцепа зависит от величины модуля амплитудно-фазовой частотной характеристики и качества дороги. Поперечно-угловые колебания полуприцепа (рис. 1) описываются дифференциальным уравнением вида

$$M \ddot{\beta} + 2d^2 k_{ш} \dot{\beta} + 2d^2 c_{ш} \beta = d(Q_{лев} - Q_{пр}), \quad (2)$$

где M — масса полуприцепа;

r_x — радиус инерции относительно продольной оси, совпадающей с направлением движения;

$i_{ш}$ — коэффициент демпфирования в шине;

$c_{ш}$ — жесткость шины;

$Q_{лев}$ и $Q_{пр}$ — возмущающие силы, действующие на правые и левые колеса.

Для указанного полуприцепа экспериментально получены следующие значения, необходимые для расчета параметров:

$$J_x = 22887 \text{ кг} \cdot \text{см} \cdot \text{сек}^2; d = 76,5 \text{ см};$$

$$k_{ш} = 19 \text{ кг} \cdot \text{сек}/\text{см}; c_{ш} = 967 \text{ кг}/\text{см}; r_x = 114 \text{ см};$$

$$Q_{лев} = k_{ш} \dot{q}_{лев} + c_{ш} q_{лев}; Q_{пр} = k_{ш} \dot{q}_{пр} + c_{ш} q_{пр},$$

где $q_{лев}$ и $q_{пр}$ — перемещения, вызванные неровностями дороги.

Так как $q_{лев} = q_{пр} + \Delta q$, то уравнение (2) можно переписать следующим образом:

$$\ddot{\beta} + c_1 \dot{\beta} + c_2 \beta = \frac{d}{J_x} (\Delta \dot{q}_{ш} + \Delta q_{ш}), \quad (3)$$

где

$$c_1 = \frac{2d^2 k_{ш}}{J_x}; c_2 = \frac{2d^2 c_{ш}}{J_x}.$$

В правой части уравнения (3) возмущающая функция времени

$$\Delta q = f(t - \tau),$$

где τ — запаздывание воздействия дороги на задние колеса по отношению к передним.

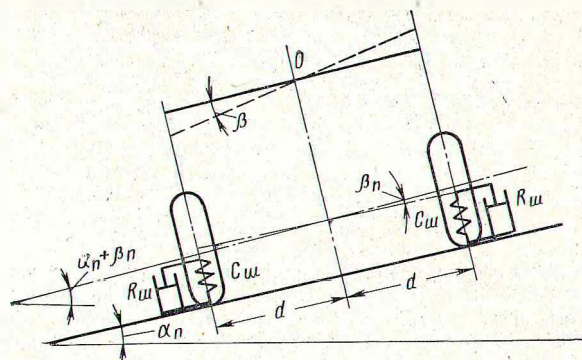


Рис. 1. Схема поперечно-угловых колебаний полуприцепа

С помощью преобразования Лапласа и Фурье из уравнения (3) получено выражение амплитудно-фазовой частотной характеристики поперечно-угловых колебаний полуприцепа

$$W_\beta(i\omega) = \frac{d(i\omega k_{ш} + c_{ш}) e^{-i\omega\tau}}{J_x(c_2 - \omega^2 + i\omega c_1)}, \quad (4)$$

где ω — частота колебаний.

Так как в рассматриваемом случае поперечно-угловые колебания полуприцепа возбуждаются только одной осью, то запаздывание τ равно нулю, т. е. данная система является системой без запаздывания.

Анализ выражения (4) показывает, что амплитудно-фазовая характеристика полуприцепа без изменения его параметров остается неизменной. Спектральная же плотность воздействия для участка дороги данного типа зависит от скорости движения. Тогда из уравнения (1) следует, что амплитуда спектра поперечно-угловых перемещений с изменением скорости движения изменяется.

Для целей изучения динамики автопоездов различного типа было проведено статистическое исследование дорог Ленинградской области с различными типами покрытий [4].

На рис. 2, а приведен энергетический спектр воздействия опытного участка I грунтовой дороги для разных скоростей движения, построенный по данным превышений левой колеи над правой, полученным путем нивелирования микрорельефа дороги.

На рис. 3 приведена модульная частотная характеристика поперечно-угловых колебаний рассматриваемого полуприцепа. Ее максимальное значение наблюдается при частоте $\omega = 7 \text{ рад}/\text{сек}$. Как следует из формулы (1), резкое увеличение $S_\beta(\omega)$ будет в том случае, если максимальные значения спектр-

ральной плотности воздействия будут при частоте $\omega = 7^1/\text{сек}$. Из рис. 2, а видно, что на рассматриваемом типе дороги наибольшие значения амплитуды спектра наблюдаются в области малых частот, на которых значение модуля частотной характеристики еще мало. В области частот, близких к $7^1/\text{сек}$, значения спектральной плотности воздействия с увеличением

вые распределения, пользуясь формулой нормального [3] закона распределения (рис. 4).

Из рис. 4 видно, что для опытного полуприцепа с нагрузкой 10,5 т при движении автопоезда по грунтовым дорогам рассмотренных типов возможно появление поперечно-угловых перемещений значительной величины, особенно для участка II.

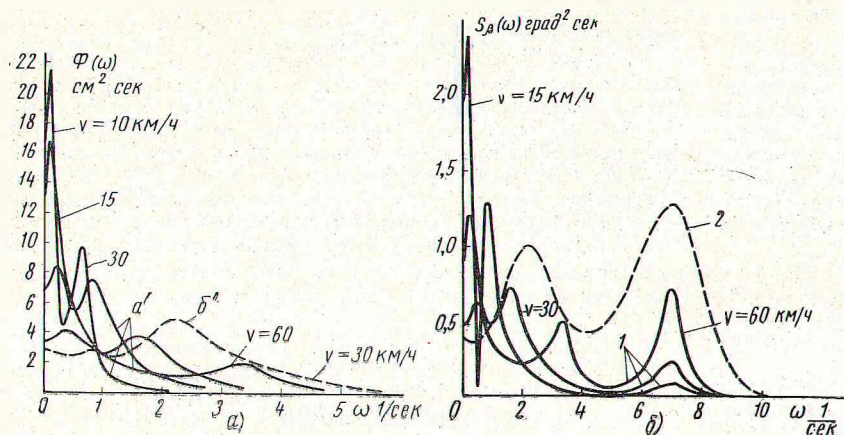


Рис. 2. Энергетические спектры:

а — воздействия; б — поперечно-угловых перемещений; 1 и а' — участок I; 2 и б' — участок II

скорости становятся больше, а с увеличением частоты воздействия уменьшаются, по абсолютной величине они малы. В связи с этим энергетические спектры поперечно-угловых перемещений кузова при $v = 15$ и 30 км/ч (рис. 2, б) имеют наибольшие значения в области малых частот (это обуславливается наличием максимумов энергетических спектров воздействия). При $v = 60$ км/ч энергетический спектр имеет максимальное значение при $\omega = 7^1/\text{сек}$. Максимумы, обусловленные наибольшим значением спектральных плотностей воздействия, по абсолютной величине меньше. При скоростях движения автопоезда 15 и 30 км/ч максимумы, обусловленные наибольшим значением частотной характеристики, проявляются слабо.

Таким образом, на малых частотах с увеличением скорости движения амплитуды спектров поперечно-угловых перемещений уменьшаются, максимумы их сдвигаются в область больших частот. При $\omega = 7^1/\text{сек}$ с увеличением скорости движения амплитуды их, наоборот, увеличиваются. Критической скоростью для данного полуприцепа при движении его по рассматриваемому типу дороги будет скорость 129 км/ч, так как при этой скорости максимальное значение спектральной плотности воздействия будет при частоте $7^1/\text{сек}$. Однако такая скорость движения для рассматриваемого автопоезда не является расчетной, следовательно, для данной дороги (участок I) параметры автопоезда подобраны правильно с точки зрения допустимой интенсивности поперечно-угловых колебаний. На дорогах, имеющих другой характер микронеровностей, спектральная плотность воздействия может иметь другой вид. Так, на рис. 2, а приведен график спектральной плотности грунтовой дороги (участок II) худшего качества для $v = 30$ км/ч. Энергетический спектр поперечно-угловых перемещений полуприцепа (рис. 2, б) в этом случае имеет максимальное значение при $\omega = 7^1/\text{сек}$, причем кривая проходит значительно выше, чем для скорости движения 60 км/ч на участке I, что объясняется в основном характером микронеровностей дороги. Спектральная плотность характеризует рассеивание и разброс (дисперсию σ_δ^2), перемещений. Ее находим планиметрированием площади графиков спектральных плотностей.

Средняя квадратичная амплитуда перемещений равна корню квадратному из дисперсии, она является измерителем интенсивности колебаний.

Для решения вопроса о вероятности возникновения больших амплитуд угловых перемещений полуприцепа строим кри-

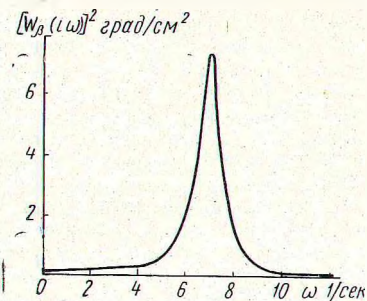


Рис. 3. Модальная частотная характеристика поперечно-угловых перемещений опытного полуприцепа

Вероятность появления углового перемещения $6-7^\circ$ при скорости 30 км/ч во время движения автопоезда по участку I составляет 0,5%. Для участка II с вероятностью 0,8% возможно появление перемещения $9-10^\circ$ для $v = 30$ км/ч.

Следовательно, поперечные колебания вызывают дополнительные перемещения кузова, ухудшающие устойчивость полуприцепа.

Величина угла крена в значительной степени зависит от интенсивности поперечно-угловых колебаний, а интенсивность колебаний зависит от скорости движения, качества дороги и свойств динамической системы. Влияние качества дороги следует учитывать из условий случайного характера микронеровностей. Расчет угла крена β можно вести, пользуясь изложенной методикой, учитывая перераспределение нагрузки на правые и левые колеса при больших углах наклона площадки к горизонту. Эта методика дает возможность при проектировании одноосных полуприцепов аналогичной конструкции параметры их подбирать соответствующими данному типу дороги. Для расширения возможностей применения описанного метода расчета необходимо накапливать материалы по статистическому исследованию основных типов автомобильных дорог.

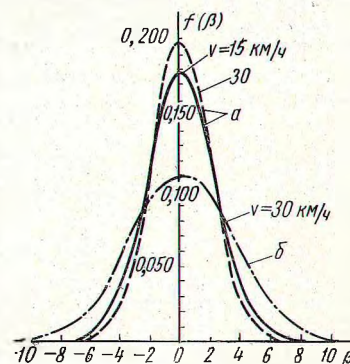


Рис. 4. Кривые распределения амплитуд поперечно-угловых перемещений полуприцепа: а — участок I; б — участок II

ЛИТЕРАТУРА

1. Закс М. Н. «Автомобильная промышленность», 1962, № 1.
2. Рождов В. А. и др. «Автомобильная промышленность», 1963, № 1.
3. Силаев А. А. «Автомобильная промышленность», 1960, № 8.
4. Жуков А. В., Давидулин Г. Г. Статистический метод исследования микропрофиля автомобильных дорог. Вопросы лесозаготовок и транспорта леса. Сб. трудов Белорусского технологического института им. С. М. Кирова. Минск, 1967.